

Павлюк В.І., Булік Ю.В., Дембіцький В.М.
Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖИН ПІДВІСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЇХ ЖОРСТКОСТІ

Проведено дослідження характеристик жорсткості пружин легкового автомобіля малого класу. За допомогою прикладних комп'ютерних програм здійснене тривимірне моделювання процесу стиску гвинтової циліндричної пружини. Проаналізовано вплив деяких основних параметрів пружин на характеристики їх жорсткості.

Ключові слова: підвіска автомобіля, пружина, жорсткість, моделювання, симуляція, параметри.

Постановка проблеми. Конструкція підвіски автомобіля повинна задовольняти ряд вимог щодо безпеки його руху, шляхом забезпечення оптимальних показників плавності ходу, керованості, стійкості та інших експлуатаційних властивостей транспортного засобу. Характеристики жорсткості підвіски залежать від характеристик жорсткості окремих її елементів [1, 2, 3]. Значний вплив, при цьому, мають основні пружні елементи (пневматичні пружні елементи, листові ресори, торсіони, гвинтові пружини та ін.). Зважаючи на простоту конструкції та можливість реалізації основних вимог, у підвісках легкових автомобілів і до сьогодні використовують гвинтові навиті пружини. Використання у підвісці циліндричних пружин зі сталими геометричними параметрами (товщина прутка, діаметр та крок навивки) забезпечує відповідні лінійні характеристики її жорсткості. У такому випадку забезпечення необхідної характеристики пружності підвіски потребує використання додаткових пружних елементів [1, 2]. Потрібна прогресивна характеристика може бути забезпечена використанням гвинтових пружин зі змінними характеристиками жорсткості, що зумовлені, в першу чергу, їх геометричними параметрами [3].

Через необхідність врахування багатьох одночасно змінних параметрів виникають труднощі проведення аналітичних досліджень характеристик жорсткості складних за конструкцією пружин. Отримання потрібної характеристики пружності підвіски з врахуванням її конструкційних особливостей та можливостей використання того чи іншого виду виконання пружин має здійснюватися з використанням прикладних комп'ютерних програм для 3D моделювання з можливістю статичного та динамічного аналізу процесу симуляції. Отримані характеристики пружин можуть бути використані для математичного моделювання криволінійного руху автомобіля. Жорсткість пружних елементів визначатиме кінематику підвіски під час руху транспортного засобу [4, 5] та впливатиме на показники його керованості та стійкості.

Аналіз досліджень і публікацій. Отримати характеристики жорсткості пружини можливо використовуючи різні розрахункові, графоаналітичні методи [1, 2, 3]. Аналізуючи інформацію, щодо використання програмних розрахункових модулів для визначення характеристик пружних елементів, зокрема пружин, можна умовно виділити серед них окремі групи. Одна з них, так звані калькулятори, мають відносно прості алгоритми роботи, програмні рішення і розрахунковий математичний апарат [6]. Такі програми, для вибраного виду пружини, дозволяють за визначеною кількістю вхідних геометричних параметрів і властивостей матеріалу отримати певні пружні характеристики. Інша група – програми тривимірного моделювання, що мають окремі опції чи вмонтований спеціальний модуль для дослідження пружних характеристик. Більш досконалі з них мають можливість поглибленого статичного та динамічного аналізу процесів, зокрема тих, що відбуваються всередині тіл, на рівні взаємодії елементарних частин [7, 8, 9]. Такі програми дозволяють досліджувати складні тіла різноманітних геометричних форм. В окрему групу можливо виділити ті програмні комплекси, які спеціально розроблені, або мають спеціалізовані модулі для вирішення конкретних задач розрахунку та оптимізації параметрів. Складність вибраного програмного комплексу визначає його функціональні можливості. Інколи ці можливості можуть бути обмеженими ліцензійними умовами використання продукту.

Метою роботи є визначення впливу деяких параметрів пружин підвіски легкового автомобіля на характеристики їх жорсткості з використанням комп'ютерного моделювання (симуляції) процесу стиску пружини.

Результати досліджень. Для визначення жорсткості циліндричної гвинтової пружини з витками круглого поперечного січення користуються відомою залежністю:

$$c = \frac{G \times d^4}{8 \times D^3 \times n}, \text{ Н/мм} \quad (1)$$

де G – модуль пружності зсуву матеріалу пружини, МПа ;

d – діаметр прутка, мм ;

D – діаметр навивки, мм ;

n – кількість робочих витків.

З виразу видно, збільшення жорсткості пружини може бути досягнене використанням для її виготовлення матеріалу з вищим значенням модуля зсуву (модуль пружності другого роду) та зі збільшенням діаметра прутка, або зменшенням діаметра навивки чи кількості робочих витків.

Для сталей з яких виготовляють автомобільні пружини [2, 4, 10] модуль пружності зсуву матеріалу – $G = 7,8 \times 10^4 \text{ МПа} \div 8,5 \times 10^4 \text{ МПа}$ [2, 3, 11]. Під час проектних розрахунків приймають $G = 8 \times 10^4 \text{ МПа}$ [1]. Діаметр навивки визначається компоновкою елементів підвіски (обмеженнями накладеними на їх габарити і переміщення, потребою розміщення амортизаторів в середині пружини та ін.). Змінювати характеристики пружності підвіски шляхом зміни характеристик пружин можливо варіаціями їх геометричних параметрів, наприклад використовують фасонні пружини [1, 4] (зокрема конічні).

Модернізуючи існуючі підвіски з циліндричними пружинами, найбільш зручно застосовуючи змінний діаметр прутка або змінний крок навивки (змінну кількість робочих витків).

Оскільки в роботі не враховуються характеристики підвіски окремого автомобіля, для досліджень було вибрано пружні елементи (циліндричні пружини, змінна комплектація) задньої підвіски легкового автомобіля малого класу з яких, у подальшому, отримано необхідні параметри для моделювання. Діаметр прутка пружини $d = 11,0 \text{ мм}$, діаметр навивки $D = 94 \text{ мм}$, кількість витків $n = 11$.

Для визначення характеристики жорсткості проведено стендові дослідження у лабораторії кафедри технічної механіки Луцького національного технічного університету (рис. 1а). Результатами вимірювання є зусилля стиску пружини як функція переміщення. Програмне забезпечення установки «МІ-40» передбачає відображення зазначених параметрів у числовому та графічному вигляді. Характеристика досліджуваних пружин наведена на рисунку (рис. 1б): для стандартної жорсткості (пружина з двома мітками) позначена на графіку – №_1, для пружини підвищеної жорсткості (три мітки) – №_2 та пружини з прогресивною характеристикою (змінний крок навивки) – №_3.

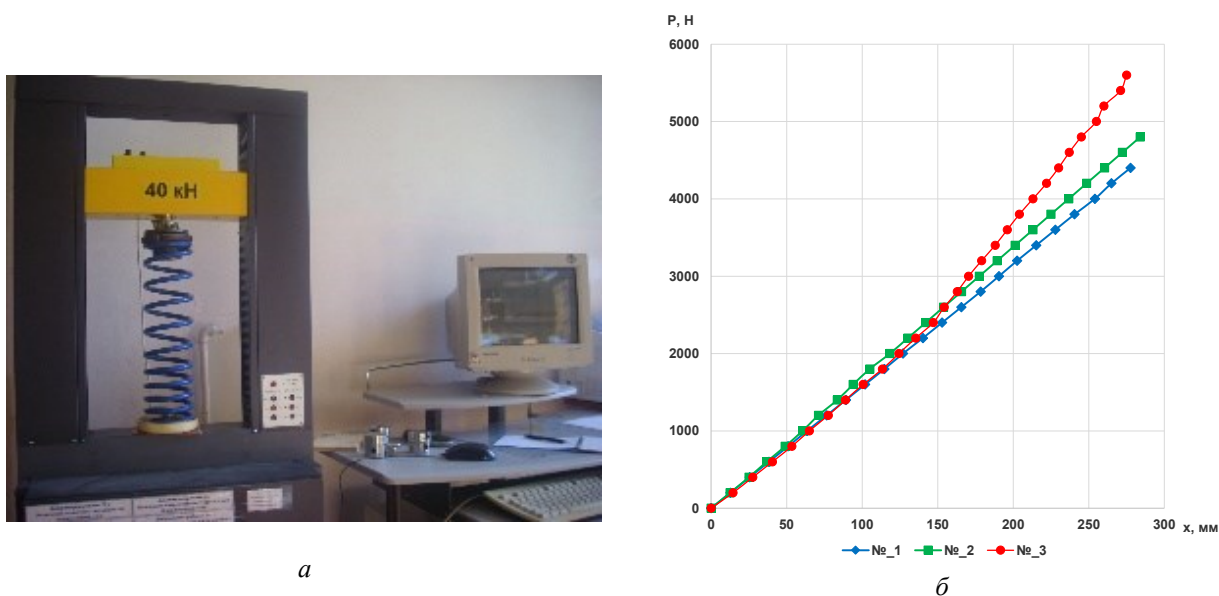


Рис. 1. Експериментальне визначення характеристик жорсткості циліндричної пружини задньої підвіски легкового автомобіля установкою: а – обладнання для стендових досліджень; б – характеристики жорсткості досліджуваних пружин.

Зважаючи на лінійність характеристики пружності гвинтових циліндричних пружин зі сталими геометричними параметрами і відносну простоту аналітичного визначення жорсткості з виразу (1),

зацікавлення викликає дослідження процесу стискання пружини з прогресивним кроком навивки. Через потребу врахування зміни кількості її робочих витків у процесі стискання, варто застосувати комп'ютерну симуляцію цього процесу. Необхідно врахувати, що у деяких програмах, які можуть використовуватися для моделювання нелінійних характеристик процесу стиску, контакт поверхонь окремих витків відтворений не завжди коректно.

У роботі для побудови моделі пружини використано програмний комплекс Creo Parametric 3.0.

Комп'ютерну симуляцію стиску пружини здійснено з використанням програмного комплексу ANSYS 17.0. Програма дозволяє досить точно імітувати всі види нелінійностей (nonlinearities), зокрема геометричних, задавати граничні умови нелінійностей, у тому числі і контакт поверхонь (рис.2).

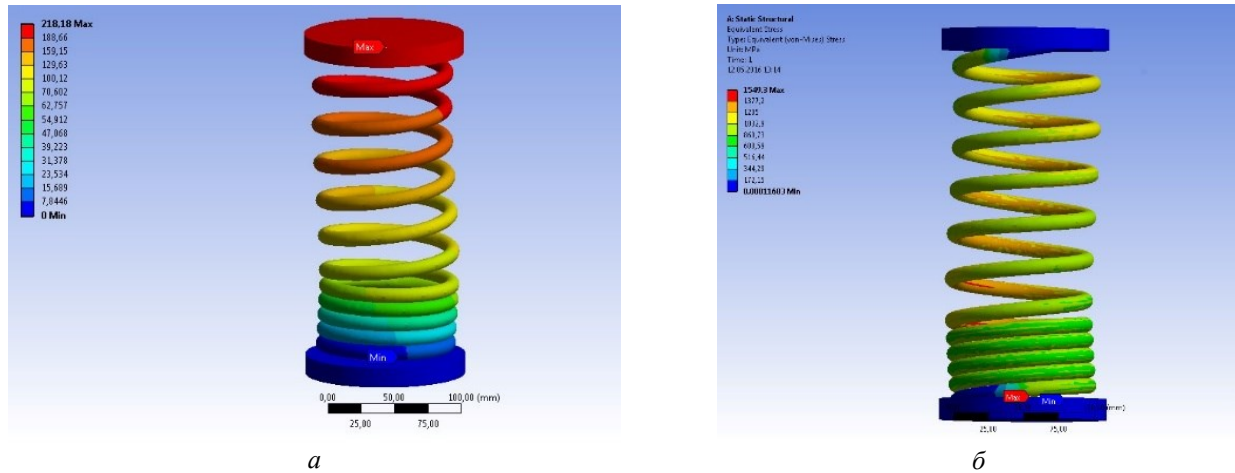


Рис. 2. Моделювання процесу стиску гвинтової циліндричної пружини з прогресивною характеристикою жорсткості: *a* – зони величини деформацій по осі стискання; *б* – зони напружень, що виникають у витках пружини.

На основі аналізу результатів експерименту та комп'ютерної симуляції процесу стискання пружини № 3 можна припустити, що вона виготовлена зі сталі з властивостями наближеними до властивостей пружинної сталі з модулем зсуву близько $8,5 \times 10^4 \text{ МПа}$. Невідповідність теоретичної та експериментальної кривих на графіку для діаметра прутка $d=11\text{мм}$ (рис. 3а) спричинена, в першу чергу, прийнятою схемою моделі закріплення крайніх витків пружини та можливою невідповідністю властивостей матеріалу виготовлення реальної пружини, обробки її поверхні та інших причин, неврахованих при моделюванні.

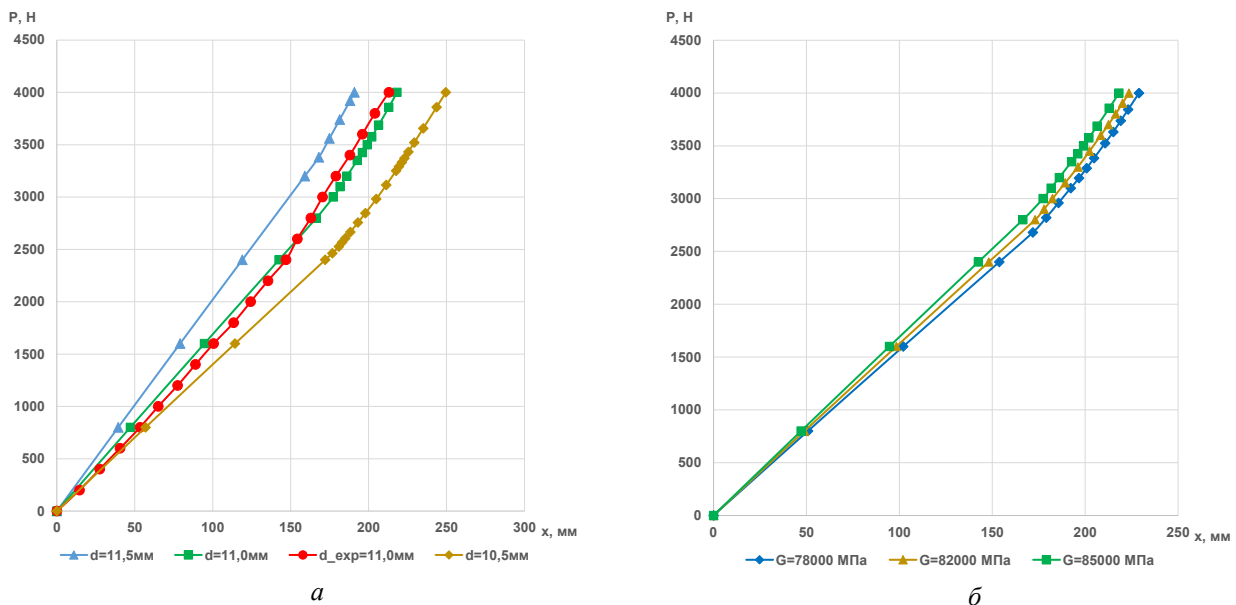


Рис. 3. До визначення жорсткості гвинтової циліндричної пружини з вибраним прогресивним кроком навивки ($D=95\text{мм}$, $n=11$) залежно від: *a* – товщини прутка d , (сталь пружинна – $G = 8,5 \times 10^4 \text{ МПа}$), де d_{exp} – характеристика отримана експериментально; *б* – модуля зсуву матеріалу G , ($d=11\text{мм}$).

Оскільки відхилення жорсткості, розрахованої за експериментальними даними та результатами симуляції на основних ділянках, не перевищує 6% прийнято рішення використати вказану модель для дослідження впливу деяких основних параметрів пружини на характеристики її жорсткості.

Вибір матеріалу виготовлення пружини серед рекомендованих сталей дає зміну модуля зсуву до 9%, при цьому отримана моделюванням жорсткість пружини змінюється також на 9%, що узгоджується з даними отриманими за розрахунковою залежністю (1).

Зміна діаметра прутка на 0,5 мм (4,5%) (рис. 3а) змінює жорсткість до 20%, на початковій ділянці змодельованої характеристики, що також відповідає розрахунку.

Висновки. Незважаючи на припущення і спрощення, прийняті в моделі пружини, збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень є задовільною, близько 6%. Таким чином, є потреба у подальшому покращенні такої моделі, зокрема щодо удосконалення контакту взаємодіючих поверхонь.

Отримані результати підтверджують суттєвий вплив досліджуваних параметрів на жорсткість пружини, зокрема зміна діаметра прутка до 5% призводить до зміни жорсткості до 20%. Проведені дослідження підтверджують доцільність застосування комп'ютерного моделювання для дослідження характеристик пружин, особливо тих, що мають складну геометричну форму, тобто виражену нелінійність характеристик пружності.

1. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески / Й. Раймпель. Пер. с нем. А.Л. Карпухина; Под ред. Г.Г. Гридасова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

2. Лукин П. П. Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.

3. Емельянов А.Е. Расчет цилиндрических пружин подвески автомобиля с нелинейной характеристикой упругости. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Автомобиле - и тракторостроение» / А.Е. Емельянов, И.И. Зверев – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 31 с. URL: <http://www.mami.ru/storage/files/kaf/auto/books/77.pdf>

4. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Конструкция подвесок / Й. Раймпель. Пер. с нем. В.П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

5. Павлюк В.І. Поперечні переміщення елементів задньої підвіски легкового автомобіля малого класу під час бокового крену / В.І. Павлюк // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – №1 (3). – 178 с., С. 116–120.

6. FED 6. Software for Calculation of Nonlinear Helical Compression Springs [Електронний ресурс]. Copyright 1993-2015 by HEXAGON, Berlin, Kirchheim, Neidlingen. URL: http://www.hexagon.de/fed6_e.htm

7. Бажанова А. Ю. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния пружин с линейной и прогрессивной упругими характеристиками [Електронний ресурс] / А. Ю. Бажанова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2014. – № 6 (80) : Серія "Технології та дизайн". – С. 18–23. URL: http://er.knutd.com.ua/bitstream/123456789/730/1/V80_P018-023.pdf

8. Static Analysis of Helical Compression Spring Used In Vibration Absorber with Nonlinear Parameters [Електронний ресурс] / Mr. Amit A. Hingane¹, Prof. Dr. S. H. Savvant // IJSRD – International Journal for Scientific Research & Development Vol. 2, Issue 04, 2014 \ ISSN (online): 2321-0613. P.568-570. URL: <http://www.ijrsrd.com/articles/IJSRDV2I4319.pdf>

9. Дашенко А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А. Ф. Дашенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов; под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Одесса: Астропринт, 2007. – 484с.

10. ГОСТ 37.001.027-90. Пружины цилиндрические винтовые подвесок автотранспортных средств. Общие технические условия. [Електронний ресурс]. Дата введения 01.01.92. – 11 с.

URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293834/4293834605.pdf>

11. Материалы в машиностроении выбор и применение. Справочник в пяти томах. Под общей редакцией И. В. Кудрявцева Том 2. Конструкционная сталь. Под ред. Е. П. Могилевского. – М.: Машиностроение, 1967. – 496 с.

REFERENCES

1. Raympel, J. (1987). *Car chassis: Suspension elements*. [Shassi avtomobilya: Elementy podveski]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 288 p.

2. Lukin, P. (1984). *Design and calculation of the car*. [Konstruirovaniye i raschet avtomobilya: Uchebnik dlya studentov vtuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti «Avtomobili i traktory»]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 376 p.

3. Emelyanov, A. (2007) Calculation of coil spring suspension of the car with a non-linear elastic characteristic. Methodical instructions to course and degree designing for students of a specialty "vehicles – and tractors construction"[Electron resource]. [Расчет tsilindricheskikh pruzhin podveski avtomobilya s nelineynoy kharakteristikoy uprugosti. Metodicheskiye ukazaniya k kursovomu i diplomnomu proyektirovaniyu dlya studentov spetsial'nosti «Avtomobile - i traktorostroyeniye»]. Moscow, MSTU "MAMI" Publ, 31 p. URL: <http://www.mami.ru/storage/files/kaf/auto/books/77.pdf>

4. Raympel J. (1989) Car Chassis: Design suspension [Shassi avtomobilya: Konstruktsiya podvesok]. Moscow, Engineering Publ, 328 p.

5. Pavlyuk, V. (2015). Transverse moving elements of the rear suspension of the car small class during lateral roll [Poperechni peremishchennia elementiv zadnoi pidvisky lehkovooho avtomobilia maloho klasu pid chas bokovooho krenu]. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*. No.1 (3), Lutsk, pp. 116-120.

6. FED 6. *Software for Calculation of Nonlinear Helical Compression Springs* [Electron resource]. Copyright 1993-2015 by HEXAGON, Berlin, Kirchheim, Neidlingen. URL: http://www.hexagon.de/fed6_e.htm
7. Bazhanova, A. (2014). Comparative analysis of tense-deformed condition of the springs with linear and progressive elastic characteristics. [Srvnitel'nyy analiz napryazheno-deformirovannogo sostoyaniya pruzhin s lineynoy i progressivnoy uprugimi kharakteristikami]. *News of KNUiD* №6 (80), "Technology and Design", pp. 18-23.
8. Mr. Amit, A. Hingane¹, Prof. Dr. S. H. Savvant. (2014). Static Analysis of Helical Compression Spring Used In Vibration Absorber with Nonlinear Parameters. *IJSRD – International Journal for Scientific Research & Development* Vol. 2, Issue 04, pp. 568–570.
9. Dashchenko, A. (2007). *ANSYS in problems of engineering mechanics* [ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki]. Odessa, Astroprint Publ, 484 p.
10. *OST 37.001.027-90. Springs of cylindrical screw suspension vehicles. General specifications*. Available at: <http://gostrf.com/normadata/1/4293834/4293834605.pdf>
11. *Materials selection in mechanical and application*. (1967) [Materialy v mashinostroyenii vybor i primeneniye] Edited by I. Kudryavtsev. Volume 2. Structural Steel. Edited by E. Mogilevskiy. Moscow, Engineering Publ, 496 p.

Павлюк В.І., Булік Ю.В., Дембіцький В.М. Влияние параметров пружин подвески легкового автомобиля на характеристики их жесткости.

Проведено дослідження характеристик жорсткості пружин легкового автомобіля малого класу. С допомогою прикладних комп'ютерних програм виконано тривимірне моделювання процесу сжаття винтової циліндричної пружини. Проаналізовано вплив деяких основних параметрів пружин на характеристики їх жорсткості.

Ключевые слова: подвеска автомобиля, пружина, жесткость, моделирование, симуляция, параметры.

V. Pavliuk, Y. Bulik, V. Dembitskiy. Influence of car suspension springs parameters on the characteristics of their rigidity.

The parameters that can be the subject of the research are selected. Experimental research characteristics of elasticity of helical cylindrical springs of back suspension of a small car are made. Linear and nonlinear elastic characteristics of some investigated springs are defined. The obtained data of the experimental research indicate on using of different materials for manufacturing of springs.

The software for modeling of the spring compression process is chosen. The parameters of the research as input values for the computer simulation are selected. By means of computer 3D modeling the process of compression of the helical spring is implemented. Creating of the model of the spring is made in Creo 3.0 and research of the deformation processes is realized in Ansys17.0.

Influence of some basic parameters of the springs on the characteristics their rigidity is analyzed. It is found that the deviation of the rod diameter on 4,5% from the specified values leads to change in stiffness 20%. A similar change of the shear modulus of the material by 9% causes a change in stiffness on 9%.

It is indicated on the benefits of using of computer simulation, it is noted the problems appeared in the simulation. In this regard, it is indicated on expedience of using of specialized software modules adapted for specific conditions of research of the characteristics of a vehicle suspension.

Keywords: vehicle suspension, spring, stiffness, simulation, parameters.

АВТОРИ:

ПАВЛЮК Василь Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: wasilijpi@mail.ru

БУЛІК Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: by_lutsk@ukr.net

ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович, асистент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: dvm2@meta.ua

АВТОРЫ:

ПАВЛЮК Василий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: wasilijpi@mail.ru

БУЛИК Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: by_lutsk@ukr.net

ДЕМБИЦКИЙ Валерий Николаевич, ассистент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: dvm2@meta.ua

AUTHORS:

Vasyl **PAVLIUK**, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: wasilijpi@mail.ru

Yurii **BULIK**, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: by_lutsk@ukr.net

Valerii **DEMBITSKIY**, Assistant Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: dvm2@meta.ua

Стаття надійшла в редакцію 11.04.2016р.