

## МЕТОДИКА И АПАРАТУРА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА РЕГУЛИРУЕМИ ХИДРАВЛИЧНИ АМОРТИСЬОРИ

### A METHOD AND TEST EQUIPMENT FOR OBTAINING CHARACTERISTICS OF CONTROLLED HYDRAULIC SHOCK ABSORBERS

Nikolay Pavlov

**Abstract.** In this study is present a test method of controlled shock absorbers. For obtaining the shock absorber characteristics is used specialized test equipment. The obtained characteristics are shown and analyzed.

**Keywords:** shock absorber, suspension, vehicle dynamics, test equipment

#### 1. Въведение:

В окачванията на съвременните автомобили все по-често се използват регулируеми хидравлични амортисьори. По този начин се подобряват показателите на комфорта на автомобилите при движение по пътища с различни пътни настилки и различни размери на пътните неравности. Освен това чрез промяна на коефициента на съпротивление на амортисьорите се намалява напречното наклоняване на каросерията при движение в завой и надлъжното и наклоняване в процеса на спиране.

За целите на моделирането на динамиката на автомобила, както и за създаването на алгоритъм за оптимално управление на автомобилното окачване са необходими конкретни реални стойности на коефициентите на съпротивление в зависимост от скоростта на преместване на буталото за целия работен диапазон на регулируемите амортисьори.

Автомобилните производители и производителите на амортисьори обикновено дават вида на характеристиките и ги сравняват с тези на нерегулируемите амортисьори, но не дават конкретни стойности на коефициентите на съпротивление [1, 2].

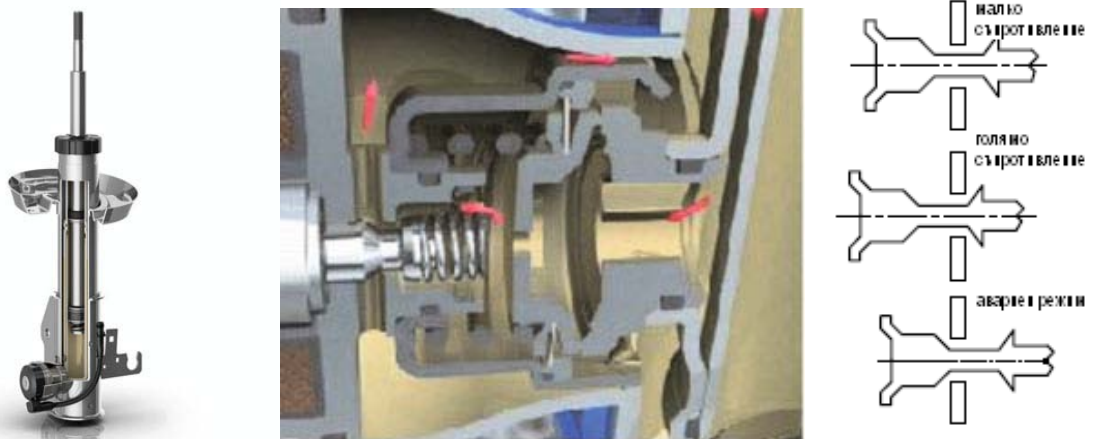
**Целта** на настоящата работа е да се създаде методика и да се получат серия от работни диаграми и характеристики на регулируем амортисьор в целия му работен диапазон, които могат да бъдат използвани за целите на моделирането на автомобила и управлението на окачването му.

#### 2. Изложение:

##### 2.1. Обект на изследването.

Като обект на настоящето изследване е използван регулируем амортисьор с възможност за промяна на коефициента на съпротивление чрез изменение на проходното сечение на дроселиращ отвор. Регулируемият дросел, който е с електромагнитно управление, е монтиран извън тялото на амортисьора (фиг. 1). Плунжера на регулируемия дросел е част от сърцевината на задвижващия соленоид и при промяна на големината на тока през намотката на електромагнита се реализират различни положения на плунжера спрямо отвора, и в резултат на това различни хидравлични съпротивления на дросела. Максималната големина на тока протичащ през електромагнита, по данни на производителя, може да достигне 2 А. Регулирането може да става безстепенно или степенно с няколко дискретни стойности на големината на тока. Степенното изменение може да става автоматично или ръчно, в зависимост от желаната от водача настройка на окачването – нормална, комфортна или спортна. Безстепенното изменение, наречено от ZF<sup>®</sup> - CDC (Continuous Damping Control), дава възможност за осъществяване на контролна стратегия на окачването от типа Sky-Hook [2, 3]. Това е стратегия за управление на полуактивни окачвания, при която се постигат минимални нива на трептенията и наклоняванията на каросерията и висока степен на комфорт и активна безопасност на автомобила [4]. При прекъсване на захранването на електромагнита в случай на повреда в системата за управление или в електрическата инсталация на автомобила, плунжера застава спрямо дроселиращия отвор в положение

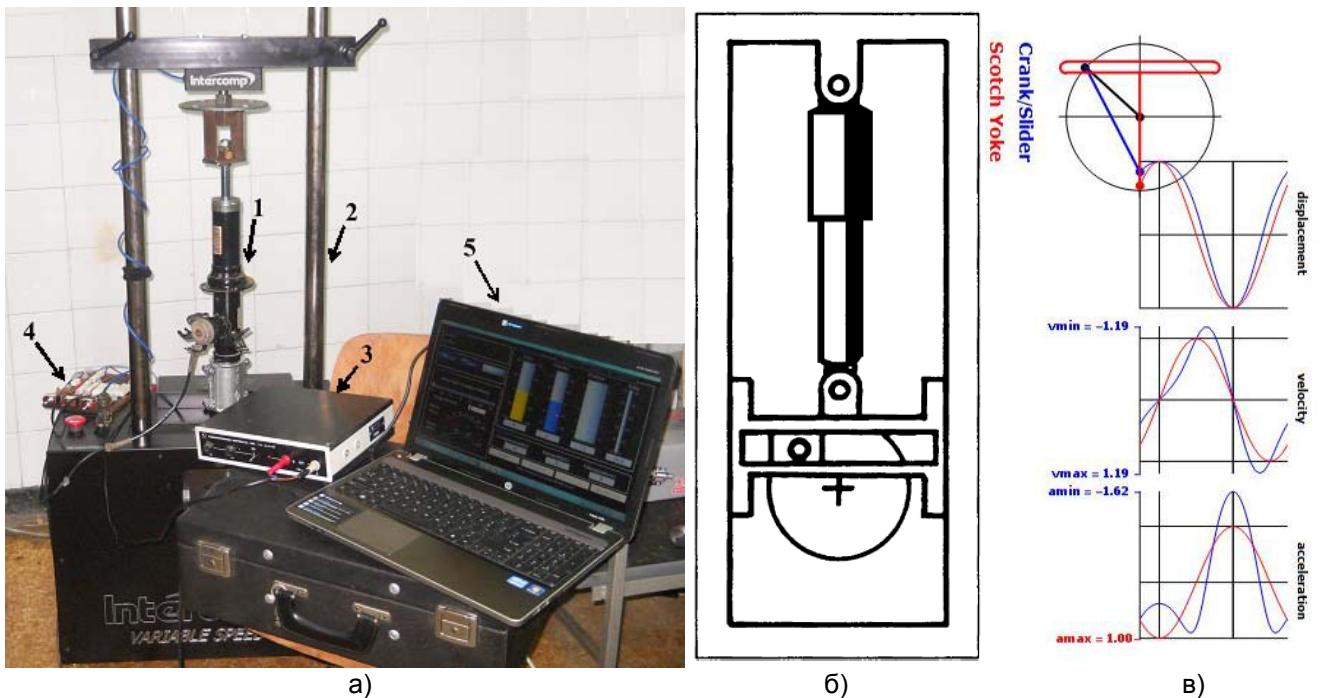
осигуряващо някаква средна стойност на хидравличното съпротивление на амортизатора (фиг. 1).



Фиг.1. Общ вид на амортизатора, конструкция и принцип на действие на регулируемия дросел [4].

## 2.2. Методика и апаратура.

За получаване на работните диаграми и характеристики на амортизаторите се използва специализиран стенд за изпитване на амортизатори марка Intercomp®, модел Shock Dyno – Hi Speed (фиг. 2, а), с който разполага катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“ при ТУ-София.



Фиг. 2. а) Апаратура за изпитване на амортизатори. - 1. Регулируем амортизатор;

2. Стенд за изпитване; 3. Стабилизиран токоизправител,  $U=12\text{ V}$ ;

4. Платка с набор от превключваеми резистори с различни стойности; 5. Лаптоп.

б) Задвижващ кулисен механизъм

в) Закони за движение на коляно-мотовилков (синьо) и кулисен механизъм (червено) [5].

Стендът е оборудван с кулисен механизъм с праволинейна кулиса [6], наричан още синусидален закон за движение на буталото на амортизатора, за разлика от стендовете оборудвани с коляно-мотовилков механизъм (фиг. 2, в). Законите за пътя, за скоростта и ускорението на относителното преместване на буталото на амортизатора спрямо цилиндъра му в аналитичен вид са следните [9]:

$$z = z_0 \sin \omega t$$

$$v = \dot{z} = \omega z_0 \cos \omega t$$

$$a = \ddot{z} = -\omega^2 z_0 \sin \omega t$$

Амплитудата на скоростта е:

$$v_0 = \omega z_0 = 2\pi f z_0,$$

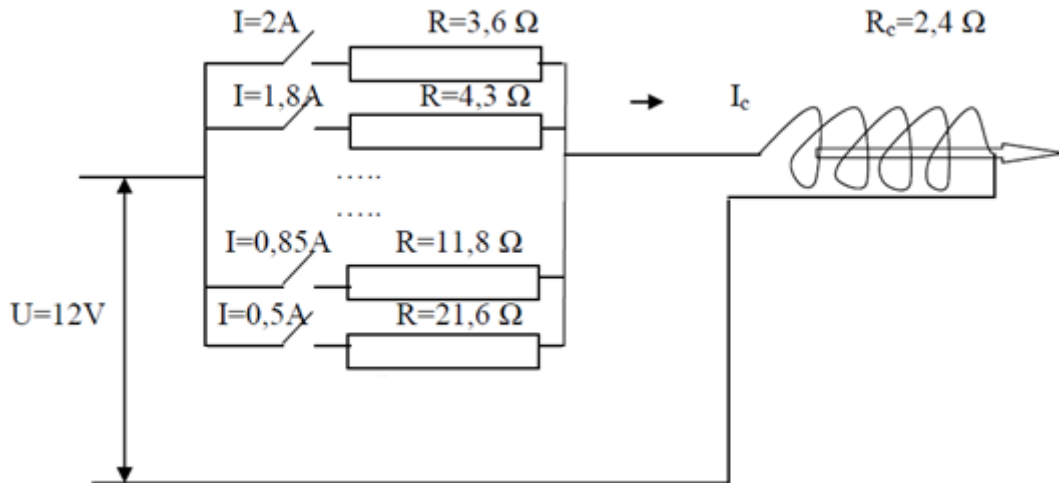
Където  $z_0$  е амплитудата на преместване на буталото спрямо цилиндъра на амортисьора,  $m$ ;

$\omega$  – кръгова честота,  $rad/s$ ;

$f$  – честота,  $Hz$ .

Използваният стенд има възможност за промяна на хода в границите от 2,54 cm до 5,715 cm (1" - 2,25") и линейната скорост на буталото от 0,0127 до 1,397 m/s (0,5 – 55 in/s).

За захранване на соленоида е използван стабилизиран 12 волтов токоизправител (фиг. 2, а), а за реализиране на различни големина на тока протичащ през соленоида – набор от превключваеми резистори с различни стойности на съпротивлението в интервала от 0 до 2 ампера (фиг. 3). При  $I_c = 0$  A всички контакти са отворени.



Фиг. 3. Начин за осъществяване на различни големина на тока протичащ през соленоида –  $I_c$ .

Стендът е заводски оборудван с възприемател за сила, възприемател за преместване, както и с аналого-цифрово устройство за събиране на данни тип USB-6009 DAQ на фирмата National Instruments®. Визуализацията и записът на характеристиките на изпитвания амортисьор се извършва с помощта на лаптоп с инсталиран специален софтуер на фирма Intercomp®.

#### Методиката на експеримента е следната:

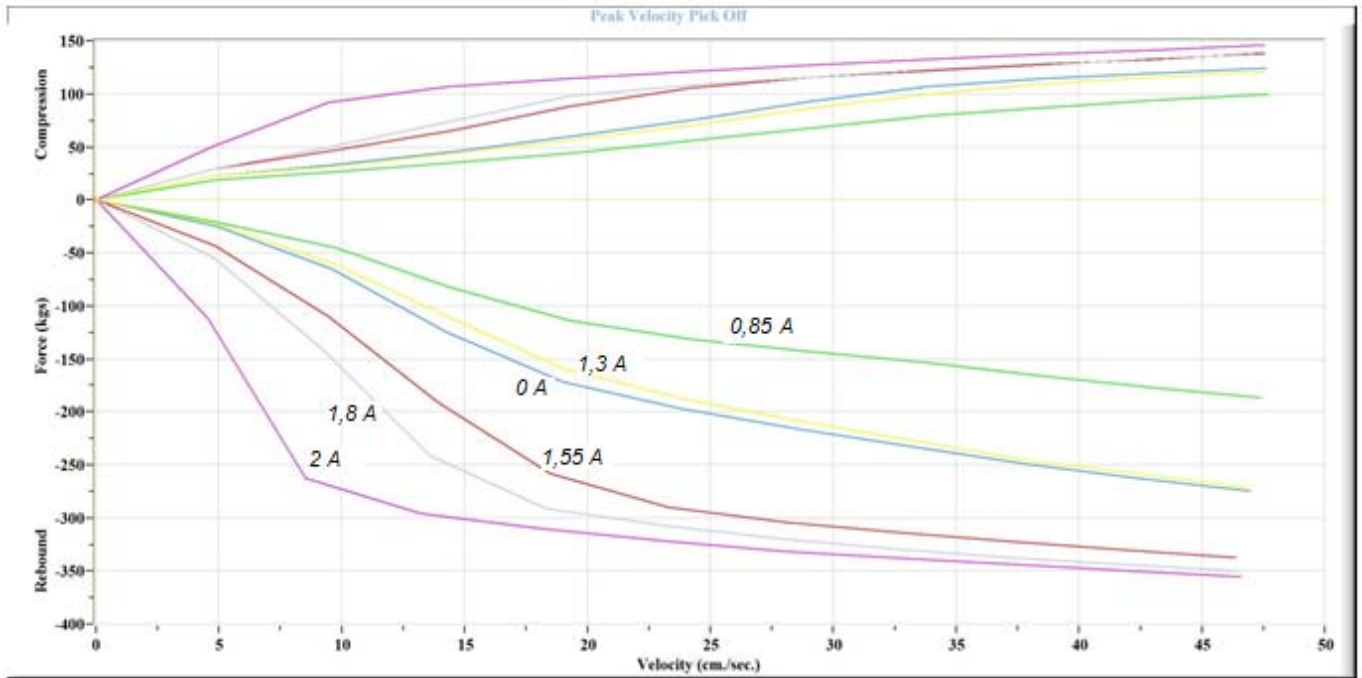
1. Премества се долното монтажно приспособление на стенда в долно мъртво положение посредством команда в софтуера.
2. Разпъва се на ръка амортисьора до крайно положение, след това се свива около 2,5 cm (за да се избегне изчерпването на хода по време на експеримента).
3. Извършва се монтаж на амортисьора към долното и горното монтажно приспособление.
4. Избира се режим на изпитване (скорост и ход или серия от различни скорости при избран постоянен ход).
5. Избира се големина на тока, протичащ през соленоида, посредством затваряне на веригата през съответния резистор.
6. Избира се начин на загряване на амортисьора до работна температура – работа за определено време с избрана честота или работа до достигане на

определена температура, отчитана с помощта на термодвойка залепена на тялото на амортисьора.

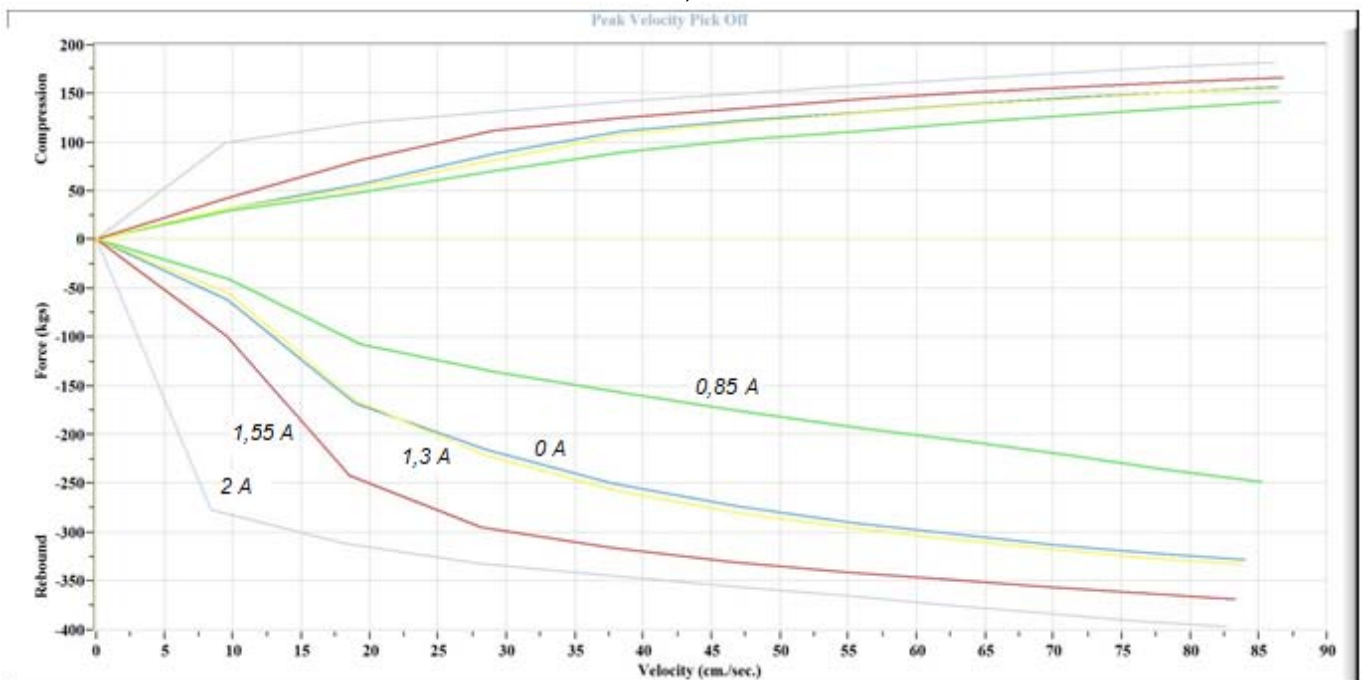
7. Стартира се стенда в режим на изпитване.
8. След спиране на стенда се записват получените резултати и точки от 4 до 7 се повтарят с друга стойност на тока или скоростта/хода на преместване на амортисьора.

### 2.3. Получени резултати.

На фигура 4 са показани характеристиките на изследвания амортисьор при различни стойности на тока протичащ през намотката на соленоида ( $I_c$ ). Избран е ход на буталото  $\pm 2,5$  cm, а скоростта се изменя със стъпка 5 cm/s в интервала от 5 до 50 cm/s за характеристиките показани на фиг. 4, а) и със стъпка 10 cm/s в интервала от 0 до 100 cm/s за фиг. 4, б).



а)

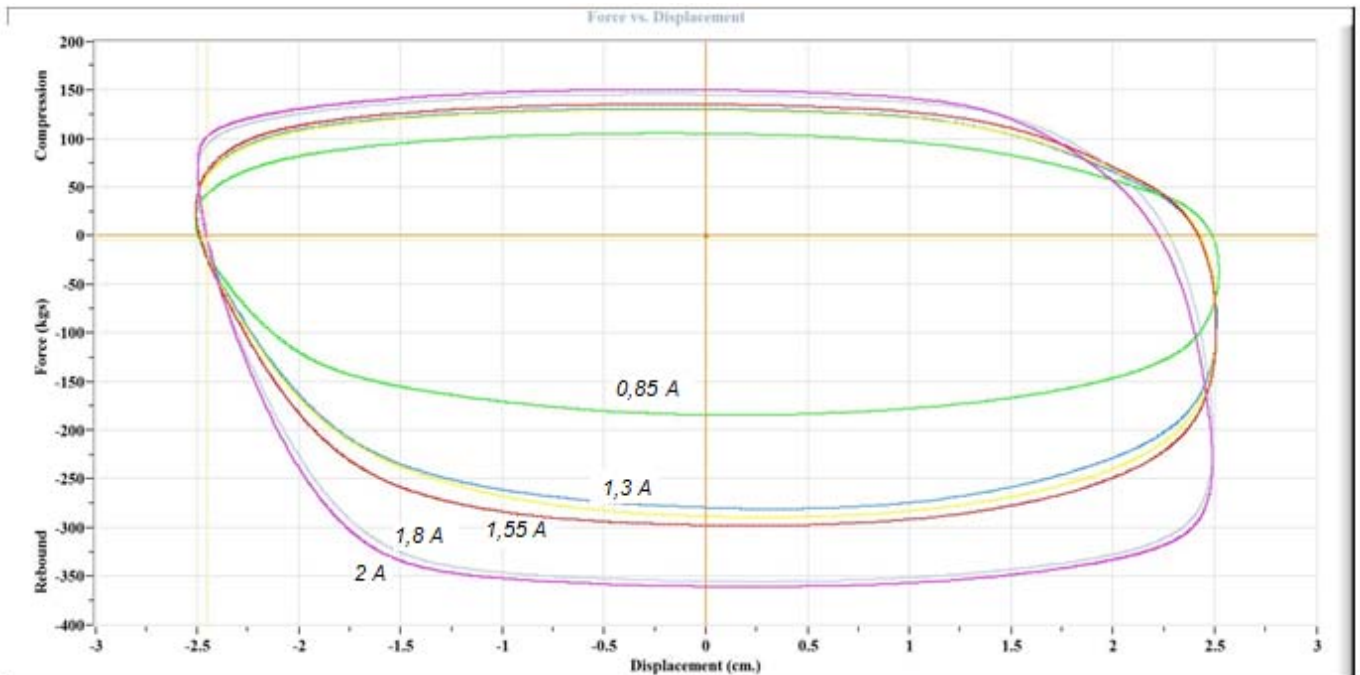


б)

Фиг. 4. Характеристики на регулируемия амортисьор при различни стойности на  $I_c$ .

По абсцисната ос на характеристиката е нанесена скоростта на относителното преместване на буталото на амортисьора спрямо цилиндъра му. По ординатната ос е нанесена силата, създавана от амортисьора при свиване (с положителен знак) и при разтягане (с отрицателен знак). От характеристиката се вижда, че при ниски скорости на преместване на буталото (10-20 cm/s) има най-голяма разлика в силата създавана от амортисьора при максимална големина на тока  $I_c=2A$  и останалите характеристики. Тези скорости съответстват на скоростите на преместване на буталото при праволинейно равномерно движение по асфалтова пътна настилка с високо качество, както и на скоростите на буталото, които се реализират в завой, при спиране и рязко ускоряване на автомобила [10]. Нарастването на силата при свиване за високите скорости на преместване на буталото при различни големина на тока  $I_c$  е около 30% и е значително по-малко, отколкото нарастването на силата при разтягане, което е около 60%. По този начин се предотвратява намаляването на динамичния ход при свиване на окачването, в резултат на което пружината би акумулирала по-малко енергия и плавността на движение на автомобила би се влошила. На фигурата се вижда, че максималните сили на съпротивление на амортисьора се постигат при максимална големина на тока  $I_c=2A$ , докато минималните сили се постигат при  $I_c=0,85A$ . По този начин работният диапазон на изменение на големината на тока протичащ през соленоида е  $I_c=0,85\div 2,0A$ . В интервала от 0 до 0,85A съпротивителните сили на амортисьора имат някакви средни стойности близки до тези при  $I_c=1,3A$ , тъй като плунжера на регулируемия дросел застава в положение съответстващо на аварийен режим на движение (фиг. 1).

В специализираната литература [4, 11, 12] се препоръчва, при първоначални проектни изчисления на автомобилните окачвания, да се използва коефициента на съпротивление на амортисьорите при скорост на преместване на буталото  $v = 0,52$  m/s. На фиг. 5 са показани работни диаграми на изследвания амортисьор при скорост на буталото 52 cm/s и ход  $\pm 2,5$  cm.



Фиг. 5. Работни диаграми на регулируемия амортисьор при скорост на буталото  $v = 52$  cm/s и различни стойности на  $I_c$ .

Изчислителният коефициент на съпротивление на амортисьора  $\beta$ , се получава като средноаритметичната стойност на съпротивителната сила на амортисьора  $F_{cp}$ , се раздели на скоростта на преместването на буталото, която в случая е 0,52 m/s:



$$\beta = \frac{F_{\text{cp}}}{v}$$

$$F_{\text{cp}} = \frac{F_{\text{св}} + F_{\text{раз}}}{2}$$

Където  $F_{\text{св}}$  и  $F_{\text{раз}}$  са съответно силите на съпротивление на амортизьора при свиване и при разтягане, N.

Коефициентът на асиметрия на амортизьора е:

$$k = \frac{F_{\text{раз}}}{F_{\text{св}}}$$

Определените по този начин параметри на амортизьора, при скорост на буталото  $v = 0,52 \text{ m/s}$  и различни големина на тока са дадени в таблица 1.

**Таблица 1.** Параметри на амортизьора при скорост на буталото  $v = 0,52 \text{ m/s}$  и различни стойности на тока  $I_c$ .

$I_c, \text{ A}$	$F_{\text{cp}}, \text{ N}$	$\beta, (\text{N.s})/\text{m}$	$k, -$
0,85	1425	2740	1,7
1,30	2025	3895	2,2
1,55	2150	4135	2,3
1,80	2475	4760	2,4
2,00	2575	4950	2,4

### 3. Заключение:

Представената методика дава възможност за получаване на работни диаграми и характеристики на регулируеми хидравлични амортизьори, в целия им работен диапазон. Получените характеристики могат да бъдат използвани при съставяне на модели описващи динамичното поведение на автомобила при установено праволинейно движение по неравна пътна повърхност, установено и неустановено движение в завой, при спиране и ускоряване на автомобила. Характеристиките могат да се използват също така при създаване на логики за управление на автомобилното окачване в изброените режими на движение. При наличие на еталонни характеристики, публикувани в заводската документация или предварително снети такива на нови изправни амортизьори, методиката и апаратурата могат да се използват при диагностика на регулируеми хидравлични амортизьори.

### 4. Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор № 151ПР0005-04 от Вътрешния конкурс на ТУ – София, 2015 г.

### Литература:

1. ZF Sachs AG (2015). *Suspension Technology for Commercial Vehicles*. ZF Sachs AG - Suspension Components Division. Available: <http://www.zf.com> [Accessed 10 March 2015].
2. ZF Sachs AG (2015). *Suspension Technology for Passenger Cars*. ZF Sachs AG – Suspension Components Division. Available: <http://www.zf.com> [Accessed 12 March 2015].
3. Causemann, Peter (1999). *Kraftfahrzeugstoßdämpfer: Funktionen, Bauarten, Anwendungen*. Landsberg/Lech, Verl. Moderne Industrie, 3-478-93210-6.
4. Heißing, Bernd (2011). *Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*. Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 978-3-8348-9789-3.
5. <http://demonstrations.wolfram.com/ComparingSimpleCrankSliderAndScotchYokeMechanisms/> [Accessed 10 March 2015].

6. Артоболевский, Иван (1979). *Механизмы в современной технике. Справочное пособие в 7 томах. Том 2. Кулисно-рычажные и кривошипно-ползунные механизмы*. Москва, Наука.
7. Николов, Николай (2012). *Обобщени математични модели за типно-метричен синтез на предавателни механизми с четиризвенна топологична структура. Автореферат на дисертация за получаване на научна степен д.т.н.* София, ТУ-София.
8. Intercomp Co. (2010). *Variable Speed Shock Dynamometer – Users Manual*. Medina.
9. Dixon, John (2007). *The Shock Absorber Handbook*. Chichester, John Wiley & Sons, 978-0-470-51020-9.
10. Сига, Х., Мидзутани, С. (1989). *Введение в автомобильную электронику. Пер. с японск.* Москва, Мир. 5-03-000367-3.
11. СТ на СИБ 3044-81 (1983). Амортисьори телескопични хидравлични автомобилни. Методи за стендови изпитвания. София, и-во Стандартизация.
12. ZF Sachs: *Technisches Handbuch für den Konstrukteur (Kraftfahrzeugstoßdämpfer)*.

За контакти: Assist. prof. PhD Eng. Nikolay Pavlov, Technical University of Sofia, Department “Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport”, 8 St.Kliment Ohridski Boulevard, Sofia, Bulgaria, phone: 02/965-25-42, e-mail: npavlov@tu-sofia.bg

Докладът е рецензиран.