

**В.В. ДУЩЕНКО**, д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ»,  
**С.Г. ГРУНЁВ**, аспирант, НТУ «ХПИ»

## **ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Представлені результати розрахунку та оцінки енергоспоживання систем управління характеристиками пружних елементів, на основі використання магніто-реологічних рідин

The results of calculation and assessment of energy management systems characteristics of elastic elements on the basis of magneto-rheological fluids.

**Постановка проблемы.** Для обеспечения высоких показателей плавности хода современного транспортного средства (ТС) необходимо управлять характеристиками упругих элементов (УЭ) и демпфирующих устройств с быстродействием порядка  $0,1 \dots 0,01$ с. Такое быстродействие может обеспечить система управления с использованием магнито-реологической жидкости (МРЖ). При использовании данной системы на тяжелых ТС необходимо провести оценку ее энергопотребления, что позволит решить вопрос о целесообразности ее дальнейшей разработки.

**Анализ последних публикаций.** В работе [1] представлен анализ известных технических решений систем управления характеристиками металлических УЭ, оценка их достоинств и недостатков. Сделан вывод, что перспективным направлением развития является использование новых физических принципов действия (ФПД) систем управления путем замены механических полей управляемым электромагнитным полем.

**Цель исследований** – оценить энергопотребление системы управления характеристиками УЭ на основе использования МРЖ, для известной конструкции, описанной в патенте [2].

Магнитные жидкости (МЖ) представляют собой коллоидные растворы высокодисперсных магнитных частиц размером от 5 до 50 нм, находящихся, в ферро- или ферримагнитном состоянии. МЖ обладают уникальным сочетанием текучести и способности взаимодействовать с магнитным полем. Свойства МЖ определяются совокупностью характеристик, входящих в неё компонентов (твёрдой магнитной фазы, дисперсионной среды и стабилизатора), варьируя которые можно в довольно широких пределах изменять параметры МЖ. Различают два вида магнитных жидкостей: ПАВ-содержащие МЖ и ионные МЖ, в которых стабилизация магнитных наночастиц происходит при помощи поверхностно-активных веществ (ПАВ) или за счёт поверхностного заряда, соответственно.

Магнитные жидкости на основе неполярных сред с размером частиц порядка 1 мкм называются магнито-реологическими жидкостями. Их

особенностью является резкое увеличение вязкости под воздействием магнитного поля, а в сильных полях они могут полностью «затвердевать». Магнитные жидкости, являются перспективными материалами и находят применение в различных областях техники. МРЖ активно применяют в амортизаторах ходовой части ТС, где автоматически регулируется демпфирующее усилие в каждой отдельно взятой подвеске, в зависимости от дорожных условий. Так как МРЖ имеет свойство не только изменять свою вязкость, но и при определённой силе магнитного поля «затвердевать», то её можно применять и для управления характеристиками УЭ.

Рассмотрим известный УЭ [2], установленный на стабилизаторе поперечной устойчивости с применением МРЖ, где управление упругой характеристикой производится путём увеличения плотности магнитной жидкости (рис.1) в нужной области торсиона, при возбуждении соответствующих электромагнитных дросселей и оценим энергопотребление магнитного поля, при котором «затвердевает» магнитная жидкость.

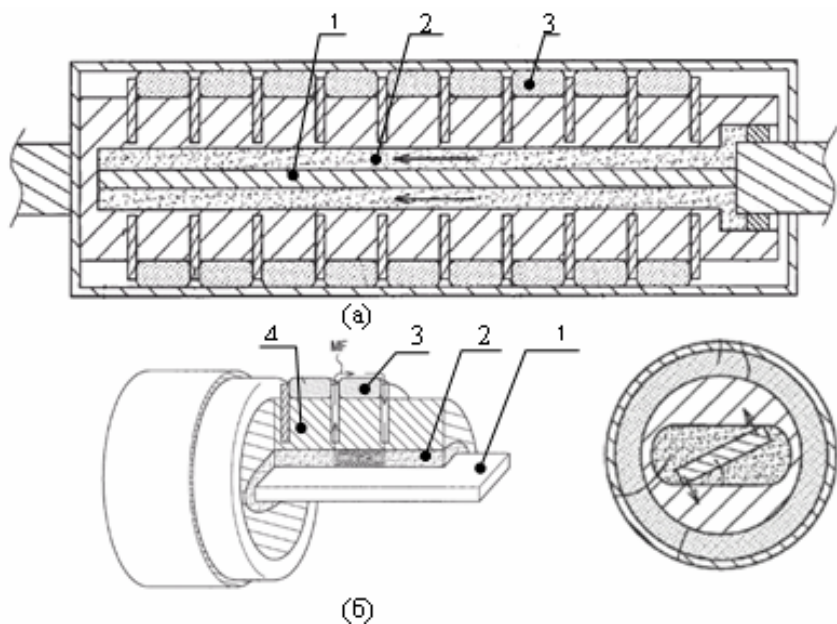


Рис. 1. Система управления упругой характеристикой торсиона:  
1 – пластинчатый торсион; 2 – магнитная жидкость; 3 – электромагнитный дроссель; 4 – немагнитный материал

Поскольку, в данной конструкции не было указано геометрических размеров, будем проводить расчеты, исходя из известной конструкции

стабилизатора поперечной устойчивости применительно для автомобиля «Опель-Кадетт-В» [5]. Зададим ширину пластинчатого торсиона, равную  $b = d = 0,014\text{м}$ , где  $d$  – диаметр прутка стабилизатора. Длину пластинчатого торсиона примем равной  $l_T = l_c/3 = 0,25\text{м}$ , где  $l_c$  – длина скручивающей части стабилизатора ( $l_c = 0,75\text{м}$ ). Зная, что индукционных катушек 9 шт., длина одной катушки будет равна  $l = l_T/9 = 0,027\text{м}$ . Внутренний радиус  $R_0$  индукционной катушки (рис. 2) примем равным  $R_0 = 1,5 \cdot b/2 \approx 0,01\text{м}$ .

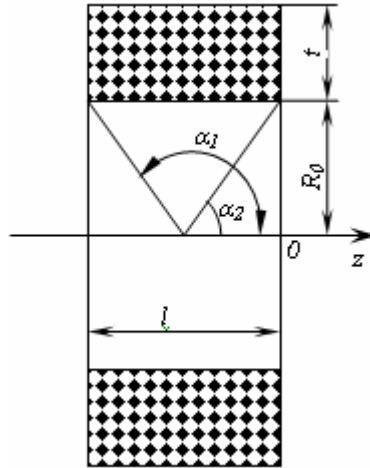


Рис. 2. Схема катушки индуктивности

Напряжённость магнитного поля [3] на оси  $Z$  катушки с током можно определить как:

$$H = \frac{1}{2} \cdot n \cdot I \cdot (\cos(\alpha_2) - \cos(\alpha_1)), \quad (1)$$

где:  $n$  – число витков одного слоя обмотки;  
 $I$  – сила тока, А;

Преобразуя формулу (1), исходя из геометрических размеров катушки индуктивности (рис.2), получим:

$$H = \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{d_0^2} \cdot I \cdot \left( \frac{z}{\sqrt{R_0^2 + z^2}} + \frac{l-z}{\sqrt{R_0^2 + (l-z)^2}} \right); \quad (2)$$

Допустим, что на автомобиле установлен генератор переменного тока типа 94.3701 (ВАЗ 2110), который имеет максимальную силу тока отдачи

$I=80\text{A}$ , при напряжении  $U=13\text{В}$ . По данной силе тока выберем диаметр обмоточного провода из справочника [4]  $d_0=2,44\text{мм}$  (ПЭТ-155А). Используя известные формулы (закон Ома для участка цепи и сопротивление однородного проводника), определим минимальную длину проводника намотанного на катушку:

$$l_{\min} = \frac{\pi \cdot U \cdot d_0^2}{4 \cdot I \cdot \rho}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника, (для меди  $\rho = 0,0172 \cdot 10^{-6}$  Ом·м);

Применяя простейшие математические вычисления, определим радиальную толщину обмотки

$$t = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left( \sqrt{(2 \cdot R_0)^2 - \frac{4 \cdot \pi \cdot l_{\min} \cdot d_0^2}{l}} - 2 \cdot R_0 \right); \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2), получим максимально возможную напряжённость магнитного поля в середине сечения катушки индуктивности ( $z = l/2$ ), которая равна  $H=567,9\text{кА/м}$ .

Полученная напряжённость магнитного поля должна приводить МРЖ в твёрдое состояние. Известные марки МРЖ (MRF-241ES(41%), MRF-336AG(36%) [6]) не обеспечивают требуемую вязкость. Поэтому необходимо подобрать или создать такую МРЖ, которая бы затвердевала при полученной максимальной напряжённости магнитного поля.

**Выводы.** Мощности используемого генератора недостаточно для обеспечения работоспособности рассмотренной конструкции. Система управления будет работать, если МРЖ перейдёт в твёрдое состояние при напряжённости магнитного поля, равной  $567,9\text{кА/м}$ , чего не происходит. Необходимо увеличивать напряжённость, путём повышения силы тока, что приведет к существенному росту энергопотребления, особенно для тяжелых ТС.

**Список литературы:** 1. Дуценко В.В. Грунёв С. Г. Системы управления характеристиками металлических упругих элементов подвески транспортных средств: принципы действия, конструкции и энергопотребление. 2. Pub. No.: US 2005/0051396 A1. TORSION BAR SPRING APPARATUS. Inventor: Hiroo Kawakami, Saitama (JP). Appl. No.: 10/919,319. Filed: Aug. 17, 2004. 3. Электричество и магнетизм: Лаб. практикум/ Под ред. Б. Ф. Шифрина/ СПбГУАП. СПб., 2001. 73с.: ил; 4. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник / Н. И. Белорусов. 5. Раймтель. Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески/Пер. с нем. А. Л. Карпухина; под ред. Г. Г. Гридасова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с. 6. [Соловьев С.Н., Гурский А.Н.](#) Особенности проектирования исполнительных органов мехатронных систем с магнитореологическими средствами/ *Авіаційно-космічна техніка і технологія Науково-технічний журнал №7 2009г.* сс 145-150.

Поступила в редколлегию 30.09.10.