

2. The Hybrid Effective Modules of Viscoelastic Composites [Electronic resource] / A. A. Svetashkov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2017. — Vol. 743 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2016). — [P. 217-222]. — Title screen. — Доступ по договору с организацией – держателем ресурса. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.743.21>

3. Modification of polymeric materials for 3D printing of external panels of nanosatellites [Electronic resource] / D. Isaeva [et al.] // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 102 : Space Engineering. — [01022, 5 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201710201022http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37970>

4. Обработка распечатанных 3D-моделей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://3dtoday.ru/wiki/processing\\_models/](http://3dtoday.ru/wiki/processing_models/) (дата обращения 10.04.2017).

5. Материалы для 3D-печати: АБС-пластик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foroffice.ru/articles/73602/> (дата обращения: 10.04.2017).

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПОСОБ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ ДВУХОПОРНОГО СТЕРЖНЯ

Ф.Ю. Кузнецов, аспирант гр. А7-24

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
Тел. 8-961-886-6664  
E-mail: kuznetsov\_f@mail.ru*

Вибрационные процессы в технике играют как позитивную, так и негативную роль. В связи с этим возникает проблема адекватного теоретического и экспериментального исследования вибраций конкретных механизмов [1,2,3].

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование метода электромагнитной вибродиагностики, позволяющего определить набор собственных поперечных колебаний двухопорного стержня (рис. 1).

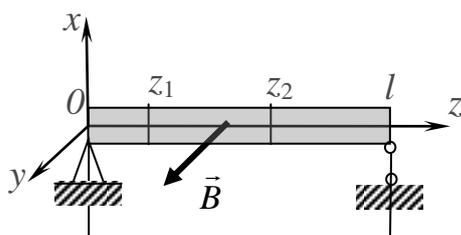


Рис. 1 – Двухопорный стержень в магнитном поле

Такой моделью представляются разнообразные конструкции, применяемые в технике. Для экспериментального определения собственных частот колебаний конструкций обычно

используются пьезоэлектрические вибродатчики. Частоты вибраций измеряются в одной точке. При этом невозможно определить весь спектр частот системы с распределенными парам

В монографии [4] получено дифференциальное уравнение поперечных колебаний электропроводного стержня, находящегося во внешнем магнитном поле:

$$EJ \left( \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} + \beta^* \frac{\partial^5 u}{\partial z^4 \partial t} \right) + m_0 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\sigma B^2 A}{l} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial u}{\partial t} dz = 0 \quad (1)$$

Здесь  $u(z,t)$  - динамическая функция смещений, зависящая от продольной координаты и времени;  $EJ$  - изгибная жесткость стержня;  $\beta$  - коэффициент внешнего демпфирования, зависящий от свойств окружающей среды;  $\beta^*$  - демпфирующий коэффициент, зависящий от свойств материала стержня;  $m_0$  - погонная масса стержня;  $\sigma$  - проводимость материала стержня;  $B$  - магнитная индукция внешнего магнитного поля, действующего на участке  $\Delta z = z_2 - z_1$ ;  $l$  - длина стержня;  $A$  - площадь поперечного сечения стержня. Последний член в уравнении (1) соответствует электромагнитной силе.

Дифференциальное уравнение в частных производных (1) с помощью процедуры Фурье сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\ddot{q}_r + (\beta + \beta^* p_r^2) \dot{q}_r + p_r^2 q_r = -\mathbf{St} \frac{\gamma_r}{\alpha_r Y_r^*} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma_n}{\alpha_n} \dot{q}_n, \quad (2)$$

где  $q_r$  - обобщенные координаты системы, и введены обозначения:

$$X_r = \sin \frac{rp}{l} z \text{ - собственные амплитудные функции двухопорного стержня;}$$

$$\gamma_r = \alpha_r \int_{z_1}^{z_2} X_r dz; \gamma_n = \alpha_n \int_{z_1}^{z_2} X_n dz; Y_r^* = \int_0^l X_r^2 dz; \alpha_r^4 = \frac{p_r^2 m_0}{EJ}; \mathbf{St} = \frac{\sigma B^2}{\rho p_1}$$

характеризующее отношение магнитной силы к силе инерции.

В результате анализа системы дифференциальных уравнений (2) определены собственные частоты  $\omega_n$  и собственные амплитудные формы  $X_n(z)$  вибраций стержня с учетом граничных условий. При этом показано, что всегда имеются группы колебаний, не подвергающиеся электромагнитному воздействию – изолированные колебания. Набор изолированных колебаний зависит от ширины и расположения участка, в пределах которого действует магнитное поле (активный участок).

В монографии [4] предложен электромагнитный способ частотного анализа колебаний проводящих механических систем. Его суть состоит в следующем: в электрическую цепь, замыкающую концы стержня, включается анализатор электрических сигналов. При поперечных колебаниях стержня в магнитном поле, в нем индуцируется переменный электрический ток с набором частот, соответствующим неизолированным собственным частотам вибрации стержня.

Ширина и расположение активного участка выбирается в зависимости от набора частот, которые требуется определить. Факторы затухания, с учетом внутреннего демпфирования, являются частотно зависимыми:

$$\tilde{h}_r = \frac{1}{2} \left( \beta + \beta^* r^2 + \mathbf{St} \frac{\gamma_r^2}{\alpha_r^2 Y_r^*} \right), \quad (r = 1, 2, \dots). \quad (3)$$

Частота реальной системы находится по формуле:

$$p_r^* = \sqrt{p_r^2 - \frac{(\beta + \beta^* p_r^2)^2}{4}}, \quad (r = 1, 2, \dots). \quad (4)$$

Предложенный способ позволяет одновременно определять требуемую группу собственных частот. На основе изложенной теории можно сконструировать новый тип вибродатчика, который удобно применять при исследовании вибраций конструкций, находящихся во внешних магнитных полях.

**Список литературы:**

1. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. – Москва: Инфра-Инженерия, 2010 – 176с.
2. Томилин А.К., Байзакова Г.А. Управление частотами колебаний упругих электромеханических систем. «Вестник Томского государственного университета. Математика и механика», 2012. – № 3(19).– С. 87-92.
3. Томилин А.К., Байзакова Г.А. Электромагнитный способ подстройки частоты вибрметра. «Изв. вузов. Физика», 2012.– № 6/2.– С. 244-247.
4. Томилин А.К. Колебания электромеханических систем с распределенными параметрами. – Усть-Каменогорск, 2004 – 286с

**ЕМКОСТНОЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ  
НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

*А.И. Горшенина, А.И. Поморцев, студенты гр. 5Г4Б ИШЭ  
(НИ ТПУ) г. Томск*

Научные руководители: С.Н. Кладиев – канд. техн. наук, доцент.

В наше время аккумуляторные технологии значительно шагнули вперёд, если сравнивать с прошлым десятилетием. Но все равно аккумуляторные батареи приходится часто менять, так как они имеют небольшой ресурс. Идея использовать конденсатор вместо аккумуляторной батареи пришла давно, проводились эксперименты с электрическими конденсаторами. Электрические конденсаторы обладают значительной ёмкостью, но её не хватает для длительного питания нагрузки, при этом имеет место значительный ток утечки, обусловленный особенностями конструкции, а также наличие эквивалентной последовательной индуктивности (*ESL*), и сопротивления (*ESR*). Технологии развиваются, и, как следствие, был изобретен ионистор – конденсатор, который имеет сверхбольшую ёмкость – от единиц, до десятков тысяч фарад. Ионисторы с ёмкостью единицы фарад используются в портативной электронике, для обеспечения бесперебойного питания слаботочных цепей, например, микроконтроллеров. Ионисторы с большой ёмкостью используются в паре с аккумуляторными батареями для питания электродвигателей. В таком случае ионистор уменьшает нагрузку на аккумуляторные батареи, что значительно повышает срок эксплуатации и одновременно увеличивает пусковой ток, который способна выдать эта установка.

Места, где могут использоваться ионисторы, практически безграничны. В радиотехнике они применяются как кратковременные и комбинированные источники тока: в вычислительной, звуковой и видеотехнике, мобильных телефонах, в аппаратуре проводной связи, в медицинских и бытовых электроприборах, в часах, электронных играх, в ксеноновых вспышках