

Ляпунов Данил Юрьевич

**РАЗВИТИЕ ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ  
МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2011/1/21.html](http://www.gramota.net/materials/1/2011/1/21.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2011. № 1 (44). С. 63-65. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2011/1/](http://www.gramota.net/materials/1/2011/1/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

8. Костюкова Н. И., Кудинов А. Е. Автоматизация научных исследований в области медицины с применением технологии *Data Mining* // Там же. № 3 (34). Ч. 1. С. 22-24.
9. Костюкова Н. И., Кудинов А. Е. Математические модели лечения с учетом эффективности // Там же. С. 17-21.
10. Костюкова Н. И., Родин Е. В. Система поддержки принятия решений для отраслей, связанных с риском // Там же. № 7 (38). С. 41-44.

УДК 621.314.21-181.48+621.382-002.532

Данил Юрьевич Ляпунов

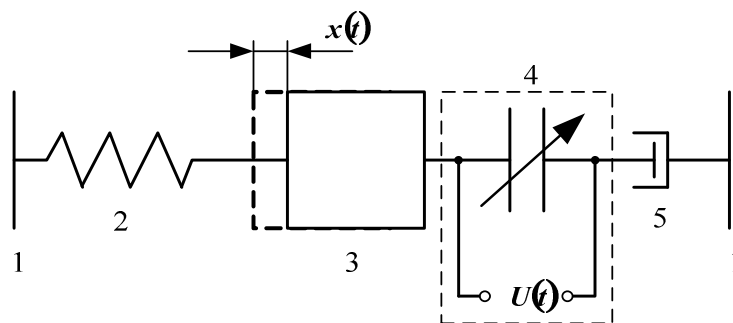
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

### РАЗВИТИЕ ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ<sup>©</sup>

Развитие технологий микросистемной техники потребовало повышения энергоемкости электромеханических преобразователей. При всем многообразии способов электромеханического преобразования энергии именно емкостной имеет наибольшую перспективу области микронных размеров и малых мощностей до 1 Вт.

В основе принципа работы емкостных электромеханических преобразователей (ЕЭМП) лежит взаимодействие зарядов на обкладках конденсатора.

Для моделирования и проектирования ЕЭМП широко используется схема преобразования энергии (Рис. 1).



**Рис. 1.** Схема преобразования энергии в ЕЭМП: 1 - неподвижная часть системы; 2 - упругий элемент; 3 - масса; 4 - конденсатор с подвижной обкладкой, 5 - демпфирующий элемент

Согласно данной схеме, при подаче переменного или постоянного напряжения  $U(t)$  между зажимами конденсатора, заряды на его обкладках взаимодействуют, осуществляя электромеханическое преобразование энергии. Кроме того, если под действием внешней силы обкладки конденсатора 4 приходят в движение, то емкость на его зажимах изменяется, что позволяет измерять ускорение, виброскорость и микроперемещения [8].

Таким образом, рассматриваемые преобразователи энергии возможно применять как в двигательном, так и в генераторном режимах.

Рассматриваемая схема (Рис. 1) используется также для моделирования датчиков ускорения. При определенном значении ускорения сила инерции массы заставляет обкладки конденсатора 4 перемещаться, в результате чего электрическая емкость системы изменяется [2].

Наиболее перспективными и широко применяемыми ЕЭМП являются акселерометры для систем безопасности транспортных средств и контроля технического состояния технологических объектов.

Основное уравнение движения системы имеет следующий вид:

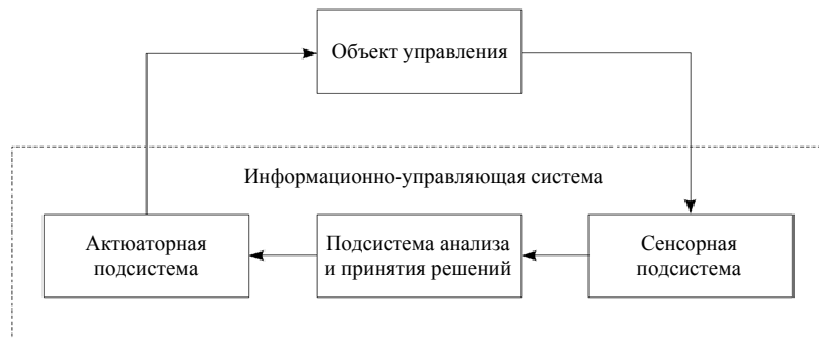
$$m\ddot{x}(t) + \dot{x}(t) + kx(t) = F(t),$$

где  $m$  - масса,  $\beta$  - коэффициент демпфирования,  $k$  - жесткость упругого элемента,  $x(t)$  - смещение инерционной массы относительно положения равновесия,  $F(t)$  - сила, приводящая систему в движение.

Согласно [8], чувствительные элементы акселерометров способны эффективно воспринимать и измерять наноперемещения при ускорениях до 50g.

Важной идеей, рассмотренной в данной работе, является объединение сенсорных и актуаторных свойств ЕЭМП в одном устройстве, что позволит создавать электромеханические среды, способные не только чувствовать внешние механические воздействия, но и отвечать на них, совершая электромеханическое преобразование энергии.

Таким образом, достижения микросистемной техники и нанотехнологии стимулируют развитие всех составляющих информационно-управляющих систем, которые по Норберту Винеру [4] состоят из объекта управления, сенсорной подсистемы, подсистемы анализа и принятия решений, актюаторной (воздействующей, исполнительской) подсистемы (Рис. 2).

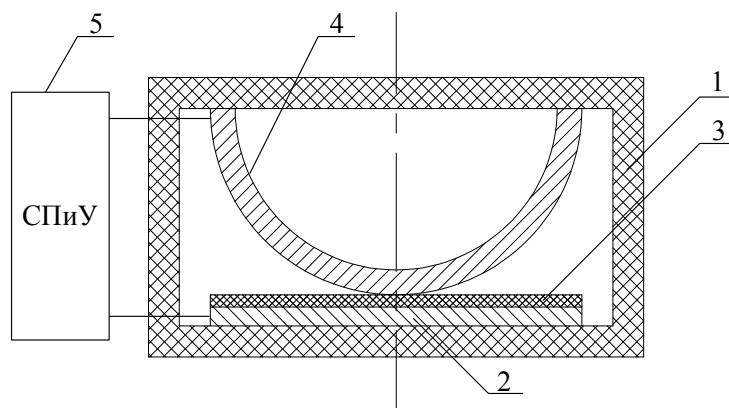


**Рис. 2.** Составляющие информационно-управляющих систем (по Винеру)

На выходе объекта, совершающего малые перемещения, установлен датчик, предназначенный для измерения параметров движения. На основе показаний датчика информационно-управляющая система вырабатывает сигнал на актюатор, который преобразует электрическую энергию в механическую и корректирует работу объекта. По данному принципу в настоящее время строятся системы гашения вибраций для сканирующих зондовых микроскопов, которые являются основными инструментами для исследования современных наноматериалов [1].

Идея интеграции систем управления и силовых элементов отражена в [3]. Именно интеграция позволит современным инженерам создавать рефлексивные моторные среды, которые будут применяться для смягчения последствий аварийных ситуаций на транспорте, создания роботизированных конечностей, систем гашения вибраций в авиационной, космической и военной промышленности.

С этой целью разработана конструкция емкостного электромеханизма [5], обладающего сенсорными и актюаторными свойствами (Рис. 3).



**Рис. 2.** Конструкция электромеханизма

Данный электромеханизм крепится верхней частью корпуса 1 к объекту контроля, совершающего вибрации и способен производить малые перемещения при приложении разности потенциалов между электродом 4 и металлической подложкой 2. Кроме того, при деформации корпуса 1, происходит изменение емкости конденсатора, образованного электродом 4, слоем диэлектрика 3 и металлической подложкой 2 за счет изменения площади соприкосновения электрода и слоя диэлектрика. Сигнал емкости измеряется при помощи системы питания и управления 5 (СПиУ) и позволяет судить об уровне вибраций и микроперемещений корпуса объекта контроля для диагностики его механического состояния.

Испытания электромеханизма показывают его способность измерять перемещения до 200 мкм и совершать колебательное движение и микроперемещения при приложении разности потенциалов между электродом и металлической подложкой.

Следующим этапом развития ЕЭМП является совмещение нескольких способов преобразования энергии [7] в одном устройстве. Именно совместное использование механизмов преобразования энергии позволит повысить энергоемкость (отношение мощности устройства к его массе) устройств микросистемной техники.

Например, некоторые сегнетоэлектрики обладают пьезоэлектрическим эффектом, кроме того, имеют явно выраженную зависимость диэлектрической проницаемости от температуры.

Использование трех механизмов - электростатический, пьезоэлектрический и тепловой, позволяет повысить энергоемкость устройств микросистемной техники и расширить функциональные возможности преобразователей, которые способны контролировать несколько переменных процесса или объекта.

Таким образом, для современных разработчиков устройств микросистемной техники актуальными являются следующие задачи:

1. Уменьшение массогабаритных показателей устройств микросистемной техники.
2. Расширение функциональных возможностей преобразователей путем использования их сенсорных и актюаторных свойств, объединения нескольких механизмов преобразования энергии в одном устройстве.
3. Разработка программных продуктов, позволяющих решать связанные физические задачи [6] для моделирования и проектирования ЕЭМП.
4. Объединение усилий ученых из разных отраслей науки и менеджеров, способных довести продукт до конечного потребителя.

#### Список литературы

1. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007. 496 с.
2. Гридчин В. А., Драгунов В. П. Физика микросистем: учеб. пособие: в 2-х ч. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. Ч. 1. 416 с.
3. Лопота В. А., Юревич Е. И. МЕХАТРОНИКА - основа интеллектуальной техники будущего [Электронный ресурс] // Микросистемная техника. 2003. № 1. URL: <http://www.rtc.ru/publication/mehatron.shtml> (дата обращения: 16.07.2010).
4. Нурулин Ю. Р., Пятышев Е. Н. Микротехнологии и микроэлектромеханические системы - перспективное научно-инновационное направление [Электронный ресурс]. URL: [http://www.mems.ru/pdf/Kompetenzia5\\_6\\_2006.pdf](http://www.mems.ru/pdf/Kompetenzia5_6_2006.pdf) (дата обращения: 01.04.2008).
5. Патент на полезную модель 95323. Российская Федерация. МПК В81 В3/00. Электромеханизм / автор Д. Ю. Ляпунов, патентообладатель ГОУ ВПО «Томский политехнический университет». № 2010108272/22; заявл. 05.03.2010; опубл. 27.06.2010. Бюл. № 18. 2 с.
6. ELCUT программа моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач [Электронный ресурс]. URL: <http://elcut.ru/> (дата обращения: 16.07.2010).
7. Korvink Jan G. MEMS: a practical guide to design, analysis and applications. New York: Springer, 2005. 965 p.
8. Stephen D. Senturia. Microsystem Design. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002.

УДК 534.121

Владимир Николаевич Нестеров, Иван Владимирович Нестеров, Давид Карленович Петросян  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

#### ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА<sup>©</sup>

Автоколебания - это незатухающие колебания, которые могут существовать в колебательной системе при отсутствии периодических внешних воздействий за счёт наличия в системе активного элемента, компенсирующего неизбежные в реальной системе потери энергии.

Автоколебательный процесс рассматривался на примере маятника Фроуда.

Автоколебания маятника Фроуда описываются дифференциальным уравнением:

$$J \ddot{\varphi} + m \cdot g \cdot l \cdot \sin \varphi + F_0 \cdot r \cdot e^{-|\dot{\varphi}|} \cdot \text{sign}(-\dot{\varphi}) = 0$$

где  $J$  - момент инерции маятника,  $F_0$  - коэффициент сухого трения,  $g$  - радиус оси подвеса,  $\varphi$  - угловая скорость маятника,  $\dot{\varphi}$  - угловая скорость оси.

Данное дифференциальное уравнение решалось с помощью *MathCAD* (Рис. 1).

Полученные данные анализировались с помощью встроенной вейвлет функции *wave* (Рис. 2).

В результате вейвлет анализа получены вейвлет спектры для случаев  $\eta=0,1\dots 0,9$  (Рис. 3-12).

С помощью функции *Trace* был измерен один из максимумов полученных спектров (Рис. 12).

В результате получен график величины максимумов вейвлет спектра в зависимости от  $\eta$  (Рис. 13).

Из анализа графика величины максимума вейвлет спектра в зависимости от  $\eta$  сделан вывод: при возрастании  $\eta$ , величина максимума функции вейвлет спектра уменьшается.