

## МАГНИТНЫЕ ПОДВЕСЫ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Р. Р. УРАЗБАХТИН<sup>1</sup>, В. Е. ВАВИЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>urr98@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** На сегодняшний день перспективной является разработка устройств, в которых отсутствуют потери, связанные с механическим трением между их составными частями. Решением проблемы является применение устройств, в которых проблема трения решена за счет магнитной левитации. Проблемы трения особенно актуальны в подшипниках, в узлах механизмов, которые вращаются или перемещаются друг относительно друга по одной или нескольким степеням свободы. В таких случаях внедряются устройства, работающие по принципу магнитного подвеса. Особенно проблема трения актуальна в областях, где предъявляются высокие требования к производительности и износоустойчивости устройств. В данной работе рассмотрено применение магнитных подвесов в электромеханических медицинских устройствах.

**Ключевые слова:** магнитная левитация, магнитный подвес, электромеханические медицинские устройства, виды магнитных подвесов.

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день перспективной является разработка устройств, в которых отсутствуют потери, связанные с механическим трением между их составными частями. Трение является причиной снижения КПД устройств и снижения срока эксплуатации устройств в связи с износом их трущихся составных частей. Решением проблемы является применение устройств, в которых проблема трения решена за счет магнитной левитации [1].

Проблемы трения особенно актуальны в подшипниках, в узлах механизмов, которые вращаются или перемещаются друг относительно друга по одной или нескольким степеням свободы. В таких случаях внедряются устройства, работающие по принципу магнитного подвеса, вместо обычных подшипников применяются магнитные подшипники, трение в которых отсутствует [2].

Проблема трения также актуальна в областях, где предъявляются высокие требования к производительности и износоустойчивости устройств. В данной работе рассмотрим применение магнитных подвесов в электромеханических медицинских устройствах.

### СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОДВЕСОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Магнитные подшипники используются в роторных насосах, применяемых в большинстве систем искусственного кровообращения (СИК), в том числе имплантируемых. Роторный ИН – насос, в котором перемещение крови осуществляется за счет заполнения кровью рабочей камеры, а затем вытеснения крови из рабочей камеры, причем вытеснение крови происходит либо за счет вращательного движения ротора, либо за счет вращательно-поступательного движения ротора [3].

В случае применения роторного насоса для СИК существует проблема сопряжения привода и насосного блока. При сопряжении привода и насосного блока появляется необходимость использовать подшипники. Подшипники имеют свойство изнашиваться, поэтому за счет их применения снижается продолжительность службы насоса без замены подшипников. Для увеличения срока службы роторного насоса используются магнитные подшипники. Также существуют

современные роторные насосы, в которых ротор насоса подвешен в магнитном поле. Преимуществом такой системы является отсутствие трения в системе и, соответственно, ее износоустойчивость. Однако у такого решения есть некоторые недостатки: использование магнитного подшипника ведет к увеличению веса и габаритов системы, а также повышению величины входной мощности. Помимо этого усложняется система управления роторным насосом, что ведет к понижению надежности системы в целом. Недостатком роторного насоса, в котором ротор вращается в магнитном поле, является то, что выход из строя магнитного подвеса ротора может привести к гибели пациента. Это обуславливается тем, что в таком роторном насосе присутствует не омываемая кровью зона в области магнитного подвеса ротора [4].

Устройства, действие которых основано на явление магнитной левитации, также применяются в медицинских инструментах, используемых в хирургии и микрохирургии [5]. В частности, в медицинских инструментах используются индукционные гироскопы. Это обусловлено тем, что индукционный гироскоп можно изготовить достаточно малого размера, удовлетворяющего требованиям габаритных показателей, предъявляемым к определенному классу медицинских инструментов. Более того, у индукционных гироскопов очень высокая точность измерений, что является важным фактором для применения в медицинских целях.

Актуально применение устройств, действие которых основано на явление магнитной левитации, в протезировании. Современные протезы представляют собой сложные мехатронные системы, способные совершать движения за счет установленных в них насосов или электродвигателей. Управление протезом может осуществляться либо через нервную систему человека, либо за счет слабых воздействий культи на чувствительную часть протеза [7]. Сервоприводы, применяющиеся в протезах в настоящее время, обладают одной степенью свободы

совершаемых движений, что обуславливает ограниченную подвижность систем, в которых они используются. Для обеспечения движения по каждой дополнительной степени свободы требуется установка дополнительного сервопривода. Установка дополнительного сервопривода влечет за собой усложнение конструкции системы управления протезом и самого протеза в целом. Также увеличивается масса протеза и понижается его надежность, что вызывает неудобства у человека, использующего протез. Решением проблемы является использование вместо системы из сервоприводов сферического электродвигателя, в котором ротор левитирует относительно статора. При этом сферический электродвигатель обеспечивает перемещение нагрузочной части по трем степеням свободы [8].

#### **ВИДЫ МАГНИТНЫХ ПОДВЕСОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВАХ**

Подробнее остановимся на магнитных подвесах, которые применяются в медицинских устройствах.

Также в медицинских устройствах используются электромагнитные опоры переменного тока (ЭОПТ). Принцип работы ЭОПТ основан на явлении магнитной левитации. Управление магнитным полем ЭОПТ осуществляется за счет изменения электрического тока в обмотках удерживающих катушек электромагнита. В электрических схемах ЭОПТ используются резонансные свойства электрических цепей. Наиболее распространенная схема электромагнитного резонансного подвеса – схема с применением явления резонанса напряжений в последовательном LC – контуре. ЭОПТ с резонансной цепью состоит из: электромагнитов; резонансных цепей, за счет которых автоматически регулируется магнитное поле ЭОПТ; демпфирующих цепей (в случае если необходима дополнительная регулировка тока и, соответственно, магнитного поля в ЭОПТ); источников питания. Для построения систем магниторезонансных бесконтактных опор возможно применение как электрических схем, в которых достигается

резонанс напряжений, так и схем, в которых достигается резонанс токов. Принципиальная схема ЭОПТ с резонансной LC-цепочкой показана на рис. 1 [6].

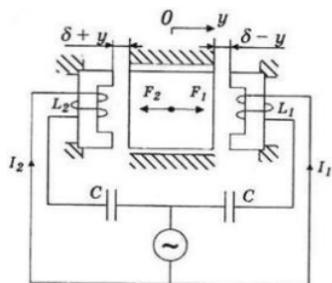


Рис. 1. ЭОПТ с резонансной LC-цепочкой

Функционирует ЭОПТ следующим образом. Левитирующее тело в опоре (выполненное из ферромагнитного материала) расположено между одинаковыми электромагнитами с зазором  $\delta$ . К электромагнитам подсоединены последовательно конденсаторы. Значения емкостей конденсаторов выбираются исходя из условия, чтобы на тело, расположенное симметрично относительно электромагнитов, действовали токи, протекающие в электромагнитах, значения которых находятся в диапазоне ниспадающей ветви резонансной кривой. Электрическая цепь ЭОПТ включается под переменное напряжение. В случае смещения левитирующего тела от положения, симметричного относительно электромагнитов, индуктивности электромагнитов изменяются таким образом, что возникающая магнитная сила возвращает левитирующее тело в исходное положение. Преимуществом ЭОПТ является его надежность и простота системы управления. Недостатками ЭОПТ являются малые зазоры между левитирующим телом и электромагнитами; сравнительно небольшая грузоподъемность; высокие потери энергии за счет вихревых токов в левитирующем теле и при его перемагничивании. ЭОПТ получили широкое распространение в индукционных микрогироскопах для медицинских инструментов и в томографах [6].

В медицине также применяются активные магнитные подвесы (АМП). Задачи и составные компоненты у АМП такие же, как и у ЭОПТ. Основным отличием АМП от ЭОПТ является то, что АМП обладает более

сложной системой управления, за счет которой регулируется положение левитирующего тела. Структурная схема АМП представлена на рис. 2.

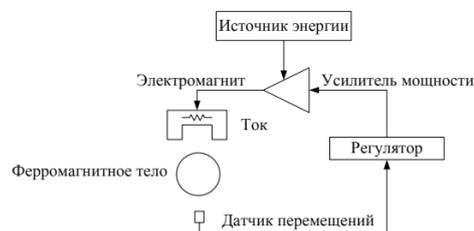


Рис. 2. Структурная схема АМП

Преимуществом АМП перед ЭОПТ является возможность более эффективной регулировки электромагнитного поля, за счет которого достигается левитация, и, соответственно, достижение лучших силовых характеристик по сравнению с ЭОПТ. АМП обладают высокой грузоподъемностью, высокой механической прочностью. При этом за счет более сложного по сравнению с ЭОПТ алгоритма управления у АМП есть возможность регулирования амортизации. К минусам АМП относится высокая стоимость устройства в целом и его пониженная надежность по сравнению с ЭОПТ, что обусловлено применением сложной системы управления [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами рассмотрены сферы применения устройств, действие которых основано на принципе магнитной левитации в медицине. Рассмотрены преимущества и недостатки применения устройств, действие которых основано на принципе магнитной левитации в различных областях их применения; описаны виды устройств, действие которых основано на принципе магнитной левитации, применяющихся в различных медицинских устройствах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козорез В. В. Динамические системы магнитно взаимодействующих свободных тел. Киев: Наукова думка, 1981. 140 с. [Kozorez V. V. *Dynamic systems of magnetically interacting free bodies* (in Russian). Kiev: Naukova Dumka, 1981.]
2. Осокин Ю. А., Герди В. Н., Майков К. А., Станкевич Н. Н. Теория и применение электромагнитных подвесов. М.: Машиностроение, 1980. 285 с. [Osokin Yu. A., Gerdi V. N., Maikov K. A., Stankevich N. N. *Theory and applica-*

tion of electromagnetic suspensions (in Russian). М.: Mechanical Engineering, 1980. ]

3. **Есьман И. Г.** Насосы. – 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Гостоптехиздат, 1954. 288 с [ Esman I. G. *Pumps - 3rd ed., Pererab. and additional* (in Russian). Moscow: Gostoptekhizdat, 1954. ]

4. **Уразбахтин Р. Р., Вавилов В. Е.** Имплантируемые насосы для искусственных систем вспомогательного кровообращения // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 2 (10). С. 217–221. [ Urazbakhtin R. R., Vavilov V. E., “ Implantable pumps for artificial auxiliary crocheting systems ” (in Russian), in *Modern scientific research and development*, no. 2 (10), pp. 217-221, 2017. ]

5. **Ключевые** сегменты рынка МЭМС-компонентов [Электронный ресурс]. URL: [https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010\\_05\\_22.pdf](https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010_05_22.pdf) (дата обращения 04.07.2018). [ Key market segments of MEMS components [Online]. Available: [https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010\\_05\\_22.pdf](https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2010_05_22.pdf) ]

6. **Как** работают бионические протезы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.popmech.ru/science/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-protezy/> (дата обращения 04.07.2018). [ How bionic prostheses work [Online]. Available: <http://www.popmech.ru/science/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-protezy/> ]

7. **Липин А. В.** Разработка и исследование трехкоординатного электропривода для манипуляторов [Электронный ресурс]. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Autoreferats/LipinAV.pdf>, pdf (дата обращения 04.07.2018). [A. V. Lipin Development and research of the three-axis actuator for manipulators [Online]. Available: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Autoreferats/LipinAV.pdf> ]

8. **Установка** магнитного надвеса [Электронный ресурс]. URL: [https://dSPACE.tltsu.ru/bitstream/123456789/1954/1/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%95.%D0%90.%D0%AD%D0%9B%D0%B1%D0%B7\\_1131.pdf](https://dSPACE.tltsu.ru/bitstream/123456789/1954/1/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%95.%D0%90.%D0%AD%D0%9B%D0%B1%D0%B7_1131.pdf) (дата обращения 04.07.2018). [ Mounting of the magnetic suspension [Online]. Available: [https://dSPACE.tltsu.ru/bitstream/123456789/1954/1/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%95.%D0%90.%D0%AD%D0%9B%D0%B1%D0%B7\\_1131.pdf](https://dSPACE.tltsu.ru/bitstream/123456789/1954/1/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%95.%D0%90.%D0%AD%D0%9B%D0%B1%D0%B7_1131.pdf) ]

#### ОБ АВТОРАХ

**УРАЗБАХТИН Руслан Рустемович**, студент кафедры электромеханики ФГБОУ ВО УГАТУ. Иссл. в обл. электротехники и электроэнергетики.

**ВАВИЛОВ Вячеслав Евгеньевич**, к.т.н., доцент кафедры электромеханики ФГБОУ ВО УГАТУ. Иссл. в обл. электротехники и электроэнергетики.

#### METADATA

**Title:** Magnetic suspensions in electromechanical medical devices.

**Authors:** R. R. Urazbakhtin<sup>1</sup>, V. E. Vavilov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>urr98@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (20), pp. 174-177, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** Today, it is promising to develop devices in which there are no losses associated with mechanical friction between their constituent parts. The solution to the problem is the use of devices in which the friction problem is solved by magnetic levitation. Friction problems are particularly relevant in bearings, in the nodes of mechanisms that rotate or move relative to one another in one or more degrees of freedom. In such cases, devices that operate on the principle of magnetic suspension are introduced. Especially the problem of friction is relevant in areas where high demands are placed on performance and durability of devices. In this paper, the use of magnetic suspensions in electromechanical medical devices is considered.

**Key words:** magnetic levitation, magnetic suspension, electromechanical medical devices, types of magnetic suspensions.

**About authors:**

**URAZBAKHTIN, Ruslan Rustemovich**, a student of department of the Electromechanics (UGATU). Researches in the Electromechanics and electrical engineering.

**VAVILOV, Vyacheslav Evgenevich, Ph.D.**, Associate Professor of department of the Electromechanics (UGATU). Researches in the Electromechanics and electrical engineering.