

## СОЗДАНИЕ МАКЕТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

В. М. Амосков<sup>1</sup>, Д. Н. Арсланова<sup>1</sup>, А. М. Базаров<sup>1</sup>,  
В. А. Беляков<sup>1,3</sup>, Е. В. Быстренина<sup>1</sup>, В. Н. Васильев<sup>1</sup>,  
А. А. Кавин<sup>1</sup>, М. В. Капаркова<sup>1</sup>, В. А. Коротков<sup>1</sup>,  
В. Д. Кузьменков<sup>1</sup>, В. П. Кухтин<sup>1</sup>, А. Н. Лабусов<sup>1</sup>,  
Е. А. Ламзин<sup>1</sup>, А. А. Ланцетов<sup>1</sup>, В. А. Ланцетов<sup>1</sup>,  
М. С. Ларионов<sup>1</sup>, М. В. Манзук<sup>1</sup>, А. В. Мизинцев<sup>2</sup>,  
В. М. Михайлов<sup>1</sup>, А. Н. Неженцев<sup>1</sup>, И. Ю. Родин<sup>1</sup>,  
С. Е. Сычевский<sup>1,3</sup>, А. А. Фирсов<sup>1</sup>, М. В. Хохлов<sup>1</sup>,  
Н. А. Шатиль<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – АО «Научно-исследовательский институт электрофизической  
аппаратуры им. Д. В. Ефремова»

<sup>2</sup> – ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»

<sup>3</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

## PROTOTYPING COMPONENTS FOR MAGLEV EDS

V. M. Amoskov<sup>1</sup>, D. N. Arslanova<sup>1</sup>, A. M. Bazarov<sup>1</sup>,  
V. A. Belyakov<sup>1,3</sup>, E. V. Bystrenina<sup>1</sup>, A. A. Firsov<sup>1</sup>,  
A. A. Kavin<sup>1</sup>, M. V. Kaparkova<sup>1</sup>, M. V. Khokhlov<sup>1</sup>,  
V. A. Korotkov<sup>1</sup>, V. P. Kukhtin<sup>1</sup>, V. D. Kuzmenkov<sup>1</sup>,  
A. N. Labusov<sup>1</sup>, E. A. Lamzin<sup>1</sup>, A. A. Lantzetov<sup>1</sup>,  
M. S. Larionov<sup>1</sup>, M. V. Manzuk<sup>1</sup>, V. M. Mikhailov<sup>1</sup>,  
A. V. Mizintzev<sup>2</sup>, A. N. Nezhentzev<sup>1</sup>, I. Yu. Rodin<sup>1</sup>,  
S. E. Sytchevsky<sup>1,3</sup>, N. A. Shatil<sup>1</sup>, V. N. Vasiliev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Joint Stock Company “D. V. Efremov Scientific Research Institute of  
Electrophysical Apparatus”

<sup>2</sup> – NIEFA-ENERGO Ltd

<sup>3</sup> – Saint Petersburg State University  
(St. Petersburg, Russia)

Анализ реализованных в мире систем левитационного транспорта и расчёты магнитных систем электромагнитных (ЭМП) и электродинамических (ЭДП) подвесов, проведённые в АО «НИИЭФА», привели к созданию концепции построения системы комбинированного подвеса с пониженным электропотреблением.

Основная задача текущего этапа заключается в построении прообраза элементов ЭМП, входящих в систему комбинированного подвеса, выбора оптимального сочетания функций различных подсистем, их инженерной и технологической проработки для максимального снижения производственных и эксплу-

атационных затрат. Цель работы – создание макетов в обоснование предварительных технических решений, а также исследование системы магнитной левитации и стабилизации с пониженным энергопотреблением. В макетах близки к реальной величине левитационный зазор, быстродействие и точность измерения подсистемы диагностики и контроля, а также системы питания. Предполагается, что магнитная система ЭМП, входящего в комбинированный подвес, будет содержать нормально-проводящие электромагниты (ЭМ), постоянные магниты (ПМ) и сверхпроводниковые (в частности, ВТСП-2) магниты (СП).

Разработанная в АО «НИИЭФА» вычислительная технология обеспечила надёжное масштабирование параметров магнитных систем в требуемом на практике диапазоне, что позволило существенно уменьшить размеры макетов и, как следствие, радикально сократить затраты на материалы, изготовление и оснастку по сравнению с полномасштабными изделиями.

#### **Основные задачи, решаемые в ходе работ на макетах:**

- Оптимизация прообраза левитационной системы с магнитным подвешиванием путём оптимального сочетания функций подсистем. Важность задачи подтверждается предварительным анализом, который показал сверхвысокое энергопотребление или неработоспособность, в принципе, ряда предложенных в литературе схем.

- Минимизация энергетических затрат  $P_e$ , характеризуемых величиной мощности, (выраженной в Вт), которая затрачивается на обеспечение левитации груза (весом 1 Н). Проверка соответствия общей концепции и элементов системы с магнитным подвешиванием требованиям энергосбережения и экологической безопасности.

- Оптимизация технологий изготовления, как отдельных элементов системы магнитного подвешивания, так и системы в целом.

- Проверка разработанных алгоритмов управления ЭМП.

- Отладка макета подсистемы слежения и управления в статическом режиме и при изменении весовой нагрузки.

- Отладка подсистемы диагностики и контроля системы левитации.

#### **Основные исходные параметры:**

- левитационный зазор – 5 мм,

- размер по осям ферромагнитных направляющих 500 мм,

- размеры направляющих 25x50 мм,

- собственный вес левитирующего модуля не более 100 кг,

- суммарная нагрузка на систему левитации не менее 300 кг.

При разработке конструкции макетов ЭМП были выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния несущей рамы левитирующего модуля и путевой структуры для различных условий работы и положений полезного груза (комплекс программ ANSYS). Разработана 3-х мерная конечно-элементная модель рамы макета. Выполнен анализ механических напряжений и деформа-

ций, в частности, определены перемещения посадочных площадок несущей рамы для элементов магнитной системы.

На разработанных и изготовленных АО «НИИЭФА» натурных макетах различного масштаба:

- отработаны конструкторские решения и верифицированы вычислительные модели.
- проверены алгоритмы управления током питания ЭМ;
- отлажен макет подсистемы слежения и управления ЭМ в статическом режиме и при изменении весовой нагрузки на подвес;
- проведен анализ изменения силы притяжения блока ПМ к ферромагнитной направляющей в зависимости от зазора между ними;
- исследована левитация элементов магнитной системы, содержащей одновременно управляемые ЭМ и ПМ.

#### **Планируется:**

- изучение устойчивости системы магнитного подвешивания макета при движении с малыми скоростями;
- оценка параметров системы стабилизации;
- исследование левитации макетов ЭМ и СП магнитов (ВТСП - 2), а также совместной левитации ЭМ, ПМ и СП магнитов.

#### **Сведения об авторах:**

Амосков Виктор Михайлович, avm@sintez.niiefa.spb.ru  
Арсланова Дарья Николаевна, arslanova@sintez.niiefa.spb.ru  
Базаров Александр Михайлович, bazarov@sintez.niiefa.spb.ru  
Беляков Валерий Аркадьевич, belyakov@niiefa.spb.ru  
Быстренина Екатерина Валерьевна, bystrenina@sintez.niiefa.spb.ru  
Васильев Вячеслав Николаевич, vasilievvn@sintez.niiefa.spb.ru  
Кавин Андрей Александрович, kavina@sintez.niiefa.spb.ru  
Капаркова Марина Викторовна, sytch@sintez.niiefa.spb.ru  
Коротков Владимир Александрович, korotkov@sintez.niiefa.spb.ru  
Кузьменков Владимир Дмитриевич, kuzmenkov@sintez.niiefa.spb.ru  
Кухтин Владимир Петрович, kukhtin@sintez.niiefa.spb.ru  
Лабусов Алексей Николаевич, Labusov@sintez.niiefa.spb.ru  
Ламзин Евгений Анатольевич, elamzin@sintez.niiefa.spb.ru  
Ланцетов Андрей Анатольевич, lancetov@sintez.niiefa.spb.ru  
Ланцетов Владислав Андреевич, firsov@sintez.niiefa.spb.ru  
Ларионов Михаил Сергеевич, larionov@sintez.niiefa.spb.ru  
Манзук Максим Витальевич, manzuk@sintez.niiefa.spb.ru  
Мизинцев Александр Витальевич, info@nfenergo.ru  
Михайлов Валерий Михайлович, mikhailov\_valery@list.ru  
Неженцев Андрей Николаевич, nezhtentsev@sintez.niiefa.spb.ru  
Родин Игорь Юрьевич, rodin@sintez.niiefa.spb.ru  
Сычевский Сергей Евгеньевич, sytch@sintez.niiefa.spb.ru  
Фирсов Алексей Анатольевич, firsov@sintez.niiefa.spb.ru  
Хохлов Михаил Владимирович, hohlov@sintez.niiefa.spb.ru  
Шатилн Николай Александрович, shatiln@sintez.niiefa.spb.ru

**Information about authors:**

Amoskov V. M., avm@sintez.niiefa.spb.su  
Arslanova D. N., arslanova@sintez.niiefa.spb.su  
Bazarov A. M., bazarov@sintez.niiefa.spb.su  
Belyakov V. A., belyakov@niiefa.spb.su  
Bystrenina E. V., bystrenina@sintez.niiefa.spb.su  
Firsov A. A., firsov@sintez.niiefa.spb.su  
Kavin A. A., kavina@sintez.niiefa.spb.su  
Kaparkova M. V., sytch@sintez.niiefa.spb.su  
Khokhlov M. V., hohlov@sintez.niiefa.spb.su  
Korotkov V. A., korotkov@sintez.niiefa.spb.su  
Kukhtin V. P., kukhtin@sintez.niiefa.spb.su  
Kuzmenkov V. D., kuzmenkov@sintez.niiefa.spb.su  
Labusov A. N., Labusov@sintez.niiefa.spb.su  
Lamzin E. A., elamzin@sintez.niiefa.spb.su  
Lantzetov A. A., lancetov@sintez.niiefa.spb.su  
Lantzetov V. A., firsov@sintez.niiefa.spb.su  
Larionov M. S., larionov@sintez.niiefa.spb.su  
Manzuk M. V. manzuk@sintez.niiefa.spb.su  
Mikhailov V. M., mikhailov\_valery@list.ru  
Mizintzev A. V., info@nfenergo.ru  
Nezhentzev A. N., nezhentsev@sintez.niiefa.spb.su  
Rodin I. Yu., rodin@sintez.niiefa.spb.su  
Sytchevsky S. E., sytch@sintez.niiefa.spb.su  
Shatil N. A., shatiln@sintez.niiefa.spb.su  
Vasiliev V. N., vasilievvn@sintez.niiefa.spb.su

---

© Амосков Виктор Михайлович, Арсланова Дарья Николаевна, Базаров Александр Михайлович, Беляков Валерий Аркадьевич, Быстренина Екатерина Валерьевна, Васильев Вячеслав Николаевич, Кавин Андрей Александрович, Капаркова Марина Викторовна, Коротков Владимир Александрович, Кузьменков Владимир Дмитриевич, Кухтин Владимир Петрович, Лабусов Алексей Николаевич, Ламзин Евгений Анатольевич, Ланцетов Андрей Анатольевич, Ланцетов Владислав Андреевич, Ларионов Михаил Сергеевич, Манзук Максим Витальевич, Мизинцев Александр Витальевич, Михайлов Валерий Михайлович, Неженцев Андрей Николаевич, Сычевский Сергей Евгеньевич, Фирсов Алексей Анатольевич, Хохлов Михаил Владимирович, Шатиль Николай Александрович