

## КОМБИНИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОДВЕСЫ ЛЕВИТАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В. М. Амосков<sup>1</sup>, В. А. Беляков<sup>1,4</sup>, В. Н. Васильев<sup>1</sup>, В. А. Глухих<sup>1,2</sup>,  
А. А. Зайцев<sup>3</sup>, В. П. Кухтин<sup>1</sup>, Е. А. Ламзин<sup>1</sup>, М. С. Ларионов<sup>1</sup>,  
А. В. Мизинцев<sup>2</sup>, А. Н. Неженцев<sup>1</sup>, Д. А. Овсянников<sup>4</sup>, И. Ю. Родин<sup>1</sup>,  
С. Е. Сычевский<sup>1,4</sup>, О. Г. Филатов<sup>1</sup>, А. А. Фирсов<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> – Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

<sup>4</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

## MAGLEV SUSPENSIONS OF MIXED TYPE

V. M. Amoskov<sup>1</sup>, V. A. Belyakov<sup>1,4</sup>, O. G. Filatov<sup>1</sup>, A. A. Firsov<sup>1</sup>,  
V. A. Glukhih<sup>1,2</sup>, V. P. Kukhtin<sup>1</sup>, E. A. Lamzin<sup>1</sup>, M. S. Larionov<sup>1</sup>,  
A. V. Mizintzev<sup>2</sup>, A. N. Nezhentzev<sup>1</sup>, A. D. Ovsyannikov<sup>4</sup>, I. Yu. Rodin<sup>1</sup>,  
S. E. Sytchevsky<sup>1,4</sup>, N. A. Shatil<sup>1</sup>, V. N. Vasiliev<sup>1</sup>, A. A. Zaitzev<sup>3</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> – Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

<sup>4</sup> – Saint Petersburg State University  
(St. Petersburg, Russia)

Предложена концепция магнитного подвеса левитационного транспорта, опирающаяся на технологии, разработанные в РФ. Вычислительные эксперименты с использованием детальных математических моделей электродинамического (ЭДП) и электромагнитного (ЭМП) подвесов позволили сформировать основные принципы построения комбинированного подвеса, реализующие практические достоинства ЭДП и ЭМП. Предложенный подвес в настоящий момент защищён 4 патентами РФ [1 – 4]. Математическое моделирование дополнено физическими экспериментами с использованием натурных моделей различного масштаба, работа с которыми подтвердила, в частности, достоверность разработанной вычислительной технологии. В результате исследований определены характеристики подвеса для всего возможного рабочего диапазона изменения скоростей и сформирован облик системы подвеса, отвечающей требованиям энергоэффективности.

Комбинированный подвес обеспечивает статическую и динамическую левитацию. ЭМП используется как в статических режимах (погрузка, разгрузка) так

и в энергоэффективном режиме движения со скоростями менее 400-450 км/час. В рамках ЭМП используется комбинация источников поля в виде:

- нормально проводящих (НП) электромагнитов (ЭМ) с активным управлением,
- постоянных магнитов (ПМ) для компенсации весовых нагрузок [1],
- сверхпроводниковых (СП) ЭМ (в частности, на основе ВТСП-2) с «медленным» изменением тока (компенсация поворотов, уклонов, предварительная компенсация изменения веса при погрузке с возможным переходом на использование ПМ).

ЭДП обеспечивает энергоэффективное движение со скоростями более 400 – 450 км/час. Путьевые структуры обоих видов подвесов функционируют в переходных зонах «ЭМП – ЭДП» и «ЭДП – ЭМП», в частности, для активного подавления механических колебаний. Переключаемые сборки рейстрекковых катушек [3,4] (типа сборок Халбаха) на основе ВТСП-2 могут быть использованы в обоих режимах движения [2].

Комбинированной системе присуща нелинейная зависимость подъёмной и тормозящей составляющих сил и коэффициента левитационного качества от величин левитационных зазоров. Степень нелинейности (особенно в магнитной системе ЭМП) усиливается наличием элементов из электротехнических и конструкционных сталей. Оптимизация конструкции и режимов работы комбинированного подвеса требует детальных расчётов с использованием 3D моделей.

Предложенный подход обеспечивает многофункциональность, универсальность, замкнутость левитационных систем. С другой стороны, использование неполной системы функций для значительной части транспортных платформ (например, движение только с ЭМП и скоростями до 200 км/час) обеспечивает существенное удешевление системы с сохранением её универсальности.

### **Библиографический список**

1. Амосков В. М., Арсланова Д. Н., Белов А. В., Беляков В. А., Васильев В. Н., Глухих В. А., Зайцев А. А., Капаркова М. В., Коротков, В. П., Кухтин, Е. А., Ламзин, М. С., Ларионов, В. М., Михайлов В. А., Неженцев А. Н., Родин И. Ю., Сычевский С. Е., Филатов О. Г., Фирсов А. А., Шатиль Н. А. Патент РФ на изобретение 2573524 «Комбинированный магнитный подвес транспортного средства». Заявка 2014121759 от 28.05.2014.
2. Амосков В. М., Арсланова Д. Н., Белов А. В., Беляков В. А., Васильев В. Н., Глухих В. А., Зайцев А. А., Капаркова М. В., Коротков В. А., Кухтин В. П., Ламзин Е. А., Ларионов М. С., Мизинцев А. В., Михайлов В. М., Неженцев А. Н., Родин И. Ю., Сычевский С. Е., Филатов О. Г., Фирсов А. А., Шатиль Н. А. Патент РФ на изобретение 2573135 «Магнитный подвес транспортного средства для комбинированного путепровода». Заявка 2014138054 от 19.09.2014.
3. Амосков В. М., Арсланова Д. Н., Белов А. В., Беляков В. А., Васильев В. Н., Капаркова М. В., Коротков В. А., Кухтин В. П., Ламзин Е. А., Ларионов М. С., Михайлов В. М., Неженцев А. Н., Родин И. Ю., Сычевский С. Е., Филатов О. Г.,

Фирсов А. А., Шатиль Н. А. Патент РФ на изобретение 2566507 «Сверхпроводящее электромагнитное устройство, магнитный подвес и транспортное средство, снабженные таким устройством». Заявка 2014144372 от 31.10.2014.

4. Амосков В. М., Арсланова Д. Н., Белов А. В., Беляков В. А., Васильев В. Н., Капаркова М. В., Кухтин В. П., Ламзин Е. А., Ларионов М. С., Михайлов В. М., Неженцев А. Н., Родин И. Ю., Сычевский С. Е., Филатов О. Г., Фирсов А. А., Шатиль Н.А. Заявка на патент РФ на изобретение «Электромагнитное устройство, путепровод и транспортное средство, снабженные таким устройством». Заявка 2014135711 от 02.09.2014.

### References

1. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Belov A. V., Belyakov V. A., Vasil'ev V. N., Gluhih V. A., Zajcev A. A., Kaparkova M. V., Korotkov, V. P. Kuhtin, E. A. Lamzin, M. S. Larionov, V. M. Mihajlov V. A., Nezhencev A. N., Rodin I. YU., Sychevskij S. E., Filatov O. G., Firsov A. A. & SHatil' N. A. Patent RF na izobretenie 2573524 "Kombinirovannyj magnitnyj podves transportnogo sredstva". Zayavka 2014121759 ot 28/05/2014 [RF patent No 2573524 «Combined magnetic suspension system for maglev transport». Appl. No 2014121759 dated 28/05/2014].

2. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Belov A. V., Belyakov V. A., Vasil'ev V. N., Gluhih V. A., Zajcev A. A., Kaparkova M. V., Korotkov V. A., Kuhtin V. P., Lamzin E. A., Larionov M. S., Mizincev A. V., Mihajlov V. M., Nezhencev A. N., Rodin I. YU., Sychevskij S. E., Filatov O. G., Firsov A. A. & SHatil' N. A. Patent RF na izobretenie 2573135 "Magnitnyj podves transportnogo sredstva dlya kombinirovannogo puteprovoda". Zayavka 2014138054 ot 19/09/2014 [RF patent No 2573135 «Magnetic suspension system with switching tracks for magnetic levitation of transportation systems». Appl. No 2014138054 dated 19/09/2014].

3. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Belov A. V., Belyakov V. A., Vasil'ev V. N., Kaparkova M. V., Korotkov V. A., Kuhtin V. P., Lamzin E. A., Larionov M. S., Mihajlov V. M., Nezhencev A. N., Rodin I. YU., Sychevskij S. E., Filatov O. G., Firsov A. A. & SHatil' N. A. Patent RF na izobretenie 2566507 "Sverhprovodyashchee ehlektromagnitnoe ustrojstvo, magnitnyj podves i transportnoe sredstvo, snabzhennye takim ustrojstvom". Zayavka 2014144372 ot 31/10/2014 [RF patent No 2566507 «Magnetic suspension system with superconducting electromagnets and a magnetically levitated vehicle». Appl. No 2014144372 dated 31/10/2014].

4. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Belov A. V., Belyakov V. A., Vasil'ev V. N., Kaparkova M. V., Kuhtin V. P., Lamzin E. A., Larionov M. S., Mihajlov V. M., Nezhencev A. N., Rodin I. YU., Sychevskij S. E., Filatov O. G., Firsov A. A. & SHatil' N.A. Zayavka na patent RF na izobretenie «EHlektromagnitnoe ustrojstvo, puteprovod i transportnoe sredstvo, snabzhennye takim ustrojstvom». Zayavka 2014135711 ot 02/09/2014 [The patent of the Russian Federation for the invention «Electromagnetic device, an overpass and a vehicle equipped with such a device». Appl. 2014135711 of 02/09/2014].

**Сведения об авторах:**

Амосков Виктор Михайлович, avm@sintez.niiefa.spb.su  
Беляков Валерий Аркадьевич, belyakov@niiefa.spb.su  
Васильев Вячеслав Николаевич, vasilievvn@sintez.niiefa.spb.su  
Глухих Василий Андреевич, glukhikh@niiefa.spb.su  
Зайцев Анатолий Александрович, nozpgups@gmail.com  
Кухтин Владимир Петрович, kukhtin@sintez.niiefa.spb.su  
Ламзин Евгений Анатольевич, elamzin@sintez.niiefa.spb.su  
Ларионов Михаил Сергеевич, larionov@sintez.niiefa.spb.su  
Мизинцев Александр Витальевич, info@nfenergo.ru  
Неженцев Андрей Николаевич, nezhtentsev@sintez.niiefa.spb.su  
Овсянников Дмитрий Александрович, dovs45@mail.ru  
Родин Игорь Юрьевич, rodin@sintez.niiefa.spb.su  
Сычевский Сергей Евгеньевич, sytch@sintez.niiefa.spb.su  
Филатов Олег Геннадиевич, filatov@niiefa.spb.su  
Фирсов Алексей Анатольевич, firsov@sintez.niiefa.spb.su  
Шатиль Николай Александрович, shatiln@sintez.niiefa.spb.su

**Information about authors**

Amoskov V. M., avm@sintez.niiefa.spb.su  
Belyakov V. A., belyakov@niiefa.spb.su  
Filatov O. G., filatov@niiefa.spb.su  
Firsov A. A., firsov@sintez.niiefa.spb.su  
Glukhikh V. A., glukhikh@niiefa.spb.su  
Kukhtin V. P., kukhtin@sintez.niiefa.spb.su  
Lamzin E. A., elamzin@sintez.niiefa.spb.su  
Larionov M. S., larionov@sintez.niiefa.spb.su  
Mizintzev A. V., info@nfenergo.ru;  
Nezhentzev A. N., nezhtentsev@sintez.niiefa.spb.su;  
Ovsyannikov A. D., dovs45@mail.ru  
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  
Zaitzev A. A., nozpgups@gmail.com

---

© Амосков Виктор Михайлович, Беляков Валерий Аркадьевич, Васильев Вячеслав Николаевич, Глухих Василий Андреевич, Зайцев Анатолий Александрович, Кухтин Владимир Петрович, Ламзин Евгений Анатольевич, Ларионов Михаил Сергеевич, Мизинцев Александр Витальевич, Неженцев Андрей Николаевич, Овсянников Дмитрий Александрович, Родин Игорь Юрьевич, Сычевский Сергей Евгеньевич, Филатов Олег Геннадиевич, Фирсов Алексей Анатольевич, Шатиль Николай Александрович