

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ  
Направление – Электрофизика, электрофизические установки

УДК [UDK] 629.439:621.313.282:621.318.1/.3  
DOI 10.17816/transsyst20228128-37

© В.М. Амосков<sup>1</sup>, Д.Н. Арсланова<sup>1</sup>, А.А. Белов<sup>1</sup>, В.Н. Васильев<sup>1</sup>,  
В.В. Деомидов<sup>1</sup>, А.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.В. Капаркова<sup>1</sup>, В.П. Кухтин<sup>1</sup>,  
А.Н. Лабусов<sup>1</sup>, Е.А. Ламзин<sup>1</sup>, М.С. Ларионов<sup>1</sup>, А.Н. Неженцев<sup>1</sup>,  
Д.А. Овсянников<sup>4</sup>, Д.А. Овсянников (мл.)<sup>3,1</sup>, И.Ю. Родин<sup>1</sup>,  
С.Е. Сычевский<sup>4,1</sup>, А.А. Фирсов<sup>1</sup>, Т.А. Фирсова<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> Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет промышленных технологий и дизайна

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

## НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОДВЕСА ДЛЯ БОЛЬШИХ ВЕЛИЧИН ЛЕВИТАЦИОННЫХ ЗАЗОРОВ

**Цель:** Измерение подъемной силы ГЭМ левитационного подвеса и сопоставление с результатами вычислительного эксперимента.

**Материалы и методы:** Измерения проводились на испытательной установке АО ИНЦ «ГЭМП» при больших величинах левитационного зазора (13 мм, 17 мм).

**Результаты:** Результаты измерений и расчетов совпали с приемлемой точностью.

**Заключение:** В АО «НИИЭФА» изготовлен и испытан полномасштабный прототип гибридного электромагнита подвеса МЛТС. На основании выполненных работ будут подготовлены рекомендации по методике и программе измерений, организации процедуры выходного контроля серийных гибридных магнитов.

**Ключевые слова:** магнитная левитация, постоянные магниты, гибридные электромагниты, измерения сил, математическое моделирование сил, физический макет, прототип серийного магнита.

## Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Electrophysics, electrophysical installations

© V.M. Amoskov<sup>1</sup>, D.N. Arslanova<sup>1</sup>, A.A. Belov<sup>1</sup>, V.N. Vasiliev<sup>1</sup>,  
V.V. Deomidov<sup>1</sup>, A.A. Zaytzev<sup>2</sup>, M.V. Kaparkova<sup>1</sup>, V.P. Kukhtin<sup>1</sup>,  
A.N. Labusov<sup>1</sup>, E.A. Lamzin<sup>1</sup>, M.S. Larionov<sup>1</sup>, A.N. Nezhentzev<sup>1</sup>,  
D.A. Ovsyannikov<sup>4</sup>, D.A. Ovsyannikov (Jr)<sup>3,1</sup>, I.Yu. Rodin<sup>1</sup>,  
S.E. Sytchevsky<sup>4,1</sup>, A.A. Firsov<sup>1</sup>, T.A. Firsova<sup>1</sup>, N.A. Shatil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Joint Stock Company “NIEFA”

<sup>2</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

<sup>3</sup> St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design

<sup>4</sup> St. Petersburg State University

(St. Petersburg, Russia)

## VERIFICATION OF NUMERICAL MODEL OF HYBRID EMS USING TEST BENCH MEASUREMENTS AT LARGE AIR GAP

**Aim:** The study was focused on measurement of the lifting force of a hybrid EMS (HEMS) prototype. The measured data were used to verify numerical models.

**Materials and Methods:** Measurements were performed on a certified test bench at a large air gap (13 mm, 17 mm). The measured data were compared with results of numerical experiments.

**Results:** A comparison of measured and simulated parameters have proved reliability of numerical models.

**Conclusions:** A prototype of HEMS for maglev transport has been built and bench tested at JSC “NIEFA”. The results obtained will be used to establish measurement, prototyping, and inspection procedures for series production.

**Key words:** maglev, permanent magnet, hybrid EMS, levitation force measurement, numerical simulation, test bench, prototype.

## ВВЕДЕНИЕ

Для систем активного магнитного подвеса [1] в АО «НИИЭФА» разработаны прототипы серийных гибридных электромагнитов (ГЭМ) [2]. В магнитную цепь этих магнитов в качестве источников поля одновременно включены токовые катушки и высококоэрцитивные постоянные магниты. В ряде работ (см. например, [3–9]) указано, что такие магниты обладают определенными преимуществами перед электромагнитами традиционного исполнения. Их существенным достоинством является, в частности, пониженное энергопотребление.

## РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА В АО «НИИЭФА»

В АО «НИИЭФА» предложены варианты исполнения ГЭМ [2], защищенные патентами РФ [10, 11].

На Рис. 1, заимствованном из [2], схематически показан возможный вариант применения ГЭМ в реализуемой на практике технологии магнитолевитационных транспортных систем (МЛТС).

Предложенная конструкция обеспечивает практически полное отсутствие магнитных полей рассеяния вне замкнутой магнитной цепи, что обеспечивает высокие экологические характеристики системы и ее электромагнитную совместимость.

Разработанная российская вычислительная технология, которая базируется на зарегистрированном в РОСПАТЕНТе российском комплексе вычислительных программ КОПРОТ [12], позволяет создавать детальные вычислительные модели магнитов любых требуемых грузоподъемности и габаритов, выполнять оптимизацию их конструкции [13, 14].

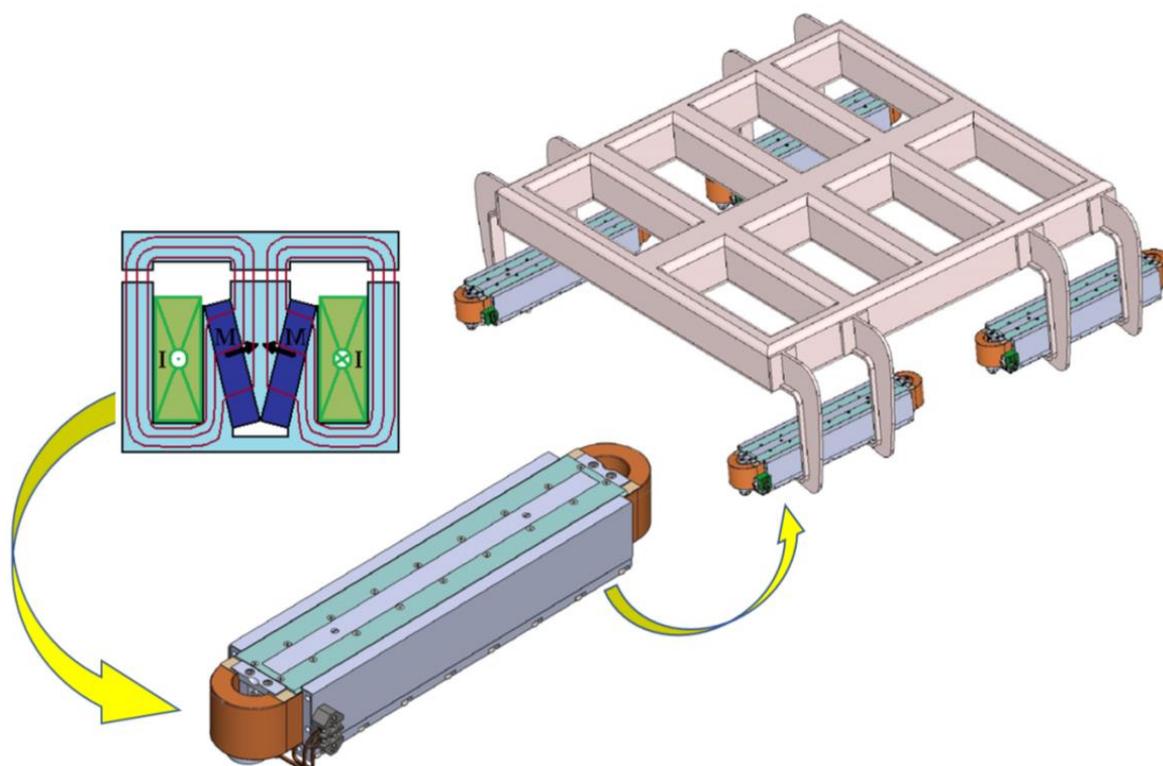


Рис. 1. Вариант российской МЛТС с ЭМП [2]

В подвесе используются ГЭМ; в состав ГЭМ входят: стальной магнитопровод, токовая катушка и постоянные Nd-Fe-B магниты; слева показано сечение ГЭМ, в котором буквой М помечены постоянные магниты, буквой I обозначена токовая катушка, выделены стальной магнитопровод ГЭМ и над ним стальная направляющая, закрепляемая на путевой структуре, показаны линии магнитного поля в магнитопроводе и воздушном левитационном зазоре

В АО «НИИЭФА» разработан прототип серийного гибридного электромагнита. Основные технические параметры изготовленного магнита приведены в Табл. 1 [2].

Таблица 1. Параметры гибридного электромагнита АО «НИИЭФА»

Сечение токовой катушки, мм <sup>2</sup>	1450
Коэффициент заполнения проводника медью	0,8
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	240
Проводник марки ПЭЭИП2-155, мм <sup>2</sup>	1,12x3,55 (1,28x3,71 в изол.)
Количество витков проводника в катушке	306
Максимальный ток (стационарный), А	10
Максимальный ток (кратковременный), А	15
Индуктивность (при зазоре 5 мм), мГн	150 (I=13 А) и 300 (I=0 А)
Индуктивность (при зазоре ∞), мГн	180 (I=0 А)
Собственная индуктивность катушки, мГн	25
Сопротивление обмотки, Ом	2
Марка постоянных Nd-Fe-B магнитов	N48SH
Размеры Д×Ш×В, мм	650×130×89
Вес, Н	450

В работе [2] подробно описаны результаты измерения силовых характеристик магнита на специализированном сертифицированном стенде АО «НИИЭФА».

Измерения пространственных распределений электромагнитных сил и магнитных полей сопоставлены с данными численного моделирования. Получено совпадение результатов с требуемой на практике точностью, что подтверждает достоверность численного моделирования и позволяет в дальнейшем перейти к созданию электронных моделей подвесов.

Прототип продемонстрировал характерное для ГЭМ пониженное энергопотребление и подтвердил правильность предложенной авторами схемы магнитной системы, отличающейся низким уровнем полей рассеяния.

Полученные данные позволят в дальнейшем выполнить необходимую модернизацию стенда, технологической и измерительной оснастки, а также методик и программ измерений для организации выходного контроля серийных образцов ГЭМ.

## ИЗМЕРЕНИЯ ГЭМ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ АО ИНЦ «ТЭМП» И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ДАННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Для подтверждения достоверности вычислительной модели параметры магнита также были измерены на испытательной установке АО ИНЦ «ТЭМП». Силовые характеристики измерялись при больших величинах левитационного зазора (13 мм, 17 мм).

Стендовая установка И142 предназначена для измерения подъемных сил электромагнитов. Гибридный электромагнит был установлен на горизонтальную балку измерительной установки, см. Рис. 2. Стальная плита, имитирующая путевую структуру, устанавливалась над рабочей поверхностью полюсов ГЭМ с помощью прокладок, толщина которых подбиралась таким образом, чтобы обеспечить необходимые величины зазора между полюсами ГЭМ и плитой.



Рис. 2. Гибридный электромагнит на испытательной установке АО ИНЦ «ТЭМП»

На Рис. 3 приведены результаты сопоставления измеренных и рассчитанных электромагнитных сил.

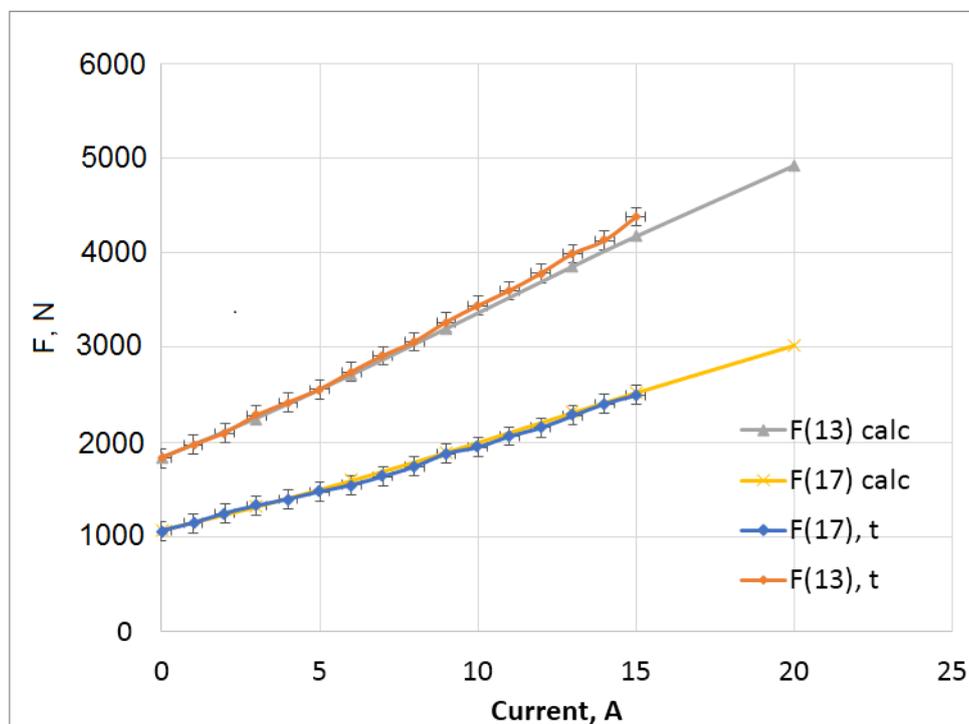


Рис. 3. Результаты сравнения расчетных данных с обработанными результатами измерений

Как и в работе [2] следует отметить влияние прогиба стальной плиты, имитирующей путевую структуру. Для зазора 13 мм при увеличении величины рабочего тока выше 6–7 А наблюдается отклонение результатов измерений силы от расчетных значений в сторону их увеличения. Это объясняется нарастающим прогибом стальной плиты (уменьшающимся зазором) при увеличении пондеромоторной силы свыше 3000 Н. Величина прогиба на максимальном токе достигала величины в 1 мм.

## ВЫВОДЫ

В АО «НИИЭФА» разработан и изготовлен полномасштабный прототип серийного образца гибридного электромагнита подвеса МЛТС. Прототип исследован при широкой вариации величины магнитолевитационного зазора.

Измерения электромагнитных сил, создаваемых ГЭМ, проведены на сертифицированном специализированном стенде АО «НИИЭФА» для сравнительно малых величин зазоров. Измерения сил для больших величин зазоров проведены на любезно предоставленной испытательной установке АО «ИНЦ «ТЕМП».

В обоих случаях получено совпадение результатов натурального и численного моделирования с требуемой на практике точностью.

На основании выполненных работ будут подготовлены рекомендации по модернизации стенда АО «НИИЭФА», измерительной и технологической оснастки, методике и программе измерений, организации процедуры выходного контроля серийных гибридных магнитов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке Фонда Академика Василия Андреевича Глуших.

Авторы признательны В.П. Занину, А.Т. Горелову и А.А. Голенко за организацию измерений левитационной силы макета гибридного электромагнита на испытательной установке в АО ИНЦ «ТЕМП».

**Авторы заявляют, что:**

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники. Теория, расчет, применение. – СПб: Политехника, 2003. – 206 с. [Zhuravljov JuN. Aktivnye

- magnitnye podshipniki. Teoriya, raschyot, primeneniye. St. Petersburg: Politehnika, 2003. 206 p. (In Russ.). Ссылка активна на: 27.10.2021. Доступно по: [https://www.studmed.ru/zhuravlev-yun-aktivnye-magnitnye-podshipniki-teoriya-raschet-primeneniye-2003\\_ae0c7437419.html](https://www.studmed.ru/zhuravlev-yun-aktivnye-magnitnye-podshipniki-teoriya-raschet-primeneniye-2003_ae0c7437419.html)
2. Акулицкий С.Г., Амосков В.М., Арсланова Д.Н. и др. Результаты стендовых испытаний прототипа полномасштабного гибридного электромагнита для систем маглев // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 14–32. [Akulitzky SG, Amoskov VM, Arslanova DN, et al. Bench testing of hybrid EMS prototype. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):14-32]. doi: 10.17816/transsyst20217414-32
  3. Tzeng YK, Wang TC. Optimal design of the electromagnetic levitation with permanent and electro magnets. *IEEE Transaction on Magnetics*. 1994;30(6):4731-733. doi: 10.1109/20.334204
  4. Onuki T, Toda Y. Optimal Design of Hybrid Magnet in Maglev System with Both Permanent and Electro Magnets. *IEEE Transaction on Magnetics*. 1993;29(2):1783-1786. doi: 10.1109/20.250751
  5. Kim C-H, Cho H-W, Lee J-M, et al. Zero-power control of magnetic levitation vehicles with permanent magnets. *ICCAS 2010: Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems*; 2010 Oct 27-30; Gyeonggi-do, Korea (South). 2010. p. 732-735. doi: 10.1109/ICCAS.2010.5670118
  6. Safaei F, Suratgar AA, Afshar A, et al. Characteristics Optimization of the Maglev Train Hybrid Suspension System Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2015;30(3):1163-1170. doi: 10.1109/tec.2014.2388155
  7. Erkan K, Okur B, Koseki T, et al. Experimental evaluation of zero-power levitation control by transfer function approach for a 4-pole hybrid electromagnet. In: *Proceeding of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics*; 2011 April 13-15; Istanbul, Turkey. 2011. p. 23-28, doi: 10.1109/ICMECH.2011.5971299
  8. Morishita M, Azukizawa T, Kanda S, et al. A new MAGLEV system for magnetically levitated carrier system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1989;38(4):230-236. doi: 10.1109/25.45486
  9. Wang TC, Tzeng YK. A new electromagnetic levitation system for rapid transit and high speed transportation. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1994;30(6):4734-4736. doi: 10.1109/20.334205
  10. Патент РФ на изобретение № RU2739939/ 30.12.2020. Бюл. № 1. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.В., Васильев В.Н., Кухтин В.П., Капаркова М.В., Ламзин Е.А., Ларионов М.С., Неженцев А.Н., Родин И.Ю., Сычевский С.Е., Фирсов А.А., Шатиль Н.А. «Гибридный электромагнит для системы маглев». [Pat. RUS № RU2739939/ 30.12.2020. Вул. № 1. Amoskov V.M., Arslanova D.N., Belov A.V., et al. “Gibridnyj jelektromagnit dlya sistemy maglev”. (In Russ.). Ссылка активна на: 27.10.2021. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2739939C1>
  11. Патент РФ на изобретение № RU2743753/ 25.02.2021. Бюл. № 6. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.В., Васильев В.Н., Кухтин В.П., Капаркова М.В., Ламзин Е.А., Ларионов М.С., Неженцев А.Н., Родин И.Ю., Сычевский С.Е., Фирсов А.А., Шатиль Н.А. «Гибридный магнит без полей рассеяния для системы маглев». [Pat. RUS № RU2743753/25.02.2021. Вул. № 6. Amoskov V.M., Arslanova D.N., Belov A.V., et al. “Gibridnyj magnit bez poley rassejaniya dlya sistemy maglev”. (In Russ.). Ссылка активна на: 27.10.2021. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2743753C1>
  12. Amoskov VM, Belov AV, Belyakov VA, et al. Computation technology based on

KOMPOT and KLONDIKE codes for magnetostatic simulations in tokamaks. *Plasma Devices and Operations*. 2008;16(2):89-103. doi: 10.1080/10519990802018023

13. Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Modeling EMS maglev systems to develop control algorithms. *Cybernetics and physics*. 2018;7(1):11-17. doi: 10.35470/2226-4116-2018-7-1-11-17
14. Andreev EN, Arslanova DN, Akhmetzyanova EV, et al. Combined electromagnetic suspensions with reduced energy consumption for levitation vehicles. *Technical Physics*. 2019;64(7):1060-1065. doi: 10.1134/S1063784219070041

#### Сведения об авторах:

**Амосков Виктор Михайлович**, к.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 2436-3828; ORCID: 0000-0001-9781-9116; Scopus ID: 6701846033;

E-mail: amoskov-sci@yandex.ru

**Арсланова Дарья Николаевна**, магистр;

eLibrary SPIN: 3234-8141; ORCID: 0000-0002-3791-723X; Scopus ID: 55314279800;

E-mail: arslanova-sci@yandex.ru

**Белов Андрей Александрович**, магистр;

eLibrary SPIN: 6291-0480; ORCID: 0000-0001-7040-6741;

E-mail: andrewthewhite@mail.ru

**Васильев Вячеслав Николаевич**;

eLibrary SPIN: 5444-8639; ORCID: 0000-0002-1218-6274; Scopus ID: 7005989574;

E-mail: vvnm@mail.ru

**Деомидов Валерий Викторович**, магистр;

eLibrary SPIN: 5931-9704; ORCID: 0000-0003-2795-8342;

E-mail: deomidov@icloud.com

**Зайцев Анатолий Александрович**, д.э.н.;

eLibrary SPIN: 9477-4316; ORCID: 0000-0002-1342-8036; Scopus ID: 57199509604;

E-mail: noscp@pgups.ru

**Капаркова Марина Викторовна**;

eLibrary SPIN: 6881-2266; ORCID: 0000-0002-3489-5581; Scopus ID: 12445243900;

E-mail: kaparkova-sci@yandex.ru

**Кухтин Владимир Петрович**, к.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 1628-3135; ORCID: 0000-0001-6925-6141; Scopus ID: 35353250700;

E-mail: kukhtin-sci@yandex.ru

**Лабусов Алексей Николаевич**, к.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 4734-7358; ORCID: 0000-0003-2264-677X;

E-mail: labusov@sintez.niiefa.spb.su

**Ламзин Евгений Анатольевич**, д.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 8287-7879; ORCID: 0000-0002-6072-5711; Scopus ID: 12756829300;

E-mail: lamzin-sci@yandex.ru

**Ларионов Михаил Сергеевич**;

eLibrary SPIN: 1631-3598; ORCID: 0000-0002-8570-7210; Scopus ID: 36443801800;

E-mail: larionov-sci@yandex.ru

**Неженцев Андрей Николаевич**;

eLibrary SPIN: 7319-8924; ORCID: 0000-0002-8724-7211; Scopus ID: 57201374326;

E-mail: nezhentzev-sci@yandex.ru

**Овсянников Дмитрий Александрович**, д.ф.-м.н., профессор

eLibrary SPIN: 7762-9740; ORCID: 0000-0002-0829-2023;

E-mail: d.a.ovsyannikov@spbu.ru

**Овсянников Дмитрий Александрович (Мл.),** магистр;

eLibrary SPIN: 5657-4707; ORCID: 0000-0003-4191-8494

E-mail: d-ovs@yandex.ru

**Родин Игорь Юрьевич,** к.т.н.;

eLibrary SPIN: 4935-6473; Scopus ID: 7005063976;

E-mail: rodin@sintez.niiefa.spb.su

**Сычевский Сергей Евгеньевич,** д.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 3073-0334; ORCID: 0000-0003-1527-4015; Scopus ID: 6602159085;

E-mail: sytch-sie@yandex.ru

**Шатиль Николай Александрович,** к.т.н.;

eLibrary SPIN: 2818-0206; ORCID: 0000-0001-8529-130X; Scopus ID: 6507475131;

E-mail: shatiln@yandex.ru

**Фирсова Татьяна Александровна;**

eLibrary SPIN: 2858-7562; ORCID: 0000-0002-9229-9622

E-mail: firsova@sintez.niiefa.spb.su

**Фирсов Алексей Анатольевич;**

eLibrary SPIN: 7943-4297; ORCID: 0000-0002-7846-8717; Scopus ID: 56069602000;

E-mail: firsov-sci@yandex.ru

#### **Information about the authors:**

**Victor M. Amoskov**, PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 2436-3828; ORCID: 0000-0001-9781-9116; Scopus ID: 6701846033;

E-mail: amoskov-sci@yandex.ru

**Darya N. Arslanova,** MSc;

eLibrary SPIN: 3234-8141; ORCID: 0000-0002-3791-723X; Scopus ID: 55314279800;

E-mail: arslanova-sci@yandex.ru

**Andrei A. Belov,** MSc;

eLibrary SPIN: 6291-0480; ORCID: 0000-0001-7040-6741;

E-mail: andrewthewhite@mail.ru

**Valery V. Deomidov,** MSc;

eLibrary SPIN: 5931-9704; ORCID: 0000-0003-2795-8342 ;

E-mail: deomidov@icloud.com

**Vyacheslav N. Vasiliev,** MSc;

eLibrary SPIN: 5444-8639; ORCID: 0000-0002-1218-6274; Scopus ID: 7005989574;

E-mail: vvnm@mail.ru

**Anatoly A. Zaytzev,** PhD, DSc in Economics;

eLibrary SPIN: 9477-4316 ORCID: 0000-0002-1342-8036; Scopus ID: 57199509604;

E-mail: nocpp@pgups.ru

**Marina V. Kaparkova,** MSc;

eLibrary SPIN: 6881-2266; ORCID: 0000-0002-3489-5581; Scopus ID: 12445243900;

E-mail: kaparkova-sci@yandex.ru

**Vladimir P. Kukhtin,** PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 1628-3135; ORCID: 0000-0001-6925-6141; Scopus ID: 35353250700;

E-mail: kukhtin-sci@yandex.ru

**Alexey N. Labusov,** PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 4734-7358; ORCID: 0000-0003-2264-677X;

E-mail: labusov@sintez.niiefa.spb.su

**Evgeny A. Lamzin,** PhD, DSc in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 8287-7879; ORCID: 0000-0002-6072-5711; Scopus ID: 12756829300;

E-mail: lamzin-sci@yandex.ru

**Mikhail S. Larionov**, MSc;

eLibrary SPIN: 1631-3598; ORCID: 0000-0002-8570-7210; Scopus ID: 36443801800;

E-mail: larionov-sci@yandex.ru

**Andrey N. Nezhentzev**; MSc;

eLibrary SPIN: 7319-8924; ORCID: 0000-0002-8724-7211; Scopus ID: 57201374326;

E-mail: nezhentzev-sci@yandex.ru

**Dmitry A. Ovsyannikov**, DSc in Physics and Mathematics, Full Professor;

eLibrary SPIN: 7762-9740; ORCID: 0000-0002-0829-2023;

E-mail: d.a.ovsyannikov@spbu.ru

**Dmitry A. Ovsyannikov (Jr)**, MSc;

eLibrary SPIN: 5657-4707; ORCID: 0000-0003-4191-8494

E-mail: d-ovs@yandex.ru

**Igor Yu. Rodin**, PhD in Engineering;

eLibrary SPIN: 4935-6473; Scopus ID: 7005063976;

E-mail: rodin@sintez.niiefa.spb.su

**Nicolai A. Shatil**, MSc, PhD in Engineering;

eLibrary SPIN: 2818-0206; ORCID: 0000-0001-8529-130X; Scopus ID: 6507475131;

E-mail: shatiln@yandex.ru

**Sergey E. Sytchevsky**, DSc in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 3073-0334; ORCID: 0000-0003-1527-4015; Scopus ID: 6602159085;

E-mail: sytch-sie@yandex.ru

**Tatiana A. Firsova**;

eLibrary SPIN: 2858-7562; ORCID: 0000-0002-9229-9622

E-mail: firsova@sintez.niiefa.spb.su

**Alexey A. Firsov**, MSc;

eLibrary SPIN: 7943-4297; ORCID: 0000-0002-7846-8717; Scopus ID: 56069602000;

E-mail: firsov-sci@yandex.ru

### Цитировать:

Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.В. и др. Натурные испытания и верификация математической модели гибридного электромагнитной подвеса для больших величин левитационных зазоров // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 28–37. doi: 10.17816/transsyst20228128-37

### To cite this article:

Amoskov VM, Arslanova DN, Belov AV, et al. Verification of numerical model of hybrid ems using test bench measurements at large air gap. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2022;8(1):28-37. doi: 10.17816/transsyst20228128-37