

УДК 629.423.3: 621.313.333.2

**В. А. Соломин, В. Н. Носков, А. В. Соломин, М. Ю. Пустоветов,  
Н. С. Флегонтов**

Ростовский государственный университет путей сообщения

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Дата поступления 26.03.2016

Решение о публикации 28.03.2016

Дата публикации 28.03.2016

*Аннотация:* В статье предлагается вариант классификации высокоскоростных систем наземного транспорта с учетом наличия таковых существующих и перспективных с колесным приводом и с магнитным подвесом. Рассматриваются, в том числе, предложения авторов в области перспективных конструкций электропривода транспортных средств с линейными асинхронными двигателями. Уделено внимание разнообразию конструкций индукторов и вторичных элементов линейных асинхронных двигателей транспортного назначения.

*Ключевые слова:* высокоскоростной наземный транспорт, линейный электродвигатель, система поперечной стабилизации экипажа, магнитный подвес, классификация.

**Vladimir A. Solomin, Vladimir N. Noskov, Andrey V. Solomin,  
Mikhail Yu. Pustovetov, Nikolay S. Flegontov**

Rostov State Transport University

**CLASSIFICATION OF HIGH-SPEED TRANSPORT SYSTEMS**

*Abstract:* This article proposes the variant of classification of high-speed ground transport systems, taking into account the availability of such existing and future with wheel drive and a magnetic levitation. Authors offer promising designs in electric vehicles with linear induction motors are considered. Paying attention to a variety of inductors structures and secondary elements of linear induction motors for transport purposes. Secondary element of traction linear induction motor is mounted on a carriage and can be in the form of conductive bus-section and a resistance, which is equally across its length and width. The secondary element may be made of an electrically conductive bus-section and a resistance which uneven across its width. In this case, at the edges of the tire has a smaller cross section or edge portions may be made of a material with lower electric conductivity and provide increased transverse self-stabilization efforts suspended in a magnetic field vehicle and safety of its movement. In the case of a short-circuited secondary winding element with adjustable resistance can be increased efforts at the start of the vehicle and reduce speed when

approaching the next station. The principle of transverse stabilization of the vehicle may be based on the use of a pair of oppositely traveling magnetic fields.

**Keywords:** high-speed ground transportation, a linear motor, transverse stabilization system of the vehicle, magnetic levitation, classification.

## Введение

Увеличение скоростей движения поездов традиционного типа с колесным приводом еще не исчерпало своих возможностей. Об этом свидетельствует опыт эксплуатации высокоскоростных поездов на железных дорогах Франции, ФРГ, Испании, Японии и Китая. В России также ведутся работы по созданию высокоскоростных поездов для пассажирских перевозок на наиболее напряженных направлениях (Москва – Санкт-Петербург, Москва – Юг, Москва – Нижний Новгород и др.) [1].

## Цель

Авторами настоящей работы ставится цель установления удобной для дальнейшего практического использования классификации высокоскоростных транспортных систем. Конечно, ранее уже предлагались варианты классификации, например в [2, 3]. **Методологией** предлагаемой классификации служит сопоставление общих черт и различий разнообразных существующих или предложенных систем высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ), их группировка по характерным признакам. **Практическую значимость** работе придает открывающаяся на основании предложенной классификации возможность прогнозирования перспективных направлений исследований, в том числе, основываясь на разработках авторов. Классификация может быть полезна также для не столь высокоскоростных перспективных разработок в области городского электрифицированного транспорта [4].

## Результаты

Предполагается, что новые пассажирские поезда будут курсировать со скоростями 150–250 км/ч. Электровозы для высокоскоростного движения оборудуются тяговым электроприводом переменного тока. Для повышения безопасности движения высокоскоростных поездов их локомотивы и вагоны оборудуются вихретоковыми тормозами, позволяющими сократить длину тормозного пути и сделать процесс торможения более плавным. В ряде случаев предлагается оборудовать локомотивы и вагоны индукторами линейных асинхронных двигателей

(ЛАД), способными выполнять несколько функций: выступать в качестве дополнительных тяговых двигателей, взаимодействующих непосредственно с рельсами, работать в качестве вихретоковых или электромагнитных рельсовых тормозов; использоваться в качестве догрузателей. Применение индукторов линейных асинхронных двигателей позволит сделать работу высокоскоростных поездов еще более безопасной и эффективной. Предлагается следующая классификация колесных высокоскоростных транспортных систем (рис.1).

Локомотивы колесных высокоскоростных транспортных систем оборудуются тяговым электроприводом переменного тока с асинхронными, синхронными или индукторными электродвигателями. В настоящее время наиболее перспективным для высокоскоростных поездов считается асинхронный тяговый частотно-регулируемый электропривод, который сравнительно долгое время используется на железных дорогах ФРГ, Франции, Испании и Японии. Предлагается снабжать локомотивы и вагоны высокоскоростных поездов дополнительными тяговыми и тормозными устройствами, способными повысить эффективность и безопасность их работы. Дополнительные устройства – это вихретоковые рельсовые тормоза, ЭМРТ и индукторы ЛАД (рис.1). При определенных условиях ЭМРТ способен выполнять функции вихретокового тормоза. Индуктор линейного асинхронного двигателя среди всех дополнительных тяговых и тормозных устройств является наиболее многофункциональным. Индуктор ЛАД способен работать как дополнительный тяговый электродвигатель, как вихретоковый и электромагнитный рельсовый тормоз и как догрузатель. При необходимости индуктор ЛАД можно использовать и в качестве стояночного тормоза.

Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и тяговым индуктором ЛАД, используемым в качестве путевой структуры, представлена на рис.2.

Система ВСНТ (рис.2) содержит путевую структуру, состоящую из индукторов ЛАД, а вторичный элемент ЛАД располагается на транспортных экипажах.

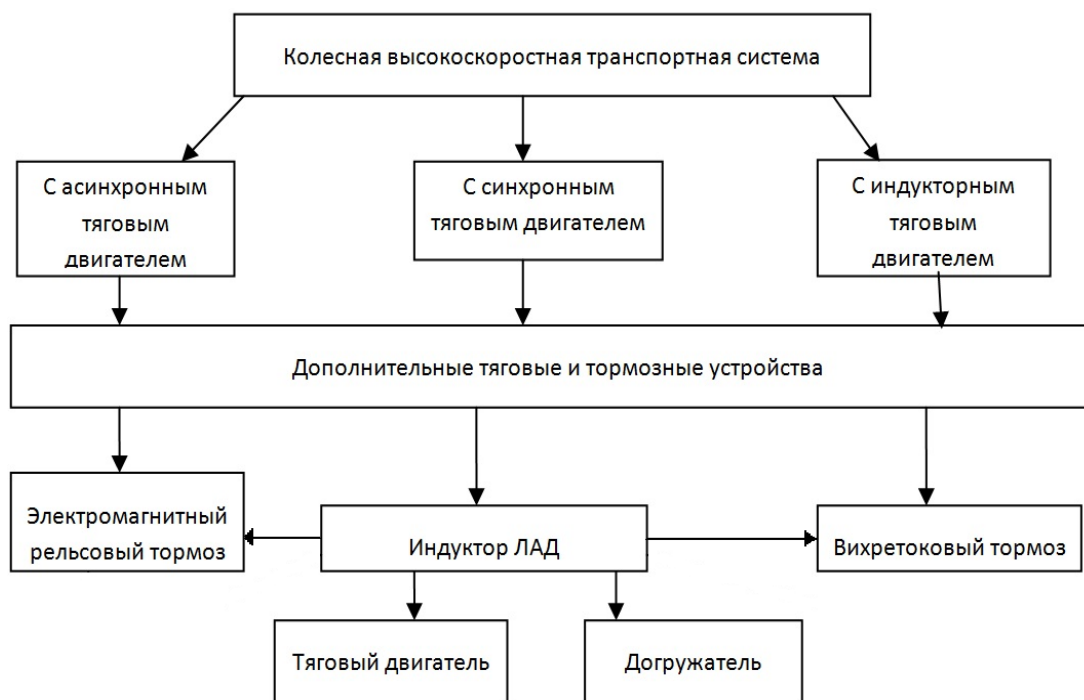


Рис. 1. Классификация высокоскоростных поездов с колесным приводом

Индукторы ЛАД могут иметь различную конструкцию и выполняются с продольным, поперечным или продольно-поперечным магнитным потоком. Участки путевой структуры системы ВСНТ могут формироваться из одинаковых или различных по конструкции модулей индукторов ЛАД (рис. 2). Различаться отдельные модули ЛАД могут величиной полюсного деления, числом полюсов, типом обмотки, конструкцией магнитной системы. На ряде участков перегона между станциями могут устанавливаться индукторы ЛАД, обеспечивающие автоматическую поперечную самостабилизацию экипажа на магнитной подвеске относительно путевой структуры (рис. 2) [5]. Вторичный элемент (ВЭ) тягового ЛАД устанавливается на экипаже ВСНТ и может быть выполнен в виде электропроводящей шины, сечение и активное сопротивление которой одинаково по всей ее длине и ширине. Как вариант ВЭ может изготавливаться из электропроводящей шины, сечение и активное сопротивление которой неодинаково по ее ширине. В этом случае по краям шина имеет меньшее сечение или ее крайние участки могут быть изготовлены из материала с меньшей электрической проводимостью и обеспечивают увеличение усилий поперечной самостабилизации подвешенного в магнитном поле экипажа ВСНТ и безопасность его движения. Значительного увеличения тяговых усилий ЛАД можно добиться при использовании короткозамкнутой обмотки на вторичном

элементе (рис. 2). В случае выполнения короткозамкнутой обмотки вторичного элемента с регулируемым сопротивлением можно увеличить усилия при трогании экипажа ВСНТ с места, повышать скорость экипажа при его разгоне и снижать ее при приближении к следующей станции. Такая конструкция короткозамкнутой обмотки позволяет регулировать скорость движения экипажа ВСНТ с магнитным подвешиванием экипажа просто и в широких пределах.

Классификация высокоскоростных наземных транспортных систем с магнитным подвесом с индукторами ЛАД, установленными на экипаже, и вторичными элементами, уложенными в путевую структуру, изображена на рис. 3. Вопросам магнитного подвеса посвящены, например, работы [6, 7]. Как и в предыдущей классификации, в системе ВСНТ могут использоваться индукторы ЛАД с продольным, поперечным и продольно-поперечным замыканием магнитного потока, причем последние предназначены преимущественно для создания поперечной автоматической самостабилизации высокоскоростных экипажей с магнитной подвеской относительно путевой структуры.

В случае установки на высокоскоростном экипаже с магнитным подвесом индукторов линейных асинхронных двигателей с продольным или поперечным магнитным потоком в качестве обмоток вторичных элементов могут служить электропроводящие шины, короткозамкнутые обмотки, короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями в сочетании с электропроводящими шинами (рис. 3). Если в качестве индукторов ЛАД применяются машины с продольно-поперечным магнитным потоком [2] и с поперечной самостабилизацией, то ВЭ может служить электропроводящие шины или же короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями, установленные в приподстанционных зонах и на самой станции, в сочетании с электропроводящими шинами, занимающими основные части перегонов между станциями.

Электропроводящие шины могут выполняться с одинаковыми сечениями и, соответственно, одинаковыми сопротивлениями по длине и ширине ВЭ.

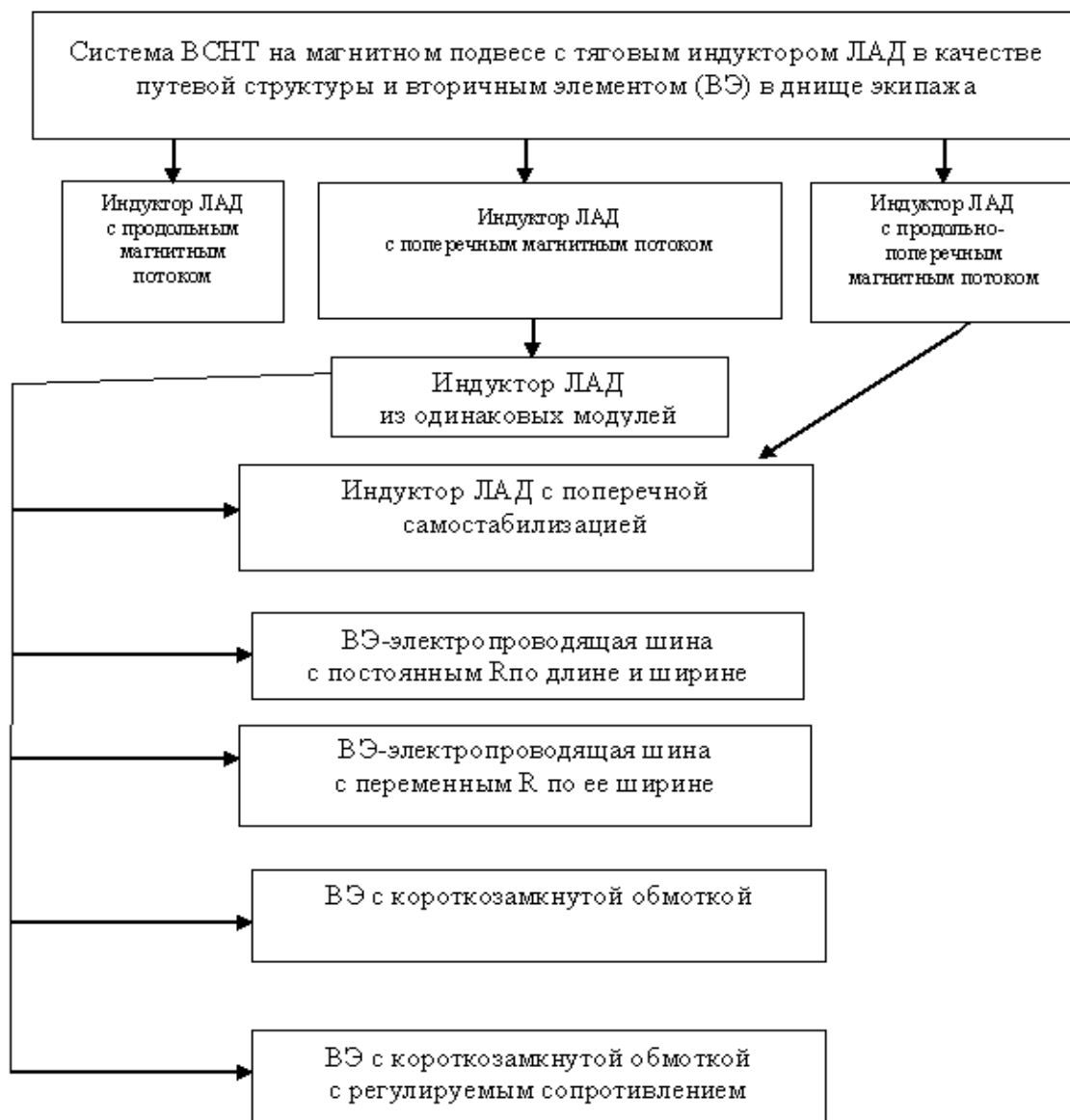


Рис. 2. Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и индукторами ЛАД в путевой структуре

В случае установки на высокоскоростном экипаже с магнитным подвесом индукторов линейных асинхронных двигателей с продольным или поперечным магнитным потоком в качестве обмоток вторичных элементов могут служить электропроводящие шины, короткозамкнутые обмотки, короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями в сочетании с электропроводящими шинами (рис. 3). Если в качестве индукторов ЛАД применяются машины с продольно-поперечным магнитным потоком [8] и с поперечной самостабилизацией, то ВЭ может служить электропроводящие шины или же короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями, установленные в приподстанционных

зонах и на самой станции, в сочетании с электропроводящими шинами, занимающими основные части перегонов между станциями.

Электропроводящие шины могут выполняться с одинаковыми сечениями и, соответственно, одинаковыми сопротивлениями по длине и ширине ВЭ.

Как вариант, электропроводящие шины могут иметь различные сопротивления по длине и ширине: так, на участках путевой структуры, примыкающей к станции, сечение шины уменьшается, а сопротивление ее увеличивается, причем длина пристанционный участка путевой структуры (шины) зависит от пути разгона (или торможения) экипажа ВСНТ.

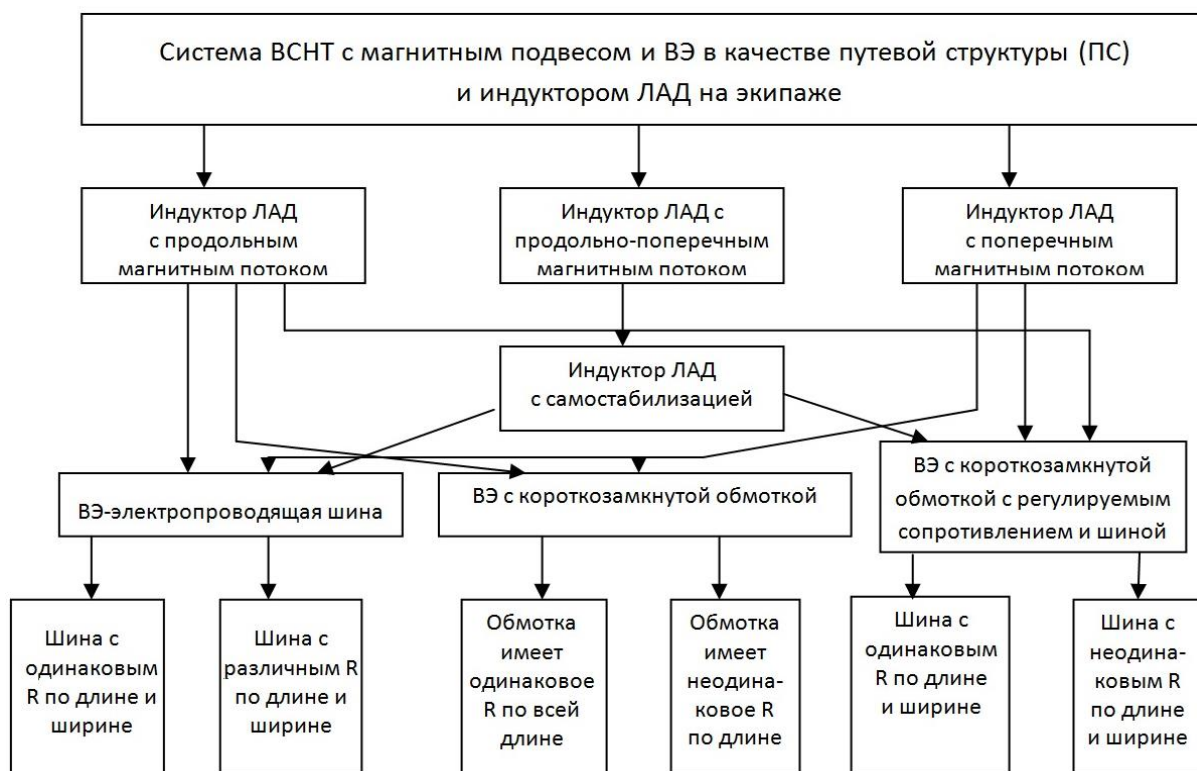


Рис. 3. Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и индукторами ЛАД на экипаже

На основном перегоне при использовании индукторов ЛАД, обеспечивающих поперечную самостабилизацию экипажа относительно путевой структуры, предпочтительно по краям по ширине электропроводящей шины выполнять участки с меньшими сечениями, т.е. с большими сопротивлениями, что обеспечивает увеличение усилий поперечной самостабилизации при боковом, поперечном смещении экипажа ВСНТ относительно путевой структуры. Если вторичный элемент содержит короткозамкнутую обмотку, то она может быть выполнена как с одинаковым сопротивлением по всей длине, так и с различным

сопротивлением: на участках, прилегающих к станциям, сопротивление обмотки увеличено, а на основной части перегона – уменьшено. Вторичный элемент может быть комбинированным: на пристанционных участках его обмотка выполняется короткозамкнутой с регулируемым сопротивлением, а на основной части перегона в путевую структуру уложена электропроводящая шина (рис. 3). В ряде случаев для плавного пуска экипажей ВСНТ или для точной их электромагнитной фиксации при остановке могут быть использованы линейные асинхронные электроприводы, разработанные в РГУПС. Их принцип действия основан на использовании встречно бегущих магнитных полей [8, 9].

### **Заключение**

Предложенные классификации не являются исчерпывающими. Они включают в себя разработки авторов, направленные на повышение эффективности и безопасности движения высокоскоростных экипажей как содержащих колесный привод поезда, так и подвешенных в магнитном поле.

### **Библиографический список**

1. Зайцев А. А. История развития высокоскоростного движения // Саморегулирование & бизнес. – 2011. – № 7 (15). – С. 14 – 16.
2. Бочаров В. И., Бахвалов Ю. А., Талья И. И. Основы проектирования электроподвижного состава с магнитным подвесом и линейным тяговым электроприводом. Ч. 1. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1992. – 432 с.
3. Hellinger R., Mnich P. Linear Motor-Powered Transportation: History, Present Status, and Future Outlook // Proceedings of the IEEE. – 2009. – Vol. 97. – No. 11. – pp. 1892 – 1900.
4. Дьячкова О. М., Володькин П. П. Сферы применения городского пассажирского транспорта // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Том 4. – № 4. – С. 1492 – 1501.
5. Соломин В. А. Система тяги, левитации и самостабилизации экипажа ВСНТ / В. А. Соломин, В. Н. Носков, М. Ю. Пустоветов, Н. С. Флегонтов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 2-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 17–20 июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 180 – 185.
6. Флора В. Д. Электрические машины специальных конструкций и принципов действия. – Запорожье: Информационная система iElectro, 2011. – 254 с.



7. Cabral T., Chavarette F. Dynamics and control design via LQR and SDRE methods for a maglev system // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. – 2015. – Vol. 101. – No. 2. – pp. 289 – 300.

8. Линейный асинхронный электропривод. Патент на изобретение RUS 2070764, 1996.

9. Соломин В. А. Система боковой самостабилизации высокоскоростного экипажа с магнитной левитацией / В. А. Соломин, В. Н. Носков, М. Ю. Пустоветов, Н.С. Флегонтов // *Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 1-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 2014.* – СПб.: ООО PUDRA, 2013. – С. 66 – 67.

## References

1. Zaytcev A. A. *Samoregulirovanie & biznes – Self-regulation & Business*, 2011, то 7 (15), pp. 14 – 16.

2. Bocharov V. I., Bahvalov Yu. A. & Talya I. I. *Osnovi proektirovania elektropodvizhnogo sostava s magnitnim podvesom I lineynim tiagovim elektroprivodom. Chast 1.* [Fundamentals of electric rolling stock with magnetic suspension and linear traction motor design. Part 1.]. Rostov-on-Don, 1992. 432 p.

3. Hellinger R. & Mních P. *Proceedings of the IEEE*, 2009, vol. 97, no. 11, pp. 1892-1900.

4. Dyachkova O. M. & Volodkin P.P. *Uchenye zametki Tihookeanskogo nacional'nogo universiteta – Scientists Notes of Pacific National University*, 2013, vol. 4, no 4, pp. 1492-1501.

5. Solomin V. A. Sistema tiagi, levitacii I samostabilizatsii ekipazha VSNT [The system of traction, levitation and self-stabilization of vehicle for high-speed ground transportation system]. Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” (Works 2nd Int. Sc. Conf. “Magnetic and levitation transport systems and technologies”). St. Petersburg, 2014, pp. 180-185.

6. Flora V. D. *Elektricheskie mashiny specialnih konstrukcij I principov deystvija* [Electrical machines of special designs and operating principles]. Zaporozhye, 2011. 254 p.

7. Cabral T. & Chavarette F. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2015, vol. 101, no. 2, pp. 289-300.

8. Linear electric drive with the induction motor. Patent RUS 2070764, 1996.

9. Solomin V. A. Sistema bokovoj samostabilizatsii vysokoskorostnogo ekipazha s magnitnoj levitaciej [The system of transverse

self-stabilization of high-speed magnetic levitation crew vehicle]. Trudy 1-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” (Works 1st Int. Sc. Conf. “Magnetic and levitation transport systems and technologies”), St. Petersburg, 2013, pp. 66-67.

**Сведения об авторах:**

СОЛОМИН Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и аппараты», E-mail: ema.@kaf.rgups.ru

НОСКОВ Владимир Николаевич, кандидат технических наук, директор научно-исследовательской части, E-mail: nvn\_nis@sci.rgups.ru

СОЛОМИН Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», E-mail: vag.@kaf.rgups.ru

ПУСТОВЕТОВ Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, директор НИИЦ «Криотрансэнерго», E-mail: mgsn2006@rambler.ru

ФЛЕГОНТОВ Николай Степанович, заместитель директора НИИЦ «Криотрансэнерго», E-mail: centrkte@rgups.ru

**Information about authors:**

Vladimir A. SOLOMIN, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Chair «Electrical Machines and Apparatus», E-mail: ema.@kaf.rgups.ru

Vladimir N. NOSKOV, Candidate of Engineering Sciences, Director of Science-Investigating Department, E-mail: nvn\_nis@sci.rgups.ru

Andrey Vю SOLOMIN, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor of Chair «Carriages and carriage economy», E-mail: vag.@kaf.rgups.ru

Mikhail Yu. PUSTOVETOV, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor, Director of Science-Investigating and Testing Center «Cryotransenergo», E-mail: mgsn2006@rambler.ru

Nikolay S. FLEGONTOV, Deputy Director of Science-Investigating and Testing Center «Cryotransenergo», E-mail: centrkte@rgups.ru