

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.313.6

DOI 10.17816/transsyst202061120-128

© А. А. Чехова, А. В. Соломин

Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

ТЯГОВЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ГОРОДСКОГО МАГЛЕВ ТРАНСПОРТА

Обоснование: В настоящее время огромное внимание уделяется проблеме повышения эффективности работы транспорта в крупных городах. Использование городского Маглев транспорта с линейными тяговыми двигателями позволит улучшить транспортную инфраструктуру мегаполисов.

Цель: Предлагается использовать для городского Маглев транспорта тяговые линейные асинхронные двигатели (ЛЯД), повышающие безопасность движения нового вида транспорта

Материалы и методы: В данной работе была предложена конструкция тягового линейного асинхронного двигателя, способная повысить усилия поперечной стабилизации и безопасность движения, путем выполнения боковых частей вторичного элемента линейного асинхронного двигателя в виде короткозамкнутых обмоток.

Результаты: Улучшение усилий боковой стабилизации позволяет повысить безопасность движения экипажа.

Ключевые слова: тяговый линейный асинхронный двигатель, городской Маглев транспорт, вторичный элемент, короткозамкнутые обмотки, электропроводящие стержни, боковая стабилизация.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Electrical Engineering

© А. А. Chekhova, A. V. Solomin

Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

TRACTION LINEAR INDUCTION MOTOR OF URBAN MAGLEV TRANSPORT

Background: Currently, great attention is paid to the problem of increasing the efficiency of transport in cities. The use of urban Maglev transport with linear traction motors will improve the transport infrastructure of megacities.

Aim: The use of magnetic-levitation transport with linear induction motors (LIM) is proposed. It is proposed to use traction linear induction motors (LIM) for urban Maglev transport, increasing the safety of a new type of transport.

Materials and Methods: In this work, the design of a linear traction induction motor was proposed, which can increase lateral stabilization forces and safety of traffic by performing the lateral parts of the secondary element of a linear induction motor in the form of short-circuited windings.

Results: Improving efforts of the lateral stabilization improve crew safety.

Keywords: linear induction motor, urban Maglev transport, secondary element, short-circuited windings, electrically conductive rods, lateral stabilization.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время огромное внимание уделяется проблеме развития городского транспорта. Низкие скорости движения автомобильного транспорта, особенно в часы пик, и вредное воздействие выхлопных газов, загрязняющих воздух в мегаполисах, поднимают проблему развития транспортной инфраструктуры крупных городов при одновременном улучшении их экологии. По разным причинам не всегда возможно строительство метрополитена из-за его высокой стоимости и геологических особенностей региона. В ряде случаев удастся частично улучшить ситуацию при пассажирских перевозках в крупных городах за счет использования железнодорожного транспорта, как, например, это делается в Москве. В Москве все вокзалы расположены в центре города и имеется кольцевая железная дорога, что удастся использовать для перевозки по городу пассажиров. Строительство новых железнодорожных путей внутри сложившейся городской инфраструктуры часто просто невозможно. Одним из самых эффективных решений данной проблемы может стать применение эстакадного городского Маглев транспорта (ГМТ) с тяговыми ЛАД со скоростями движения 100-120 км/ч. Эстакадный ГМТ намного дешевле по сравнению с метрополитеном и по стоимости строительства, и по затратам на его обслуживание.

Путевая структура городского Маглев транспорта может размещаться на высоких опорах, что позволяет использовать подэстакадную зону для различных нужд, в том числе под строительство. При этом темпы строительства городского ГМТ тоже гораздо выше, чем при строительстве метро. Внедрение ГМТ способно значительно повысить и улучшить транспортную инфраструктуру крупного города.

В качестве тяговых устройств высокоскоростного городского Маглев транспорта могут использоваться линейные асинхронные двигатели. При разработке ГМТ могут быть использованы результаты исследований, выполненных в Санкт-Петербурге в инженерном кластере «Российский Маглев» [1–8]. В данной работе предлагается улучшить конструкцию тягового ЛАД, с целью повышения усилий боковой стабилизации экипажа. Это поможет значительно повысить безопасность движения нового вида

городского транспорта при перевозке пассажиров, что является важным фактором.

КОСТРУКЦИЯ ТЯГОВОГО ЛАД ДЛЯ ГОРОДСКОГО МАГЛЕВ ТРАНСПОРТА С БОКОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ

Системы магнитного подвеса городского Маглев транспорта могут быть разными: на постоянных магнитах, электромагнитными или электродинамическими и в рамках данной статьи не рассматриваются. В качестве тягового привода ГМТ предлагается использовать линейный асинхронный двигатель. В качестве тягового двигателя использован ЛАД с усовершенствованной системой боковой стабилизации транспортного экипажа относительно его путевой структуры. Индуктор тягового ЛАД может размещаться как на транспортном экипаже, так и укладываться в путевую структуру городского Маглев транспорта (Рис. 1). Возможно, что для города второй вариант будет предпочтительным.



Рис. 1. Магнитнолевитационный транспорт на эстакаде

Разработана новая конструкция линейного асинхронного двигателя, обладающая расширенными функциональными возможностями [9], принципиальная конструктивная схема которой представлена на Рис. 2.

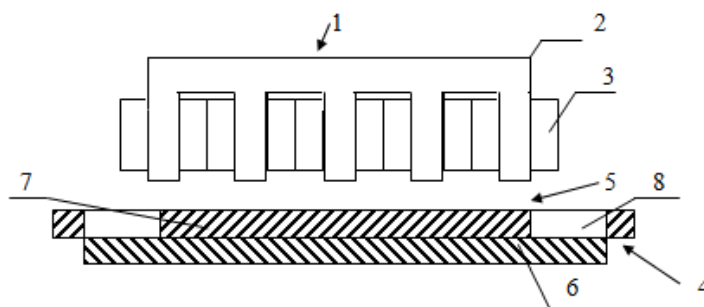


Рис. 2. Линейный асинхронный двигатель

Линейный асинхронный двигатель содержит индуктор 1, состоящий из сердечника 2 и многофазной обмотки, катушки 3 которой образуют ряды в продольном и поперечном направлениях (на Рис. 2 не показаны). Вторичный элемент 4 содержит электропроводящую часть 5, расположенную на ферромагнитном основании 6. Электропроводящая часть 5 содержит сплошную часть 7, расположенную в середине, к которой с обеих сторон примыкают боковые части 8.

Электропроводящая часть 5 вторичного элемента 4 изображена на рис. 3 к сплошной части 7 примыкают с обеих сторон боковые части 8, каждая из которых образована чередующимися электропроводящими стержнями 9, перпендикулярными сплошной части 7, между которыми один за другим расположены электропроводящие стержни 10, параллельные сплошной части. Места электрического соединения стержней 9 и 10 и сплошной части 7 показаны точками.

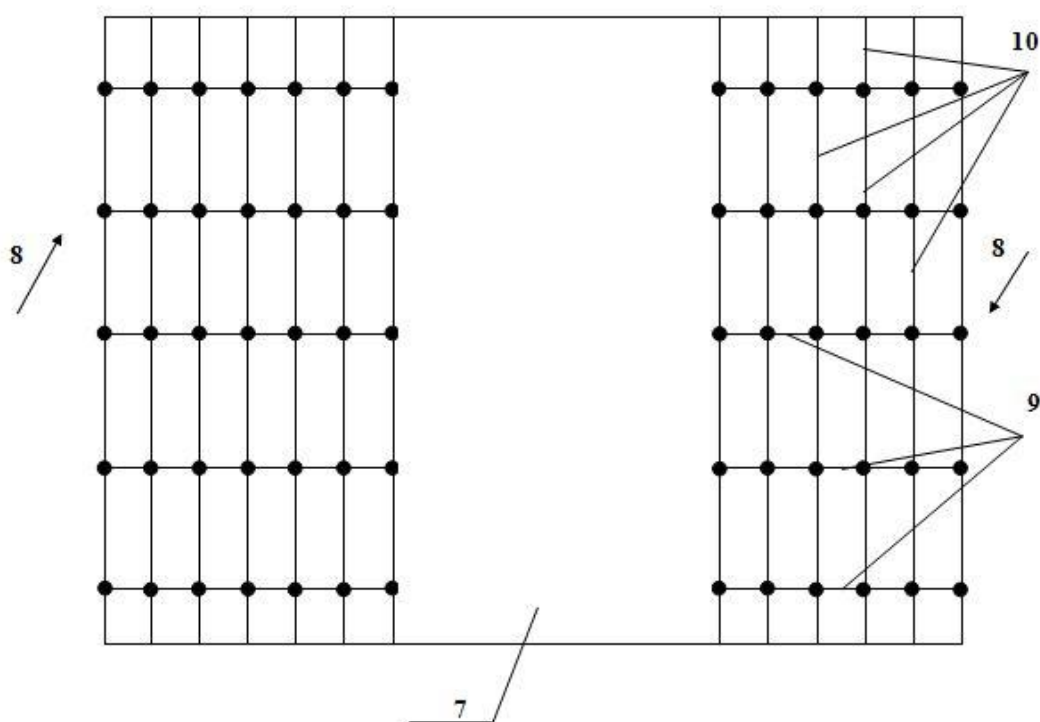


Рис. 3. Электропроводящая часть вторичного элемента:

7 – сплошная часть; 8 – боковые части; 9 – чередующиеся электропроводящие стержни, перпендикулярные сплошной части; 10 – чередующиеся электропроводящие стержни, параллельные сплошной части.

Схема соединения катушек обмотки индуктора представлена на Рис. 4. Прописными буквами А, В и С обозначены фазы, к которым подключены соответствующие катушки многофазной обмотки. Видно, что продольные ряды катушки образуют прямые порядки следования фаз, а катушки

каждого поперечного ряда имеют до середины ряда прямой, а после середины – противоположный порядок следования фаз.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЯГОВОГО ЛАД

Принцип действия такого линейного асинхронного двигателя состоит в следующем. При подключении катушек обмотки индуктора, соединенных по схеме (Рис. 4), к источнику трёхфазного напряжения по ним протекут токи, которые возбуждают магнитные потоки. Магнитные потоки, созданные продольными рядами катушек обмотки, будут бегущими вдоль оси ЛАД. Они, пересекая срединную часть электропроводящей части вторичного элемента, индуцируют в ней электродвижущие силы, вызывающие протекание вихревых токов. Вихревые токи срединной части вторичного элемента при взаимодействии с магнитными потоками, бегущими в продольном направлении, создают тяговые механические усилия, под действием которых индуктор ЛАД будет перемещаться в направлении, противоположном направлению бегущего магнитного поля. Магнитные потоки, созданные токами поперечных рядов катушек обмотки, будут «бежать» навстречу друг другу от краёв индуктора к его центру. Поперечно бегущие магнитные потоки, взаимодействуя с токами в срединной части электропроводящей части вторичного элемента, ими индуцированными создадут встречно действующие в поперечном направлении механические усилия. Эти усилия при симметричном расположении индуктора ЛАД относительно вторичного элемента взаимно уравновешиваются и не оказывают влияния на работу двигателя.

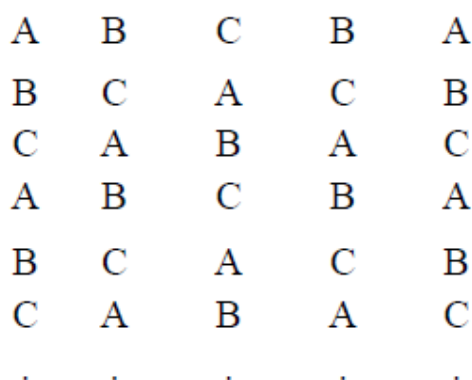


Рис. 4. Схема соединения обмотки индуктора

При поперечном смещении индуктора ЛАД относительно вторичного элемента (например, экипаж ГМТ сместился под из-за порыва ветра) равенство этих усилий нарушается. Например, при смещении

индуктора ЛАД вправо в каждом поперечном ряду поперечные усилия, действующие слева направо, останутся теми же по величине, что и при симметричном расположении индуктора ЛАД и вторичного элемента, так как эти усилия создаются при взаимодействии поперечно бегущих в этом же направлении магнитных потоков, созданных токами трёх катушек индуктора, с токами ими индуцированными в срединной части вторичного элемента. Одновременно поперечные усилия, действующие на индуктор в поперечном направлении справа налево увеличатся, поскольку часть индуктора окажется над боковой частью 8 (Рис. 3) электропроводящей части вторичного элемента. Видно, что боковые части 8 (Рис. 3) представляют собой короткозамкнутые обмотки, образованные электропроводящими стержнями 9 и 10 (Рис. 3). Поэтому часть магнитного потока, бегущего поперёк справа налево, будет взаимодействовать с токами в короткозамкнутых обмотках и усилие, действующее справа налево, увеличится (токи в стержнях 10 направлены перпендикулярно магнитному потоку и имеют большую длину активного взаимодействия с магнитным потоком).

В результате под действием разности усилий, действующих справа налево и слева направо, индуктор будет смещаться влево до тех пор, пока не займёт симметричного расположения относительно вторичного элемента. Так достигается поперечная стабилизация индуктора ЛАД (экипажа городского Маглев транспорта).

Разработка линейного асинхронного двигателя с улучшенной системой боковой стабилизацией актуальна для эстакадного городского Маглев транспорта, так как обеспечение безопасности при перевозке пассажиров является одной из самых важных задач [10–15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена новая конструкция тягового линейного асинхронного двигателя для городского Маглев транспорта, способная улучшить систему боковой стабилизации и повысить безопасность движения ГМТ при перевозке пассажиров.

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. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA. *Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya*. Gapanovich VA, editor. Moscow: FIZMATLIT; 2014. 476 p. (In Russ)]. Доступно по: https://b-ok.org/book/2901328/800f1a/?_ir=1. Ссылка активна на: 03.02.2019.
2. Зайцев А.А., Талашкин Г.Н., Соколова Я.В. Транспорт на магнитном подвесе / под ред. А.А. Зайцева. – СПб: ПГУПС, 2010. – 160 с. [Zaitsev AA, Talashin GN, Sokolova IaV. *Transport na magnitnom podvese*. Zaitsev AA, editor. St. Petersburg: PSTU; 2010. 160 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004907216>. Ссылка активна на: 01.02.2019.
3. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 612 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA, editor. *Magnitolevitatsionnyy transport: nauchnyye problem i tekhnicheskiye resheniya*. Moscow: FIZMATLIT; 2015. 612 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://b-ok.org/book/2910926/a2ce27>. Ссылка активна на: 02.02.2019.
4. Зайцев А.А., Морозова Е.Н., Талашкин Г.Н., Соколова Я.В. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны / под ред. А.А. Зайцева. – СПб: НП-ПРИНТ, 2015. – 140 с. [Zaitsev AA, Morozova EN, Talashin GN, Sokolova IaV. *Magnitolevitatsionnyy transport v edinoi transportnoi sisteme strany*. Zaitsev AA, editor. St. Petersburg: NP-PRINT; 2015. 140 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008161609>. Ссылка активна на: 03.02.2019.
5. Зайцев А.А. О современной стадии развития магнитолевитационного транспорта и подходах к выбору специализации и физической основы высокоскоростного движения на направлении Москва – Санкт-Петербург // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2016. – № 4. – С. 26–33. [Zaitsev AA. O sovremennoy stadii razvitiya magnitolevitatsionnogo transporta i podkhodakh k vyboru spetsializatsii i fizicheskoy osnovy vysokoskorostnogo dvizheniya na napravlenii Moskva – Sankt-Peterburg. *Byulleten' ob'yedinennogo uchenogo soveta OAO RZHD*. 2016;4:26-33. (In Russ)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27472893>. Ссылка активна на: 02.02.2019.
6. Зайцев А.А. Магнитолевитационные системы и технологии // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 5. – С. 69–73. [Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnye sistemy i tehnologii. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2014;5:69-73. (In Russ)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21883966>. Ссылка активна на: 03.02.2019.
7. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А., Морозова Е.И. Исследование магнитодинамической левитации и электродинамического торможения грузовой транспортной платформы // Известия ПГУПС. – 2014. – Т. 4. – № 41. – С. 5–15. [Antonov YuF, Zaitsev AA, Morozova EI. Issledovanie magnitodinamicheskoi levitatsii i elektrodinamicheskogo tormozhenia gruzovoi transportnoi platformy. *Izvestia PGUPS*. 2014;4(41):5-15. (In Russ)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-magnitodinamicheskoy-levitatsii-i-elektrodinamicheskogo-tormozheniya-gruzovoy-transportnoy-platformy>. Ссылка активна на: 05.02.2019.

8. Соломин А.В. Линейные асинхронные тяговые двигатели для высокоскоростных поездов и их математическое моделирование (монография). Ростов-на-Дону: РГУПС, 2008. – 204 с. [Solomin AV. *Lineynyye asinkhronnyye tyagovyye dvigateli dlya vysokoskorostnykh poyezdov i ikh matematicheskoye modelirovaniye* (monograph). Rostov-na-Donu: RSTU; 2008. 204 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004131632>. Ссылка активна на: 04.02.2019.
9. Патент РФ на изобретение № 2518915/ 10.06.14. Бюл. № 16. Соломин В.А., Соломин А.В., Бичилова А.А., Непомнящая О.В. Линейный асинхронный двигатель. [Pat. RUS № 2518915/ 10.06.14. Byul. № 16. Solomin VA, Solomin AV, Bichilova AA, Nepomnyayushchaya OV. *Lineynyy asinkhronnyy dvigatel'* (In Russ.)]. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2518915C1_20140610. Дата обращения: 20.11.2019.
10. Патент РФ на изобретение № 2623576/ 28.06.17. Бюл. № 19. Бичилова А.А. Линейный асинхронный двигатель. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2623576C1_20170628. Дата обращения: 20.11.2019. [Pat. RUS № 2623576/ 28.06.17. Byul. № 19. Bichilova AA. *Lineynyy asinkhronnyy dvigatel'*. From: https://yandex.ru/patents/doc/RU2623576C1_20170628 (In Russ.) Accessed November 20, 2019].
11. Пашков Н.Н. Уравнение движения магнитнолевитационного подвижного состава // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 59–69. [Pashkov NN. The equation of motion of the magnetic rolling stock. *Transportation Systems and Technology*. 2015;1(1):59-69. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20151159-69
12. Филиппов Д.М. Особенности моделирования магнитного поля в электромеханических узлах магнитнолевитационной транспортной системы методом вторичных источников // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 49–61. [Filippov DM. Features of the simulation of the magnetic field in the electromechanical units of a magnetic-levitation transport system by the method of secondary sources. *Transportation Systems and Technology*. 2015;1(2):49-61. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20151249-61
13. Лapidус Б.М., Лapidус Л.В. Железнодорожный транспорт: философия будущего (монография). М.: Прометей, 2015. – 232 с. [Lapidus BM, Lapidus LV. *Zeleznodoroznyi transport: filosofia buduchego* (monograph). Moscow: Prometei; 2015. 232 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23731956>. Ссылка активна на: 02.02.2019.
14. Калнинь Т.К. Линейные индукционные машины с поперечным магнитным потоком (монография). Рига: Зинатне, 1980. – 170 с. [Kalnin' TK. *Lineynyye induktsionnyye mashiny s poperechnym magnitnym potokom* (monograph). Riga: Zinatne; 1980. 232 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://ru.b-ok.cc/book/2760544/6d2e3d>. Ссылка активна на: 03.02.2019.
15. Bakhvalov YuA, Gorbatenko NI, Grechikhin VV, et al. Design of optimal electromagnets of magnetic-levitation and lateral-stabilization systems for ground transportation based on solving inverse problems. *Russian Electrical Engineering*. 2017;88(1):15-18. doi: 10.3103/S1068371217010047

Сведения об авторах:

Чехова Анастасия Алановна, аспирант; адрес: 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Соломин Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru

Information about the authors:

Anastasia A. Chekhova, Graduate; address: 2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Andrei V. Solomin, Candidate of Technological sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru

Цитировать:

Чехова А.А., Соломин А.В. Тяговый линейный асинхронный двигатель для городского Маглев транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 120–128. doi: 10.17816/transsyst202061120-128

To cite this article:

Chekhova AA, Solomin AV. Traction Linear Induction Motor of Urban Maglev Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(1):120-128. doi: 10.17816/transsyst202061120-128