Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 656.34
DOI 10.17816/transsyst202073120-130

© Е. Ю. Сундуков[1], Б. М. Шифрин[2], В. Е. Сундукова[1]
[1]Сыктывкарский лесной институт – филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
(Сыктывкар, Россия)
[2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия)

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Обоснование: Предлагается задавать бегущее магнитное поле в специальном управляющем канале (балке, трубе), сопряженном с несколькими управляемыми каналами – малогабаритными маглев-системами, в которых осуществляется левитация транспортных модулей.

Цель: осуществить сопряжение управляющего канала с несколькими управляемыми каналами (до четырех). При этом управляющий канал будет располагаться в центре, а управляемые каналы вверху, справа, внизу, слева.

Методы: 3Д-моделирование, макетирование, пространственной композиции, патентный поиск.

Результаты: Бегущее магнитное поле в управляющем канале создается движущейся последовательностью взаимодействующих друг с другом источников магнитного поля – муверов, которые взаимодействуют с источниками магнитного поля транспортных модулей – попутчиками, левитирующими в управляемых каналах посредством источников постоянного магнитного поля.

Заключение: малогабаритные маглев-системы могут образовывать многоканальную транспортную систему.

Ключевые слова: магнитолевитационные транспортные системы, источники магнитного поля, управляющий канал, управляемый канал, мувер, ф-тревелер, транспортный модуль.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© E. Yu. Sundukov[1], B. M. Shifrin[2], V. E. Sundukova[1]
[1] Syktyvkar Forest Institute - a branch of St. Petersburg State Forestry University named S.M. Kirov
(Syktyvkar, Russia)
[2] St. Petersburg State Forestry University named S.M. Kirov
(St. Petersburg, Russia)

Received: 23.06.2021 **Revised: 23.06.2021** **Accepted: 30.09.2021**
Поступил: 23.06.2021 **Одобрена: 23.06.2021** **Принята: 30.09.2021**

CONSTRUCTION OF MULTICHANNEL MAGNETOLEVITATION SYSTEMS

Background: It is proposed to set a traveling magnetic field in a special control channel (beam, pipe), coupled with several controlled channels - small-sized maglev systems in which levitation of transport modules is carried out.

Aim: to interface the control channel with several controlled channels (up to four) – small-sized maglev systems. In this case, the control channel will be located in the center, and the controlled channels at the top, right, bottom, left.

Methods: 3D-modeling, layout, spatial composition, patent search.

Results: The traveling magnetic field in the control channel is created by a moving sequence of interacting magnetic field sources – the movers, which interact too with magnetic field sources of transport modules – the fellow travelers, levitating in the controlled channels through sources of a constant magnetic field. The structure is installed on arched supports that uniformly distribute the load over the support surface. A model of a two-channel system with a lower location of a controlled channel has been developed.

Conclusion: The small-sized maglev systems can form a multi-channel transport system.

Key words: maglev transport systems, magnetic field sources, control channel, controlled channel, mover, traveler, transport module.

ВВЕДЕНИЕ

По виду оборудования путепроводов большинство реализованных транспортных систем на основе магнитной левитации (маглев) можно определить как одноканальные – все оборудование в одном коробе (трубе) или вокруг одной балки [1, 2]. Статорная обмотка путепровода подразделяется на ускоряющую обмотку и обмотку, обеспечивающую поднятие или подвешивание транспортных модулей. Транспортные модули перемещаются при создании бегущего магнитного поля в ускоряющей обмотке.

Предлагается задавать бегущее магнитное поле в специальном управляющем канале (балке, трубе), сопряженном с несколькими управляемыми каналами – малогабаритными транспортными системами.

ВМЕСТО ПОЕЗДА – МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА

В настоящее время проявляется тенденция рассматривать маглев-системы как разновидность железнодорожного транспорта, а именно магистральных высокоскоростных поездов [3]. Подвижной состав состоит из вагонов, имеющих довольно значительные габариты и стоимость. Соответственно, велика стоимость и путевой инфраструктуры.

Наибольший прогресс в развитии магистральных маглев-систем достигнут в Китайской Народной Республике [4].

Received: 23.06.2021 **Revised: 23.06.2021** **Accepted: 30.09.2021**
Поступил: 23.06.2021 **Одобрена: 23.06.2021** **Принята: 30.09.2021**

В транспортных системах Hyperloop капсулы-челноки будут перемещаться внутри системы трубопроводов в среде низкого давления со скоростью порядка 1200 км/ч с использованием магнитной левитации [5]. Двухместная капсула XP-2 прошла испытания на специальном полигоне 500 м [6]. Тем не менее, существуют опасения, что эксплуатировать подобную систему небезопасно и слишком дорого [7].

В монографии [8] рассмотрены факторы, осложняющие развитие и содержание высокоскоростных магистралей на примере Транссибирской железнодорожной магистрали.

Действие некоторых из них можно уменьшить при использовании малогабаритных транспортных систем [9]. Также малогабаритные транспортные системы будут быстрее окупаться там, где нет больших грузовых и пассажиропотоков.

Вместе с тем каждая из предлагаемых систем имеет какое-либо рациональное зерно, побуждающее разработчиков к созданию нового вида транспорта.

События, связанные с распространением коронавирусной инфекции, привели к падению объемов производства во многих странах, соответственно, это сказалось и на развитии новых видов транспорта во всем мире. Отмечается рост скептицизма по проектам высокоскоростного транспорта в связи со значительными капитальными вложениями в строительство и долгими сроками окупаемости, ставятся под сомнение их реализуемость и экономическая эффективность. Некоторые исследователи считают [10], что именно проекты высокоскоростных магистралей могут способствовать восстановлению экономики, если цели их реализации будут поставлены в рамках национальных проектов, а также при успешной интеграции новых видов транспорта с другими видами транспорта в национальных транспортных системах.

Возможное взаимодействие магистральной и малогабаритных маглев-систем показано на Рис. 1. Магистральные пути подходят к узловому пересадочному пункту, от которого обеспечиваются сообщения-привязки к нескольким удаленным объектам.

Сообщения-привязки могут быть реализованы посредством малогабаритной транспортной системы с эстакадой арочного типа, показанной на Рис. 2. Источники магнитного поля эстакады и транспортного модуля размещены в двух сопряженных каналах (балках). В одном из каналов (верхний на Рис. 2) размещены источники магнитного поля муверы, имеющие кольцевую форму. Данный канал будет управляющим. Он представляет собой трубу, внутри которой созданы идеальные условия для движения муверов каким-либо из способов (среда низкого давления, движение в потоке жидкости [11] или др.).

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

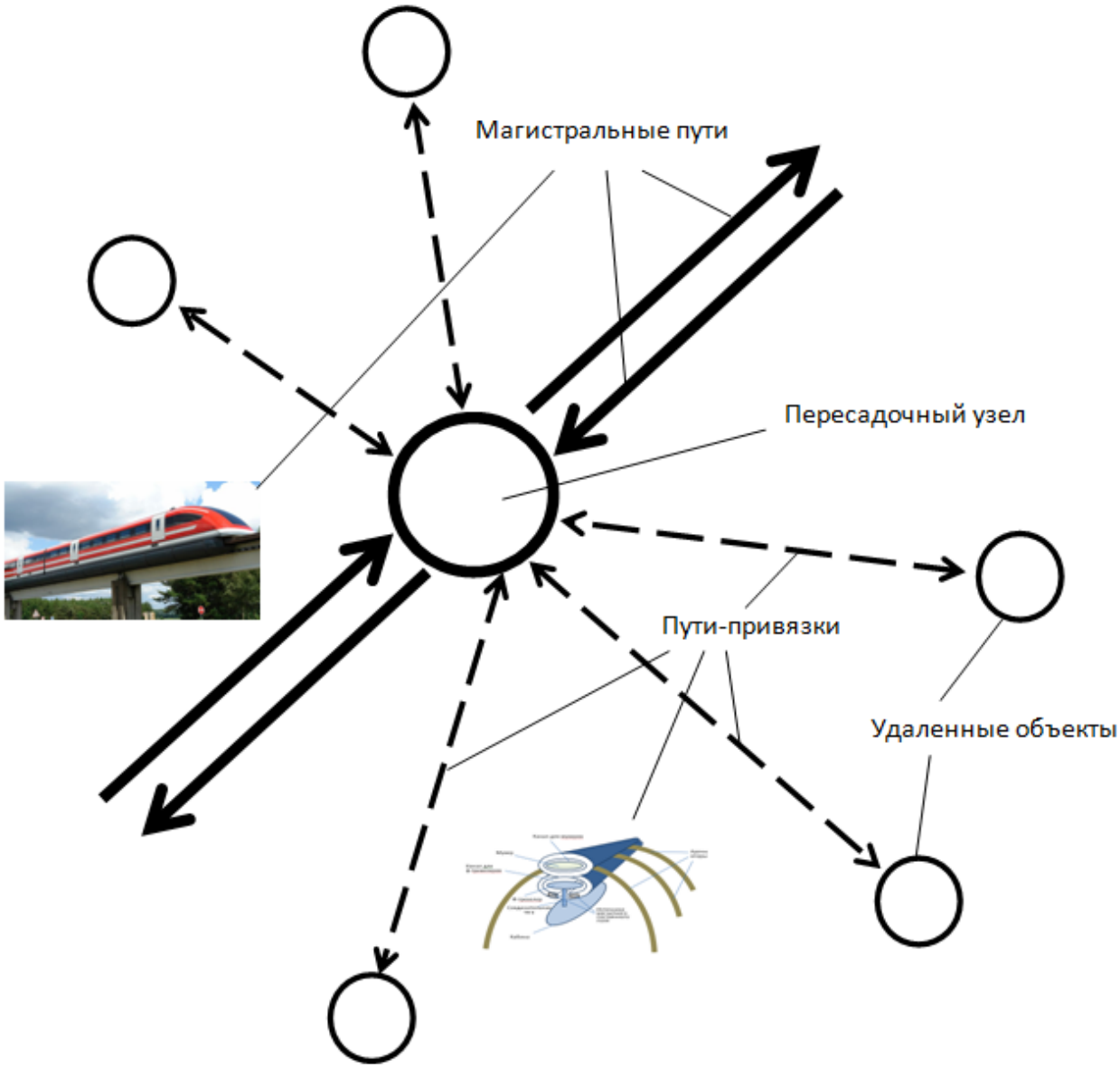


Рис. 1. Взаимодействие магистральной и малогабаритных маглев-систем

В результате задания ускорения одному или нескольким муверам вся эта последовательность приходит в движение.

Транспортный модуль (ТМ) в системе на Рис. 1 состоит из кабины и нескольких источников магнитного поля также кольцевой формы, соединенных с кабиной, например, при помощи тяг. Магнитные источники ТМ размещены во втором канале (нижний на Рис. 1), который является управляемым. В случае применения соединительных тяг управляемый канал имеет вырез для их перемещения, а для левитации ТМ он оборудован источниками постоянного магнитного поля прямоугольной формы (магнитными рельсами).

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

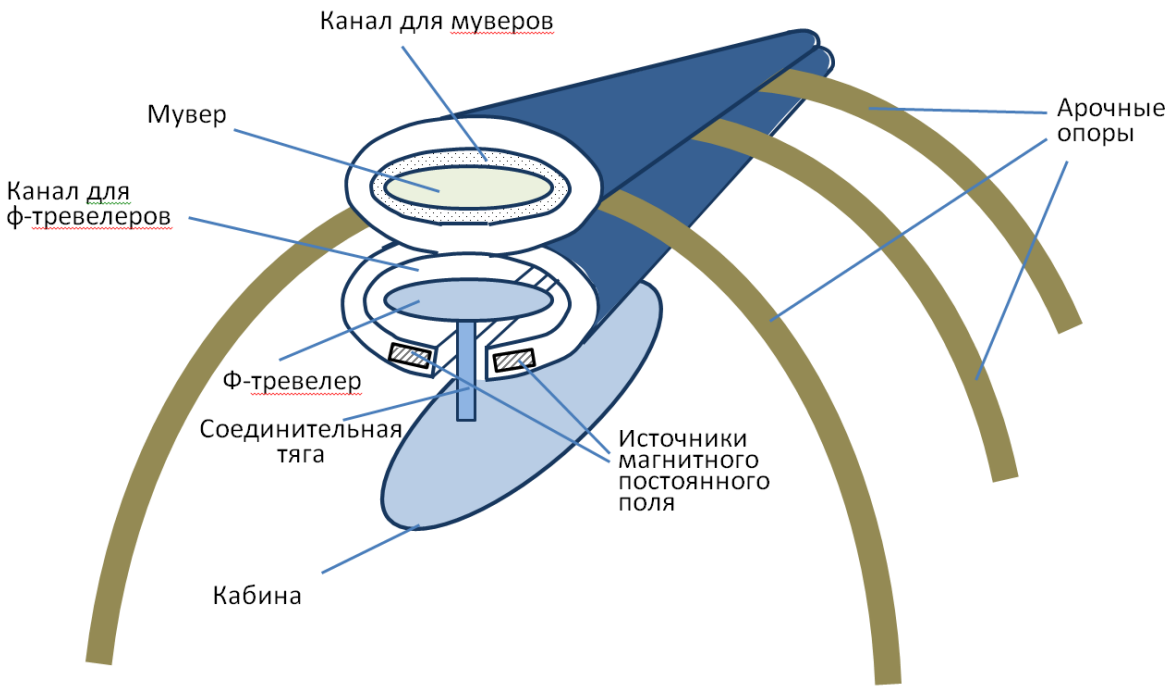


Рис. 2. Общий вид малогабаритной транспортной системы с эстакадой арочного типа

Некоторые из муверов взаимодействуют с источниками транспортного модуля. При приведении последовательности муверов в движение начинают двигаться и магнитные источники ТМ. Поэтому назовем их попутчиками (ф-тревелерами). Вместе с ф-тревелерами перемещается и сам ТМ.

Вся двухканальная конструкция устанавливается на арочных опорах, образуя эстакаду.

Как видно на Рис. 2, в отличие от системы по проекту Hyperloop, кабина выносится из канала (трубы), где создается среда низкого давления или другие мероприятия, обеспечивающие идеальные условия для движения муверов.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ СОЕДИНЕНИЕМ КАБИНЫ И МУВЕРОВ

Преимущества предлагаемой транспортной системы.

Внутри короба муверам могут быть созданы идеальные условия для движения, что позволяет не использовать электрический ток большой величины.

Эстакадное исполнение позволяет обеспечить безопасное удаление кабины от активных магнитных источников, а также преодолевать труднодоступные участки местности.

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

Малогабаритная транспортная система быстрее окупится в случаях небольших пассажирских и грузовых потоков.

Особенности транспортной системы, ограничивающие её применение.

Макетные испытания выявили особенности данной транспортной системы, ограничивающие ее применение. А именно:

1) короб выполнен с вырезом, что ослабляет прочность конструкции;

2) использование более двух соединительных тяг для одной кабины затрудняет движение ТМ в местах закруглений;

3) соединительные тяги не обеспечивают бесконтактное перемещение ТМ, поскольку в некоторые моменты они будут касаться краев выреза короба;

4) для задания ускоряющего усилия муверам требуется установка элементов линейного электромагнитного двигателя на всем протяжении эстакады.

Возможное преодоление ограничивающих особенностей.

Следующим шагом в развитии таких транспортных систем может стать бесконтактное соединение муверов и кабины, которое обеспечивается при помощи эффекта «магнитной потенциальной ямы» [12].

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА «МАГНИТНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЫ»

Эффект «Магнитной потенциальной ямы» при взаимодействии идеальнопроводящих кольцевых структур был открыт В.В. Козорезом [13]. Причем это взаимодействие проявляется как при расположении колец в параллельных плоскостях (Рис. 3а), так и при расположении этих колец в одной плоскости (Рис. 3б).

Размеры колец и расстояний между ними определяются из соотношений (1) и (2):

$$\Psi_1 \Psi_2 \neq 1; \tag{1}$$

$$a_1 R^{-1}, a_2 R^{-1} \leq \frac{1}{2} \tag{2}$$

где Ψ_1 и Ψ_2 – магнитные потоки;

a_1 – радиус меньшего кольца;

a_2 – радиус большего кольца;

R – расстояние между кольцами

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

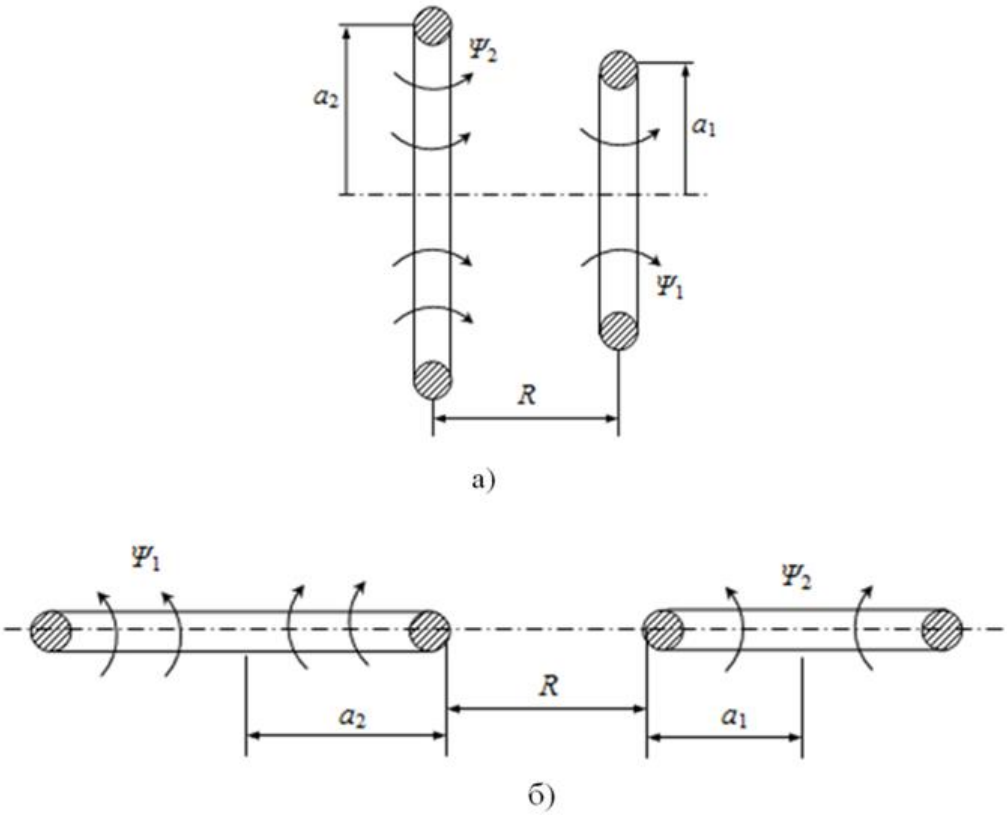


Рис. 3. Магнитная система двух идеально проводящих токовых колец и область устойчивых траекторий: а) в параллельных плоскостях; б) в одной плоскости

ТИП ДВИЖИТЕЛЯ: УЧИМСЯ У ЗВЕЗД И ПЛАНЕТ

Чтобы определиться с типом движителя, обратимся к движению во Вселенной [14]. Космические тела, обладая магнитными полями, движутся по эллиптическим орбитам [15] относительно более массивных тел как планеты относительно звезд, так и вращаясь относительно своих осей.

Этот принцип можно заложить в основу функционирования магнитолевитационных систем. Планетарная модель многоканальной маглев-системы показана на Рис. 4.

В центре системы расположен управляющий канал, внутри которого движутся муверы (звезды). Управляющий канал сопряжен с управляемыми каналами, число которых может достигать четырех в соответствии с числом сторон света: верхний (восток), правый (юг), нижний (запад), левый (восток). Совместно с муверами перемещаются попутчики (планеты), расположенные в управляемых каналах.

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

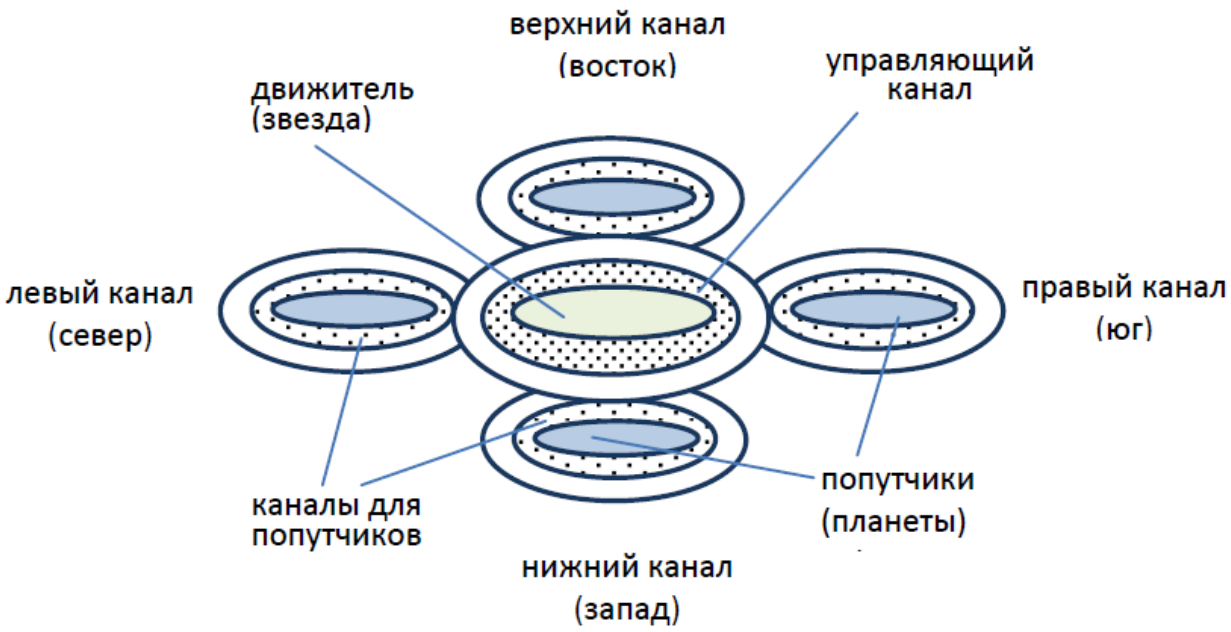
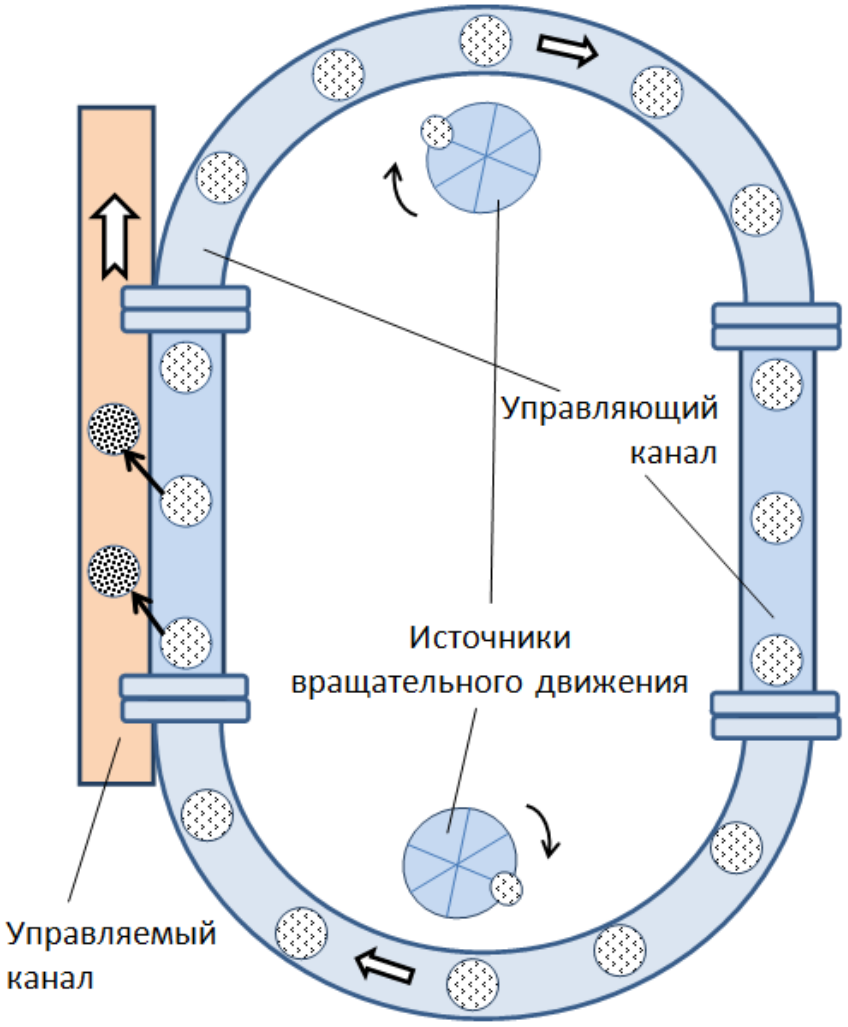


Рис. 4. Планетарная модель многоканальной маглев-системы

Транспортная система (Рис. 2) является частным случаем системы, изображенной на Рис. 4, а именно, двухканальной системой с нижним расположением управляемого канала. Внутренние стенки каналов в поперечном сечении повторяют форму муверов и попутчиков, имея некоторый зазор. Что должно способствовать свободному перемещению магнитных источников при предотвращении их переворачивания.

В простейшем случае управляющий канал имеет эллиптическую форму. Каждый из муверов взаимодействует с двумя соседними, при этом все муверы образуют замкнутую или сколь угодно длинную последовательность (Рис. 5). Последовательность муверов двигается под воздействием одного или нескольких источников вращательного движения. Управляющий канал сопряжен с одним или несколькими рабочими каналами. В рабочих каналах тревелеры, взаимодействуя с муверами управляющего канала, перемещаются линейно. Также перемещается и транспортный модуль, состав которого входят тревелеры перемещается линейно.

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021



– перемещаемый источник магнитного поля (постоянный магнит кольцевой формы) – мувер;

– источник магнитного поля транспортного модуля (постоянный магнит кольцевой формы) – тревелер;

– направление движения муверов;

– направление движения тревелеров (транспортного модуля)

Рис. 5. Расположение управляющего канала в горизонтальной плоскости (вид сверху) и сопряжение его управляемым каналом, находящимся слева

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоканальная транспортная система может быть образована при сопряжении нескольких малогабаритных маглев-систем с управляющим каналом, внутри которого осуществляется движение последовательности муверов.

Received: 23.06.2021 Revised: 23.06.2021 Accepted: 30.09.2021
Поступил: 23.06.2021 Одобрена: 23.06.2021 Принята: 30.09.2021

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. Blow L, Fritz E, Kircher R, et al. Energy consumption of track-based high-speed trains: maglev systems in comparison with wheel-rail systems. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3 suppl. 1):134-155. doi: 10.17816/transsyst201843s1134-155
2. Зайцев А.А., Антонов Ю.Ф. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с. [Zaitsev AA, Antonov YuF. *Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya*. Gapanovich VA, editor. Moscow: Fizmatlit; 2014. 476 p. (In Russ.)].
3. Ульянов Н. Магнит тянет в полет / Эксперт № 18-19. [Yluanov N. Magnit tjanet v polet. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://expert.ekiosk.pro/890541. Ссылка активна на 27.04.2021.
4. Lin G, Sheng X. Application and Further Development of Maglev Transportation in China. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3)36-43. doi: 10.17816/transsyst20184336-43
5. Куприяновский В.П., Климов А.А., Аленьков В.В. и др. Hyperloop – современное состояние и будущие задачи // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 7. – С. 129–144. [Kupriyanovskij VP, Klimov AA, Alen'kov VV et al. Hyperloop – current state and future challenges. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020;8(7):129-144. (In Russ.)].
6. Kleinman Z. Virgin Hyperloop pod transport tests first passenger journey. [cited 2020 November 9]. Available from: https://www.bbc.com/news/technology-54838982.
7. Голованов Г. Hyperloop сравним по опасности с открытым космосом. [Golovanov G. Hyperloop sravnim po opasnosti s otkrytym kosmosom. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://hightech.plus/2018/10/24/hyperloop-sravnim-po-opasnosti-s-otkritim-kosmosom. Ссылка активна на 17.05.2021.
8. Цветков В.А., Зиядуллаев Н.С., Зоидов К.Х. и др. Транзитная экономика: теория, методология, практика: Монография / Под. науч. ред. В.А. Цветкова. – М.: Экономическое образование, 2019. – 494 с. [Cvetkov VA, Ziyadullaev NS, Zoidov KH, et al. *Tranzitnaya ekonomika: teoriya, metodologiya, praktika: Monografiya*. Cvetkov VA, editor. Moscow: Ekonomicheskoe obrazovanie; 2019. 494 p. (In Russ.)].
9. Sundukov EY, Selivanov LF, Sundukova VE. The maglev-systems on the basis of trestle of arch type. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3):72-79. doi: 10.17816/transsyst20184372-79
10. Волкова Е.М. Факторы, определяющие успех реализации проектов строительства высокоскоростных магистралей // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т.6. – № 2. – С.5–19. [Volkova EM. Factors determining the success of HSR building projects. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):5-19. (In Russ.)]. doi:10.17816/transsyst2020625-19
11. Витков Г.А. Новый класс сил сопротивления в сплошных средах. – Тверь: ТГТУ, 1997. – 352 с. [Vitkov GA. Novyj klass sil soprotivleniya v sploshnykh sredakh. Tver': TGTU, 1997. (In Russ.)].
12. Михалевич В.С., Козорез В.В., Рашкован В.М. и др.; «Магнитная потенциальная

Received: 23.06.2021 **Revised: 23.06.2021** **Accepted: 30.09.2021**
Поступил: 23.06.2021 **Одобрена: 23.06.2021** **Принята: 30.09.2021**

яма» – эффект стабилизации сверхпроводящих динамических систем.– Киев: Наук. думка, 1991. – 335 с. [Mihalevich VS, Kozorez VV, Rashkovan VM, et al. *“Magnitnaya potencial'naya yama” – effekt stabilizacii sverhprovodyashchih dinamicheskih sistem*. Kiev: Nauk. Dumka; 1991. 335 p. (In Russ.)].

13. Козорез В.В. Динамические системы магнитно-взаимодействующих свободных тел. – Киев: Наук. думка, 1981. – 140 с. [Kozorez VV. *Dinamicheskie sistemy magnitno-vzaimodejstvuyushhikh svobodnykh tel*. Kiev: Nauk. dumka; 1981. 140 p. (In Russ.)].
14. Giordano Bruno. On the Infinite Universe and Worlds (1584). [cited 2021 May 17]. Available from: https://www.faculty.umb.edu/gary_zabel/Courses/Parallel%20Universes/Texts/On%20the%20Infinite%20Universe%20and%20Worlds.htm.
15. Смородинский Я.А. Планеты движутся по эллипсам // Квант. – 1979. – № 12. – С. 13–19. [Smorodinskij YaA. Planety dvizhutsya po ellipsam. *Kvant*. 1979;12:13-19. (In Russ.)].

Сведения об авторах:
Сундуков Евгений Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 8735-7995; ORCID: 0000-0003-0141-8292;
E-mail: jek-sun@mail.ru
Шифрин Борис Маркович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 5125-4307; ORCID: 0000-0001-5377-741X;
E-mail: shifrinb@mail.ru
Сундукова Вероника Евгеньевна, студент;
eLibrary SPIN: 4136-6297; ORCID: 0000-0002-9367-5693;
E-mail: v.sunduckova@yandex.ru

Information about the authors:
Evgeny Sundukov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 8735-7995; ORCID: 0000-0003-0141-8292;
E-mail: jek-sun@mail.ru
Boris Shifrin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 5125-4307; ORCID: 0000-0001-5377-741X;
E-mail: shifrinb@mail.ru
Veronika Sundukova, student;
eLibrary SPIN: 4136-6297; ORCID: 0000-0002-9367-5693;
E-mail: v.sunduckova@yandex.ru

Цитировать:
Сундуков Е.Ю., Шифрин Б.М., Сундукова В.Е. Многоканальные магнитолевитационные транспортные системы // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 120–130. doi: 10.17816/transsyst202173120-130

To cite this article:
Sundukov EYu, Shifrin BM, Sundukova VE. The multichannel maglev transport systems. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):120-130. doi: 10.17816/transsyst202173120-130

Received: 23.06.2021 **Revised: 23.06.2021** **Accepted: 30.09.2021**
Поступил: 23.06.2021 **Одобрена: 23.06.2021** **Принята: 30.09.2021**