

## Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление «Транспорт»

УДК [UDC] 656.34

DOI: 10.17816/transsyst20195283-91

© Е. Ю. Сундуков, Н. А. Тарабукина

Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук  
(Сыктывкар, Россия)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХСТРОННЕЙ ЛЕВИТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МОДУЛЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНО АРЧНОЙ ЭСТАКАДЫ

**Обоснование:** Арочная эстакада позволяет использовать две рабочие поверхности: внутреннюю (под аркой) и внешнюю (над аркой), которые могут быть задействованы для перемещения транспортных модулей. Транспортные модули включают в себя источники магнитного поля, а эстакада оборудуется статорной обмоткой. Статорная обмотка подразделяется на ускоряющую (propulsion) обмотку и обмотку, обеспечивающую поднятие или подвешивание (levitation) транспортных модулей. Как вариант, обмотка, обеспечивающая левитацию, может быть заменена постоянными магнитами.

**Цель:** показать возможности арочной эстакады для перевозки пассажиров и грузов.

**Методы:** патентный поиск, моделирование.

**Результаты:** возможна одновременная перевозка грузов и пассажиров как в попутном, так и противоположном направлениях.

**Заключение:** повышается эффективность транспортной системы за счет двухстороннего перемещения модулей.

**Ключевые слова:** арочная эстакада, магнитная левитация, транспортный модуль, статорная обмотка, источники магнитного поля, грузовая кабина, пассажирская кабина.

## Rubric 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field “Transport”

© Evgeny Yu. Sundukov, Nadezhda A. Tarabukina

Komi Science Centre of Ural Division of the Russian Academy of Sciences  
(Syktывkar, Russia)

### THE USE OF THE BILATERAL LEVITATION OF TRANSPORT MODULES RELATIVELY TO ARCH TRESTLE

**Background:** The arch trestle allows using two working surfaces: internal (under the arch) and external (over the arch) which may be used for moving of the transport pods. Transport pods include magnetic field sources, and the trestle is equipped with a stator winding. The stator winding is subdivided into the accelerating winding and suspension and

levitation winding. As an option, the winding providing levitation can be replaced with permanent magnets.

**Aim:** to show capacities of the arch trestle for transportation of passengers and goods.

**Methods:** patent search, modeling.

**Results:** simultaneous transportation of goods and passengers is possible both in the same and opposite directions.

**Conclusion:** the efficiency of the transport system increases due to bilateral movement of modules.

**Keywords:** arch trestle, magnetic levitation, transport pod, stator winding, magnetic field source, cargo cabin, passenger cabin.

## Введение

Транспортные системы эстакадного типа находят широкое применение при решении задач перевозки пассажиров и грузов. К ним можно отнести маглев [1], вакуумно-левитационные [2], монорельсовые [3], струнные и другие транспортные системы, а также комбинации конструктивных элементов таких систем.

Во многих случаях, когда в первую очередь требуется обеспечить доступность, а уже потом массовость, грузовых и пассажирских перевозок, например, в северных регионах РФ, экономичнее и надежнее могут оказаться малогабаритные транспортные системы эстакадного типа [4]. В частности, на полигоне компании SkyWay неподалеку от г. Минска проходит испытания линия струнного транспорта Юницкого (СТЮ) с новым элементом инфраструктуры – арочными опорами для жесткой путевой структуры [5]. В качестве подвижного состава будут использоваться навесные и подвесные пассажирские и грузовые модули. Разработчики СТЮ считают одним из наиболее важных аспектов функционирования системы контакт «стальное колесо – рельс».

В отличие от струнных технологий магнитолевитационные технологии позволяют обеспечить бесконтактное перемещение транспортных модулей (экипажей) относительно эстакады, что исключает любое трение. Преодолевать приходится только сопротивление воздушной среды при скоростях движения более 300 км/ч.

## Описание арочной эстакады и транспортных модулей

Наибольшее распространение получили магнитолевитационные системы Т-образной формы (германский вариант) и U-образной формы (японский вариант).

В данной статье рассматриваются варианты возможного развития малогабаритных магнитолевитационных систем с арочными опорами эстакады или эстакадой арочного типа  $\cap$ -образной формы [6]. Пролеты

путепровода в общем случае представляют собой жесткую конструкцию, оборудованную источниками магнитного поля, которые обеспечивают ускорение (propulsion) и поднятие и/или подвешивание (levitation) малогабаритных транспортных модулей [7].

Арочная эстакада позволяет использовать для перемещения транспортных модулей (ТМ) две рабочие поверхности: внутреннюю (под аркой) и внешнюю (над аркой). В зависимости от этого ТМ могут быть навесные (верхнее расположение) и подвесные (нижнее расположение).

Основными элементами ТМ являются кабина (грузовая или пассажирская) и мувер (один или несколько). Мувер представляет собой устройство, содержащее источник магнитного постоянного поля (ИМПП), для взаимодействия с источниками магнитного поля эстакады, обеспечивающими ускорение ТМ. Мувер и кабина могут быть соединены друг с другом непосредственно, либо с использованием механического соединения – тяги, либо каким другим способом.

Ускорение ТМ может задаваться посредством линейного электромагнитного двигателя, для чего эстакада оборудуется статорной обмоткой. Для задания лучшего магнитного усилия витки электромагнита могут устанавливаться наклоненными относительно направления движения ТМ [8].

Источники магнитного поля эстакады, обеспечивающие левитацию ТМ, могут быть как постоянными магнитами – ИМПП, так и электромагнитами. В последнем случае эстакада оборудуется дополнительной статорной обмоткой ограничителя перемещений [9].

### **Варианты использования «статор – мувер – кабина» и «статор – мувер – тяга – кабина»**

Рассматриваемые ниже варианты арочной эстакады разработаны авторами статьи, оформлены заявкой на выдачу патента РФ на изобретение № 2018144317 приоритет 14.12.2018 г., получено положительное решение формальной экспертизы.

На Рис. 1 показана одна из возможных конфигураций транспортной системы на основе арочной эстакады с двухсторонней левитацией ТМ при верхнем расположении грузового модуля (вариант «статор – мувер – кабина») и нижнем расположении пассажирского модуля (вариант «статор – мувер – тяга – кабина»), где:

- 1 – кабина грузового модуля;
- 2 – мувер грузового модуля;
- 3 – ИМПП грузового модуля, обеспечивающие левитацию;
- 4 – арочная опора;
- 5 – статорная обмотка для левитации грузового модуля;

- 6 – статорная обмотка электромагнита;  
 7 – пассажирский модуль;  
 8 – кабина пассажирского модуля;  
 9 – мувер пассажирского модуля;  
 10 – соединительная тяга;  
 11 – ИМПП эстакады для левитации пассажирского модуля;  
 12 – балочная конструкция для размещения мувера и ИМПП, обеспечивающих левитацию пассажирского модуля;  
 13 – опорная поверхность.

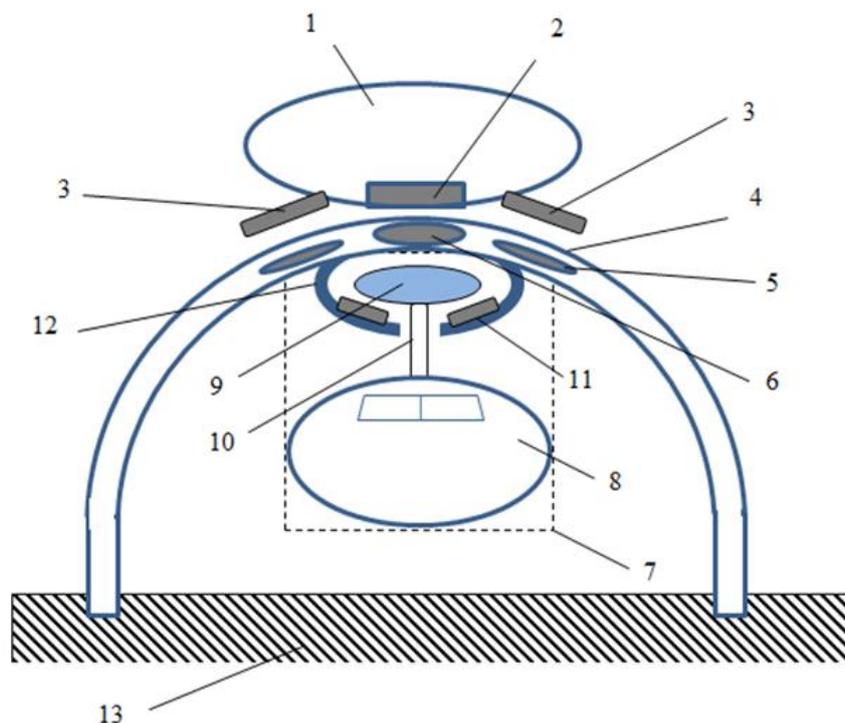


Рис. 1. Транспортная система на основе арочной эстакады с двухсторонней левитацией модулей: 1 – кабина грузового модуля; 2 – мувер грузового модуля; 3 – ИМПП грузового модуля, обеспечивающие левитацию; 4 – арочная опора; 5 – статорная обмотка для левитации грузового модуля; 6 – статорная обмотка электромагнита; 7 – пассажирский модуль; 8 – кабина пассажирского модуля; 9 – мувер пассажирского модуля; 10 – соединительная тяга; 11 – ИМПП эстакады для левитации пассажирского модуля; 12 – балочная конструкция для размещения мувера и ИМПП, обеспечивающих левитацию пассажирского модуля; 13 – опорная поверхность

В данной конфигурации мувер 2 грузового модуля непосредственно крепится к грузовой кабине 1, как и источники 3 магнитного постоянного поля, обеспечивающие левитацию ТМ. Статорная обмотка 5 для левитации ТМ располагается слева и справа от статорной обмотки электромагнита 6, которая имеет двойное назначение: одновременно задается ускорение и грузовому (верхнему), и пассажирскому (нижнему) ТМ.

Пассажирская кабина 8 и мувер 9 модуля 7 соединены посредством тяги 10. Мувер 9 используется как для левитации ТМ, для и для задания

ему ускорения. Левитация осуществляется при взаимодействии ИМПП мувера 9 с постоянными магнитами 11, расположенными по всей протяженности эстакады внутри балочной конструкции 12. Мувер 9 перемещается внутри конструкции 12, под действием сил ускорения, создаваемых при запитывании током определенных витков обмотки 6, соответственно, с ним перемещается весь транспортный модуль 7. При этом одновременно перемещается грузовой модуль с мувером 2. В зависимости от полярности ИМПП муверов 2 и 9 верхний и нижний ТМ будут перемещаться либо в попутном, либо в противоположных направлениях.

Магнитолевитационные системы на основе эстакады арочного типа способны обеспечить перевозки пассажиров и грузов в лесистых и заболоченных местностях, а также эффективное противостояние снежным заносам и другим атмосферным явлениям. Более защищенными в таких условиях окажутся системы с нижним расположением кабины (Рис. 2).

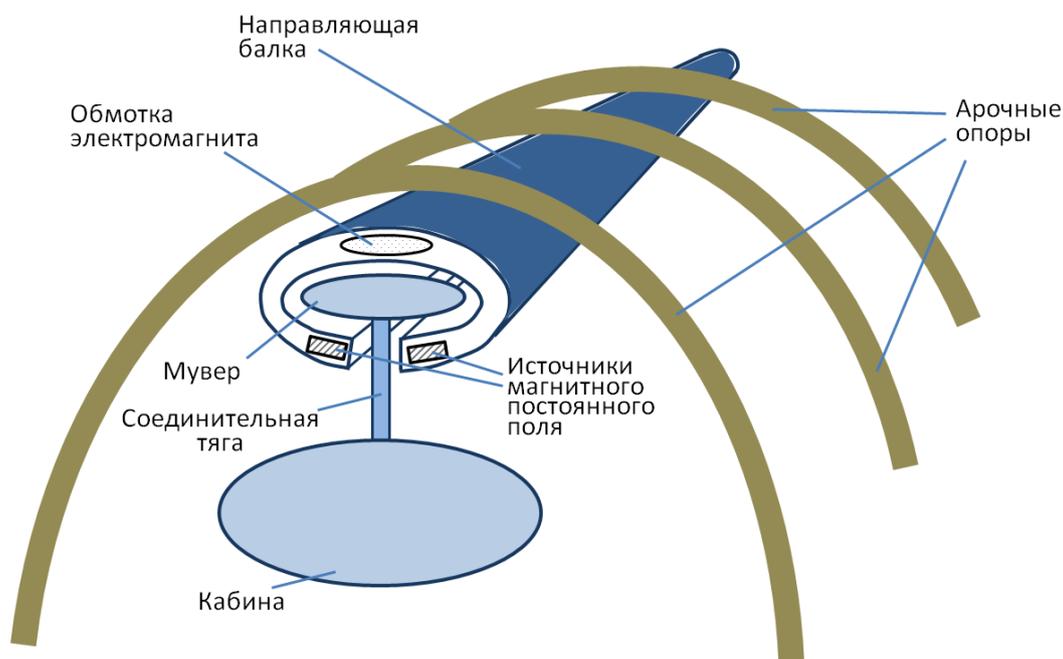


Рис. 2. Магнитолевитационная система на основе эстакады арочного типа с нижним расположением кабины

Опоры и направляющая балка эстакады могут изготавливаться из стеклопластика. Применение композитных материалов позволяет увеличить прочность и коррозионную стойкость сооружений [10, 11]. Вес стеклопластикового настила составляет всего около 20 % от веса аналогичного железобетонного покрытия.

Источниками магнитного постоянного поля могут быть мощные постоянные магниты на основе редкоземельных элементов [12, 13].

Как говорилось выше, мувер также содержит в себе ИМПП.

Желательно, чтобы магнитное поле ИМПП мувера было наведенным, а величина его магнитной индукции задавалась бы в зависимости от веса кабины и условий, в которых происходит движение. Эту функцию позволит обеспечить криостат в форме диска, внутри которого находится сверхпроводящий ИМПП.

Предполагается, что мувер будет интеллектуальным устройством и, помимо ИМПП, содержит вычислительное устройство, определяющее допустимые нагрузки, маршрут движения и др.

### Вариант использования «статор – мувер – тревеллер – кабина»

Следующим шагом в развитии подобных транспортных систем может быть бесконтактное соединение мувера и кабины, которое обеспечивается использованием эффекта «магнитной потенциальной ямы» [14], основанного на взаимодействии двух идеально проводящих колец. Одним из колец будет ИМПП мувера, а другим – ИМПП кабины (Рис. 3). Назовем его «тревеллер» (попутчик, fellow traveller). В этом случае направляющая балка будет неразрезной, что позволит создать благоприятные условия для движения мувера и стабилизации его положения. Тревеллер будет повторять движения мувера.

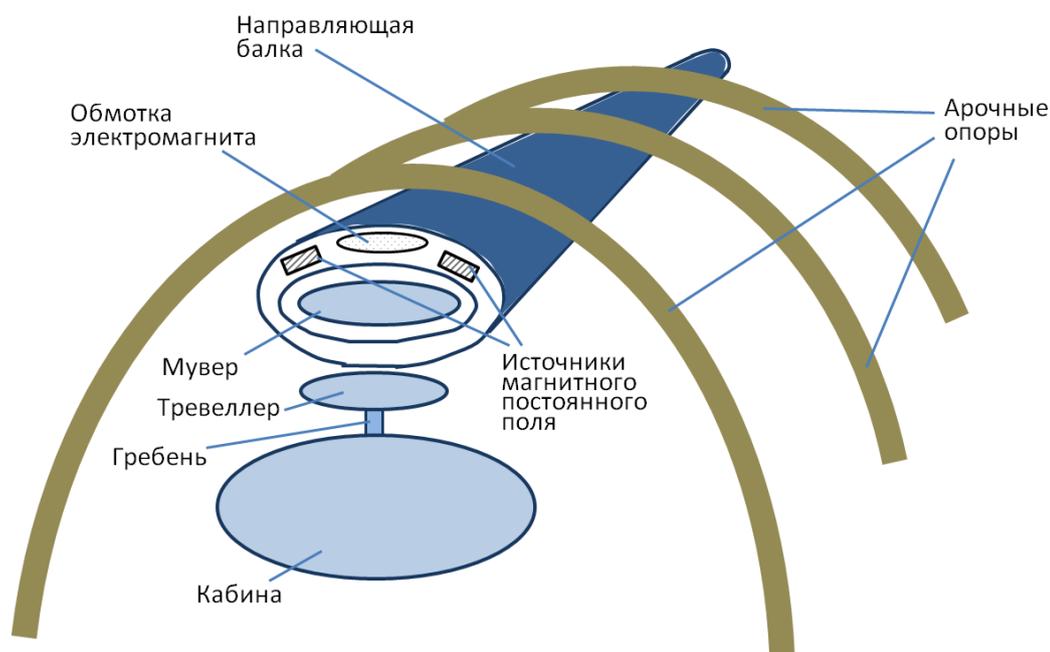


Рис. 3. Магнитолевитационная система на основе эстакады арочного типа с нижним расположением кабины и бесконтактным подсоединением мувера и тревеллера

В зависимости от веса и размеров кабины на ее гребне может быть установлено несколько тревеллеров, для каждого из которых в балку запускается «персональный» мувер.

Мувер, находящийся в сильно разреженной среде, может перемещаться с высокой скоростью. Однако, кабина при высоких скоростях движения будет преодолевать сильное сопротивление встречного воздуха и нагреваться. Поэтому согласованная скорость движения кабины и мувера не должна превышать критического значения – 300 км/ч.

На стадии создания системы [15] конструкция эстакады и ТМ может включать страховочные элементы, препятствующие возможным повреждениям, например, в случае потери сверхпроводимости ИМПП мувера. По мере совершенствования технологий данные элементы станут атавизмами.

В условиях Севера России можно рекомендовать использование арочных эстакад закрытого типа [7]. В районах, где нет сильной ветровой нагрузки и снежных заносов, вполне возможно использование вариантов арочной эстакады, предлагаемых авторами (см. Рис. 2, 3). При этом модули для перевозки пассажиров оборудуются гребнями, высота которых обеспечивает безопасное удаление от источников магнитного поля, находящихся в балочной конструкции [6].

### Выводы

Транспортные системы с двухсторонней левитацией модулей относительно арочной эстакады могут использоваться для перевозок пассажиров и грузов со скоростями до 300 км/ч, при этом:

- желательно использовать малогабаритные транспортные модули;
- либо пассивная статорная обмотка, либо постоянные магниты обеспечивают левитацию транспортных модулей;
- активная статорная обмотка взаимодействует с муверами транспортных модулей;
- для перемещения муверов создаются идеальные условия;
- тревеллеры, в случае их использования, повторяют движения муверов;
- при строительстве магнитолевитационных систем на основе арочной эстакады возможно использовать конструктивные решения других инновационных транспортных систем.

### Автор(ы) 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://elibrary.ru/item.asp?id=23734009>. Ссылка активна на: 19.06.2019.
2. Лapidус Б.М. Магнитная левитация – фундаментальная основа для сверхскоростных вакуумно-левитационных транспортных технологий // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 3. – С. 26-35. [Lapidus BM. Magnetic Levitation as the Fundamental Basis for Superfast Vacuum Levitation Transport Technologies. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3):26-35. (In Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst20184326-35.
3. Вершинина Н.В., Трапезников М.Б. Внедрение монорельса в транспортно-логистическую структуру региона // Транспорт Урала. – 2014. – № 1 (40). – С. 3–7. [Vershinina NV, Trapeznikov MB. Introduction of monorail in transport-logistical structure of the region. *Transport Urala*. 2014;1(40):3-7. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33948556>. Ссылка активна на: 18.06.2019.
4. Назин Г.И., Новицкий В.Ф., Соколов В.Г., Шевченко Н.Г., Юницкий А.Э. Новые технологии в создании транспортных систем северных и восточных регионов России // Сибирская финансовая школа. – 2006. – № 4. – С. 1–9. [Nazin GI, Novitskii VF, Sokolov VG, Shevchenko NG, Yunitskii AE. Novye tekhnologii v sozdanii transportnykh sistem severnykh i vostochnykh regionov Rossii. *Sibirskaya finansovaya shkola*. 2006;(4):1-9. (In Russ.)]. Доступно по: <https://journal.safbd.ru/ru/content/novye-tehnologii-v-sozdanii-transportnyh-sistem-severnyh-i-vostochnykh-regionov-rossii>. Ссылка активна на: 19.06.2019.
5. Новая трасса достраивается в ЭкоТехноПарке. Сайт «Струнные технологии Юницкого». Доступно по: <http://yunitskiy.com/news/2019/news20190406.htm>. Ссылка активна на: 09.05.2019 (In Russ.).
6. Sundukov EYu, 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.
7. Сундуков Е.Ю., Кочергин С.М., Селиванов Л.Ф. Арочная эстакада с магнитным или электромагнитным подвешиванием малогабаритных транспортных модулей // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С. 54–63. [Sundukov EYu, Kochergin SM., Selivanov LF. Application of Maglev Technologies In the European Northeast and the Cisural North of Russia. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(3):54-63. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20173354-63
8. Патент РФ на изобретение № 2123946/ 27.12.1996. Бюл. № 36. Сундуков Е.Ю. Транспортная система. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet). Дата обращения: 29.05.2019. [Pat. RUS № 2123946/ 27.12.1996. Byul. № 36. Sundukov EYu. Transportnaya sistema. Available from: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet) (In Russ). Accessed May 29, 2019].
9. Sundukov E. The stator winding with the inclined rounds. Possible applications. In The International Maglev Board, editor. *Maglev Solutions for People, Cities, and Regions? MAGLEV 2016. Volume 1 of 2 – Technological Research and Development*; 2016. pp. 9-14. [cited 2019 May 29]. Available from: [https://www.maglevboard.net/images/maglev2016/MAGLEV\\_2016\\_Band\\_1\\_ksv.pdf](https://www.maglevboard.net/images/maglev2016/MAGLEV_2016_Band_1_ksv.pdf).

10. Первый в Европе композиционный мост из стеклопластика возведен в Германии. Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ. Доступно по: <http://fea.ru/news/4823>. Ссылка активна на: 09.05.2019. (In Russ.).
11. В Новосибирской области открылся первый мост из стеклопластика. Сетевое издание «НГС.НОВОСТИ». Доступно по: <https://news.ngs.ru/more/1865071/>. Ссылка активна на: 09.05.2019. (In Russ.).
12. Неодимовый магнит – самый мощный магнит в мире. Доступно по: <http://joy4mind.com/?p=8647#ixzz5knZ97R9A> Ссылка активна на: 09.05.2019. (In Russ.).
13. Магнитные рекорды. Доступно по: <https://habr.com/ru/post/405687/>. Ссылка активна на: 09.05.2019. (In Russ.).
14. Козорез В.В. Динамические системы магнитно-взаимодействующих свободных тел. – Киев: Наукова думка, 1981. – 140 с. [Kozorez VV. *Dinamicheskie sistemy magnitno-vzaimodeistviyushchikh svobodnykh tel*. Kiev: Naukova dumka, 1981. 140 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.ikar.udm.ru/files/pdf/sb63-1.pdf>. Ссылка активна на: 19.06.2019.
15. Терешина Н.П., Подсорин В.А. Управление жизненным циклом технических систем на железнодорожном транспорте. – М.: Вега-Инфо, 2012. – 229 с. [Tereshina NP, Podsorin VA. *Upravlenie zhiznennym tsiklom tekhnicheskikh sistem na zheleznodorozhnom transporte*. Moscow: Vega-Info, 2012. 229 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21058875>. Ссылка активна на: 19.06.2019.

#### Сведения об авторах:

**Сундуков Евгений Юрьевич**, кандидат экономических наук, доцент;

адрес: 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 26;

eLibrary SPIN: 8735-7995; ORCID: 0000-0003-0141-8292;

E-mail: jek-sun@mail.ru

**Тарабукина Надежда Андреевна**, ст. инженер;

eLibrary SPIN: 2559-9676;

E-mail: nadandtar@mail.ru

#### Information about the authors:

**Evgeny Sundukov**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;

address: Kommunisticheskaya ul., 26, Syktyvkar, Russia, 167982;

eLibrary SPIN: 8735-7995; ORCID: 0000-0003-0141-8292;

E-mail: jek-sun@mail.ru

**Nadezhda Tarabukina**, senior engineer;

eLibrary SPIN: 2559-9676;

E-mail: nadandtar@mail.ru

#### Цитировать:

Сундуков Е.Ю., Тарабукина Н.А. Использование двухсторонней левитации транспортных модулей относительно арочной эстакады // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 83–91. doi: 10.17816/transsyst20195283-91

#### To cite this article:

Sundukov EYu, Tarabukina NA. The Use of The Bilateral Levitation of Transport Modules Relatively Arch Trestle. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(2):83-91. doi: 10.17816/transsyst20195283-91