

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 624.21

DOI 10.17816/transsyst202173158-168

© А. Н. Яшнов, А. Н. Иванов

Сибирский государственный университет путей сообщения

(Новосибирск, Россия)

СТРУННЫЕ ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ ДЛЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Цель: Обоснование технической возможности применения для «Маглев» струнных пролетных строений из полимерных композиционных материалов.

Методы: Расчетно-теоретические методы исследований.

Результаты: Показано, что путем натяжения струны и применения специальных конструктивных решений можно создать близкий к «идеальному» профиль путевой структуры для движения «Маглев». При этом в качестве материала струн предпочтительнее использовать полимерные композиты, позволяющие при том же уровне натяжения струны получать меньшее провисание, чем у металлических струн.

Заключение: Обоснован альтернативный традиционным железобетонным или металлическим конструкциям вариант струнных композиционных пролетных строений.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, струнные композиционные пролетные строения.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and Construction of Roads, Subways

© A. N. Yashnov, A. N. Ivanov

Siberian Transport University

(Novosibirsk, Russia)

STRING SUPERSTRUCTURES FOR MAGLEV TRANSPORT

Aim: Justification of the technical feasibility of using string spans made of polymer composite materials for maglev transport systems.

Methods: Computational and theoretical methods of research.

Results: It is shown that by stretching the string and applying special design solutions, it is possible to create a close to "ideal" profile of the track structure for the maglev movement. At the same time, it is preferable to use polymer composites as the string material, which allow for less sagging than metal ones at the same level of string tension.

Conclusion: The alternative to traditional reinforced concrete or metal structures of string composite superstructures is justified.

Key words: maglev transport, string composite superstructures.

ВВЕДЕНИЕ

«Маглев» – малошумный, экологически чистый и безопасный транспорт, независимый от климатических условий. Проекты магнитолевитационных транспортных систем появились еще в начале прошлого века [1], но до настоящего времени такие системы не получили широкого распространения. Хотя, очевидно, что магнитолевитационные транспортные системы перспективны при организации высокоскоростного и сверхвысокоскоростного движения и перевозки контейнеров. В современных мегаполисах также перспективно внедрение городского транспортного движения на магнитном подвесе [2, 3]. Исследования, проведенные японскими учеными, показали, что реализация транспортного сообщения внутри мегаполисов и между ними по технологии «Маглев» оказывает положительный экономический эффект, способствуя более равномерному расселению людей по рассматриваемой территории и увеличению валового регионального продукта регионов [4].

Сравнение высокоскоростных железнодорожных магистралей работающих на системах «колесо-рельс» и «магнитный подвес» [5] свидетельствует о наличии у магнитолевитационного транспорта таких преимуществ, как рекордное значение скорости (581 км/час), сравнительно меньшие радиусы кривых из-за возможности большего поперечного наклона, максимальные уклоны продольного профиля теоретически могут достигать 100 %, уровень шума значительно ниже при одинаковом уровне скоростей. Как отмечают некоторые исследователи транспорт на магнитном подвесе является перспективным в условиях Севера [6], в первую очередь, это транспортные системы эстакадного типа для устойчивых грузо- и пассажиропотоков над снегом и зонами интенсивного водородного износа конструкций [7]. Но «Маглев» имеет и такие существенные недостатки, как несовместимость с существующей сетью обычных железных дорог, а также отсутствие опыта строительства и эксплуатации [4].

Как справедливо отмечено в [8] магнитолевитационный транспорт является преимущественно эстакадным, доля эстакадных участков составляет до 100 %. При этом эстакады занимают значительно меньшие площади, чем насыпи, а подэстакадное пространство может быть использовано для многих нужд. Общие вопросы проектирования мостовых сооружений были рассмотрены в работе [9], отмечено, что необходимо решать вопросы строительства эстакад, осуществляя поиск новых конструктивных и организационно-технологических решений.

В настоящее время первый в мире коммерческий «маглев»-поезд курсирует на линии Шанхай – аэропорт Пудонг. На этой линии применены эстакады с отдельными для каждого направления пути опорами.

Пролетные строения – железобетонные балочно-неразрезные, в основном 2×25 м, высотой около 2,0 м. Высота железобетонных опор принята от 1,5 до 20 м, при небольшой высоте опор длина пролетов уменьшается. В поперечном сечении пролетное строение под каждый путь представляет собой одну Т-образную балку, состоящую из довольно «толстого» ребра и плиты [10]. Плиты смежных неразрезных пролетных строений объединены в температурно-неразрезную плеть. В отличие от Китая в Японии, на экспериментальном участке будущей магистрали «Маглев» Токио – Осака опоры эстакады приняты Т-образной формы, с размещением на ригеле двух путей. Таким образом, реализуются традиционные конструктивные решения пролетных строений и опор. Заметим, что для освобождения подэстакадного пространства могут быть применены и металлические опоры.

А. Э. Юницкому [11, 12] принадлежит идея создания струнного транспорта, главным преимуществом которого перед традиционными видами транспорта является новизна применяемых технологий и технических решений, что приводит к снижению материалоемкости при строительстве, повышению долговечности путевой структуры и снижению энергопотребления при эксплуатации. Однако скорости движения магнитолевитационного транспорта (до 300 км/час и более) требуют, чтобы профиль пути был идеально ровным, без переломов, что вызывает определенные трудности при реализации идеи А. Э. Юницкого для «Маглев», так как натяжение струны без провисания требует бесконечно большого усилия. Из имеющихся в открытом доступе публикаций неясно решаются ли А. Э. Юницким вопросы обеспечения ровного (без переломов над опорами и провисаний в пролете) профиля движения. Цель данной работы – обоснование технической возможности применения струнных пролетных строений с использованием полимерных композиционных материалов для магнитолевитационных транспортных систем.

СОЗДАНИЕ СТРУННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Предложено следующее запатентованное [13] конструктивное решение струнного пролетного строения, принципиальная схема которого показана на Рис. Струнную систему натягивают между двумя концевыми опорами (1, 6), а по длине линии поддерживают промежуточными опорами (5) с шарнирно-подвижным опиранием (4) струны (2) на них. В концевых опорах возможна абсолютно жесткая заделка струны, но в одной из опор может быть устроено подвижное опирание с анкерным грузом (8), имеющим массу, создающую требуемое усилие натяжения. Кроме того, для гашения колебаний может быть установлен пружинный демпфер (7). Струна по длине пролета будет иметь провисание (Y), зависящее от

величины натяжения. Идеально ровная струна требует бесконечно большого усилия натяжения, что принципиально не достижимо. Однако можно выровнять поверхность движения, уложив на струну специальную путевую конструкцию (3) переменной по длине пролета высоты (Рис.).

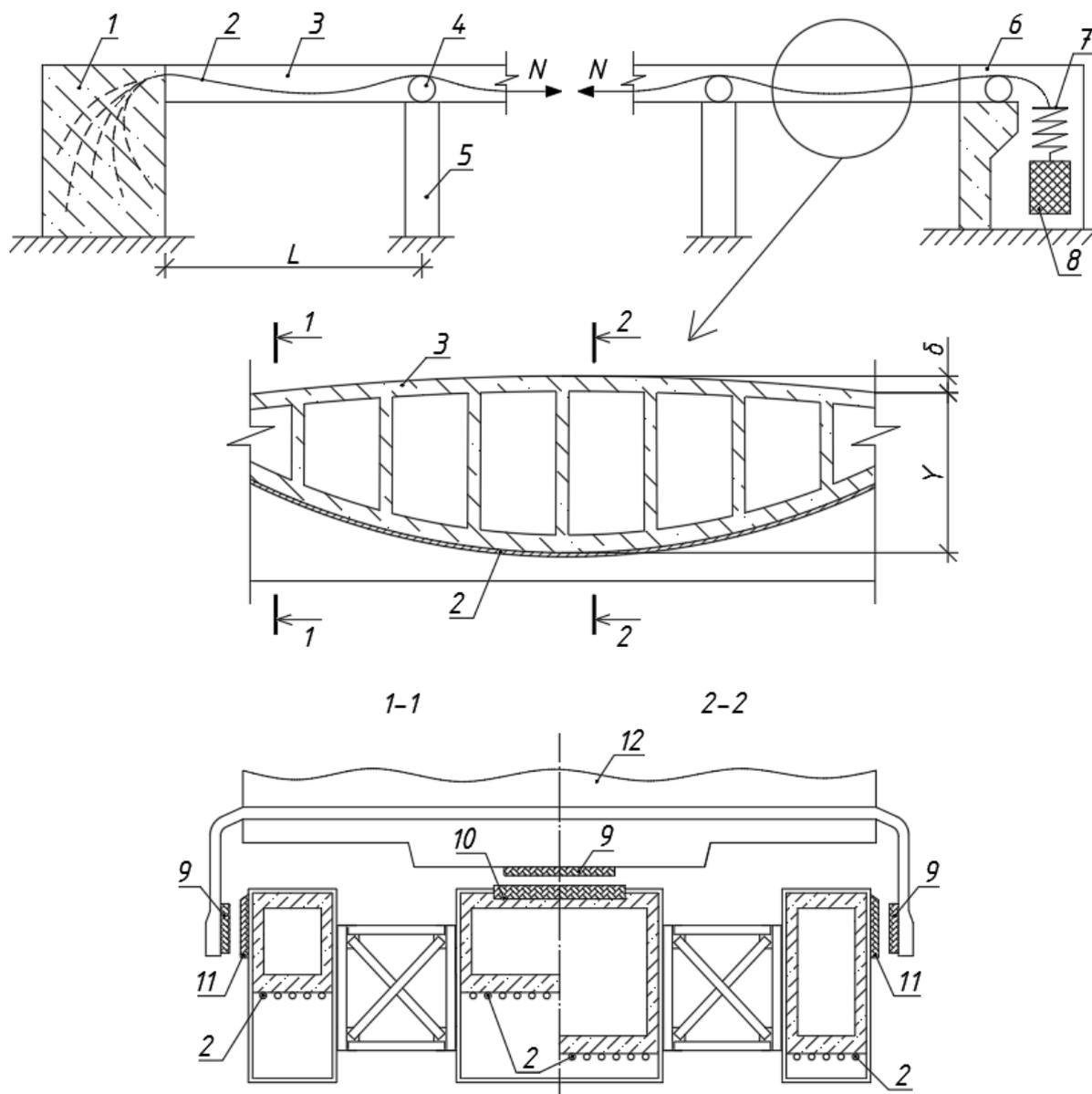


Рис. Схема струнного пролетного строения: 1 – концевая анкерная опора с жесткой заделкой струны, 2 – струна; 3 – путевая конструкция, 4 – шарнирное продольно-подвижное опирание на промежуточную опору, 5 – промежуточная опора, 6 – концевая опора с анкерным грузом, 7 – пружинный демпфер, 8 – анкерный груз, 9 – высокотемпературная сверхпроводящая лента, 10 – путевой электромагнит, 11 – магнит боковой стабилизации, γ – провисание струны, δ – строительный подъем

С точки зрения строительной механики струна представляет собой гибкую нить, работающую только на растяжение ввиду своей малой

изгибной жесткости. Придавая нити начальный прогиб (провисание) и загружая её нагрузкой от собственного веса конструкции по пролету (Рис.), можно записать формулу для определения величины натяжения в следующем виде:

$$N = \frac{q \cdot L^2}{8Y \cdot \cos \alpha} \quad (1)$$

где q – нагрузка от собственного веса конструкции;
 L – пролет нити;
 Y – провисание нити;
 α – угол наклона нити при провисании.

Практический интерес представляет ограничение провисания нити до величины не более 0,5 м, что позволит встроить несущую нить в специальную путевую конструкцию в виде коробчатого кожуха небольшой высоты по фасаду с переменной высотой опирания на струну по длине пролета. Заметим, что величина провисания в этом случае будет малой по сравнению с пролетом, и действительная кривая провисания нити не будет существенно отличаться от параболы, полученной в предположении равномерного распределения нагрузки по пролету нити, а не по ее длине, как то имеет место в действительности. Косинус угла α стремится к единице. Значение погрешности в величине натяжения при таких допущениях не превосходит 0,3 %.

Напряжение, возникающее в струне от натяжения (с учетом формулы (1)):

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{\rho \cdot L^2}{8Y \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

где A – площадь сечения нити (струны);
 ρ – плотность материала нити (струны).

Вычисления по формуле (2) показывают, что, используя не более 10 % несущей способности стальной проволоки или каната, можно создать требуемый профиль струны при пролетах 25 – 100 м.

Усилия натяжения, возникающие в несущих струнах от подвижного состава, могут быть определены по формуле (1) с заменой постоянной нагрузки q на равномерно распределенную нагрузку ν от высокоскоростных поездов «Маглев». Если рассматривать подвижной состав для высокоскоростной магистрали с классом нагрузки С8 и с учетом необходимости ограничения прогибов по СП 453.1325800.2019, то усилия по формуле (2) будут весьма значительны и потребуют применения струн большой площади, что, учитывая значительный объемный вес

металла, неминуемо приведет к удорожанию конструкций опор и фундаментов.

Оправданным будет использование металлических струнных пролетных строений для создания контейнерных мостов [8]. При этом усилия натяжения струн от нагрузки могут быть определены по формуле:

$$N = \frac{P \cdot L}{4Y} \quad (3)$$

где P – вес магнитолевитационной тележки с контейнером.

В этом случае небольшие по площади поперечного сечения струны обеспечат необходимую грузоподъемность и жесткость конструкции пролетного строения.

Заметим, что при использовании стальных струн необходимо учитывать дополнительные температурные напряжения, которые для различных климатических условий РФ могут превышать 10 % от разрывного усилия:

$$\sigma = E\alpha\Delta T \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала;

α – коэффициент линейного расширения;

ΔT – максимальная разность температур.

Важными с точки зрения обеспечения работоспособности предлагаемой струнной конструкции будут расчеты динамических параметров, в первую очередь собственных частот колебаний. Низкие частоты могут быть опасны при их совпадении с вынуждающими силами при пропуске подвижного состава. Частота собственных поперечных колебаний струны может быть определена по формуле:

$$v = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{N}{\rho \cdot A}} \quad (4)$$

где n – число полувольт (1,2,3,...).

При необходимости можно предусмотреть регулирование колебаний путем их гашения специальным демпфером (Рис.). В динамическом гасителе для гашения колебаний используется явление антирезонанса. Принцип действия динамического гасителя заключается в создании гасителем силы направленной противоположно возмущающей силе. Настройка динамического гасителя заключается в подборе его собственной

частоты: собственная частота гасителя должна быть равна частоте тех колебаний, амплитуду которых необходимо уменьшить («погасить»).

Собственная частота колебаний демпфера, в первом приближении, представлена формулой:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} \quad (5)$$

где C – жесткость пружины (кг/с²);

m – масса подвешиваемого на пружину груза (кг).

Для гашения колебаний необходимо подобрать жесткость и массу пружины таким образом, чтобы удовлетворить условию:

$$\nu_d = \nu \quad (6)$$

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРУННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Для получения компактного поперечного сечения несущей конструкции требуется материал с высокими прочностными показателями и низким удельным весом. Такими характеристиками обладают композиционные материалы с углеродными волокнами [14]. Прочность углеволокна превышает прочность стальной проволоки в 2–4 раза, при этом удельный вес этого материала в 4 раза меньше стали (Табл.). Кроме того, композиты с углеродными волокнами превосходят сталь по демпфирующей способности, которая зависит от соотношения угла приложения нагрузки к направлению армирования, что положительно отражается на скорости затухания колебаний от воздействия подвижной нагрузки.

Немаловажными факторами, которые необходимо учитывать при проектировании несущих конструкций, являются природно-климатические воздействия. Так, например, на значительной территории России перепад температур за календарный год приближается к 100 °С, что вызывает значительные температурные напряжения в элементах конструкций. Расчеты показывают, что обеспечение необходимого профиля струнного пролетного строения путем натяжения стальной высокопрочной проволоки при таких климатических условиях не представляется возможным, в то время как с помощью полимерных композиционных материалов эту задачу можно решить. Коэффициент линейного температурного расширения углеродных волокон отрицателен (Табл.), а однонаправленно армированных углепластиков близок к нулю [15]. Кроме того, полимерные

композиты более устойчивы к агрессивным средам, а потому менее подвержены деградации в сравнении со сталью.

Заметим, что характеристики композиционных материалов могут изменяться в широких пределах в зависимости от состава композиции, которая при необходимости может быть подобрана под заданные условия для обеспечения требуемых показателей.

Таблица. Характеристики углеволокна [15] и стальной проволоки

Материал	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности, МПа	Коэффициент линейного температурного расширения, 1/град	Удельный вес, кгс/м ³
Углеволокно	235–310	3600–5170	$-0,5 \cdot 10^{-6}$	1800–1900
Высокопрочная стальная проволока	177	1100–1490	$1,2 \cdot 10^{-6}$	7850

Таким образом, очевидно, что композиты на основе углеродных волокон превосходят сталь по физико-механическим характеристикам и их вариативности в широких пределах, а также более устойчивы к воздействию природно-климатических факторов. Все это указывает на целесообразность применения углепластиков в основных несущих конструкциях струнных пролетных строений для пропуска перспективного магнитолевитационного транспорта. При применении высокопрочного углеволокна окажется возможным и целесообразным встраивание несущей струны в путевую конструкцию. Технология сооружения будет предусматривать натяжение несущей струны, а затем монтаж на нее путевой конструкции с дополнительным строительным подъемом δ (Рис.) по верхней поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показана принципиальная возможность создания альтернативного традиционным железобетонным или металлическим конструкциям варианта струнных композиционных пролетных строений. Но для практической реализации струнной транспортной системы необходимо проведение дополнительных исследований, касающихся обеспечения безопасности движения и надежности ее функционирования. Для сооружения струнных систем потребуется разработка специальных технологических схем.

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. Магнитоплан профессора Вейнберга. [Magnitoplan professora Weinberga. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <http://ideal.westsib.ru/vactrain>. Ссылка активна на 28.04.2021.
2. Фёдорова М.В. Городской пассажирский транспорт на магнитном подвесе: технико-экономический анализ / Труды I Международной научно-практической конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии». 29-31 октября 2013 года; СПб. Под общ. ред. Антонова Ю.Ф. СПб.: ООО PUDRA, 2013 г. – С. 116–117. [Fjodorova MV. Gorodskoj passazhirskij transport na magnitnom podvese: tehniko-jekonomicheskij analiz / Trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii”. 2013 october 29-31; St. Petersburg. St. Petersburg: PUDRA LLC; 2013. p. 116–117. (In Russ.)]. Доступно по: <http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst13-pdf.pdf>. Ссылка активна на 29.04.2021.
3. Изъюрова Т.И. Магнитолевитационные технологии в решении транспортных проблем в мегаполисах / Труды I Международной научно-практической конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии». 29-31 октября 2013 года; СПб. Под общ. ред. Антонова Ю.Ф. СПб.: ООО PUDRA, 2013 г. – С. 119–122. [Iz'jurova TI. Magnitolevitacionnye tehnologii v reshenii transportnyh problem v megapolisah / Trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii”. 2013 october 29-31; St. Petersburg. St. Petersburg: PUDRA LLC; 2013. p. 119-122. (In Russ.)]. Доступно по: [https:// http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst13-pdf.pdf](https://http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst13-pdf.pdf). Ссылка активна на 29.04.2021.
4. Tetsuji Sato, Masahiro Shiraishi. Time-series economic effect of developing MAGLEV among metropolitan areas in Japan considering urbanization economies. *Transportation Research Procedia*. 2020; 48:150-167. doi: 10.1016/j.trpro.2020.08.013
5. Костенко В.В., Четчуев М.В., Федоров В.П. Сравнительная характеристика высокоскоростных пассажирских наземных линий на основе систем «колесо-рельс» и «магнитный подвес» / Труды I Международной научно-практической конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии». 29-31 октября 2013 года; СПб. Под общ. ред. Антонова Ю.Ф. СПб.: ООО PUDRA, 2013 г. – С. 95–98. [Kostenko VV, Chetchuev MV, Fedorov VP. Sravnitel'naja harakteristika vysokoskorostnyh passazhirskih nazemnyh linij na osnove sistem “koleso-rel's” i “magnitnyj podves”/ Trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii”. 2013 october 29-31; St. Petersburg. St. Petersburg: PUDRA LLC; 2013. p. 95–98. (In Russ.)]. Доступно по: <http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst13-pdf.pdf>. Ссылка активна на 29.04.2021.
6. Киселенко А.Н., Кротов А.П., Сундуков Е.Ю. Применение транспортных систем с низкзатратной инфраструктурой в условиях северного региона // Политические, экономические и социокультурные аспекты регионального управления на Европейском Севере / Материалы докладов VII Всероссийской научно-теоретической конференции. Часть I. – Сыктывкар: КРАГСиУ, 2008. – С. 99-102.

- [Kiselenko AN, Krotov AP, Sundukov EJu. Primenenie transportnyh sistem s nizkozatratnoj infrastrukturoj v uslovijah severnogo regiona. *Politicheskie, jekonomicheskie i sociokul'turnye aspekty regional'nogo upravlenija na Evropejskom Severe*. Materialy dokladov VII Vserossijskoj nauchno-teoreticheskoj konferencii. Chast' I. Syktyvkar: KRAGSiU, 2008. pp. 99-102. (In Russ.)].
7. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Использование транспортных систем на магнитной подвеске для решения проблем северного региона / Труды I Международной научно-практической конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии». 29-31 октября 2013 года; СПб. Под общ. ред. Антонова Ю.Ф. СПб.: ООО PUDRA, 2013 г. – С. 122–124. [Kiselenko AN, Sundukov EJu. Ispol'zovanie transportnyh sistem na magnitnoj podveske dlja reshenija problem severnogo regiona. Trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii”. 2013 october 29-31; St. Petersburg. St. Petersburg: PUDRA LLC; 2013. p. 122–124. (In Russ.)]. Доступно по: <http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst13-pdf.pdf>. Ссылка активна на 29.04.2021.
 8. Зайцев А.А., Антонов Ю.Ф. Контейнерный мост Санкт-Петербург – Москва на основе магнитной левитации / Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14. Труды 2-й Международной научной конференции. 17-20 июня 2014 года; СПб. Под ред. проф. Антонова Ю.Ф. – Киров: МЦНИП, 2014 г. – С. 11–23. [Zajcev AA, Antonov JuF. Kontejnernyj most Sankt-Peterburg–Moskva na osnove magnitnoj levitacii. Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii. МТСТ'14. Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. 2014 june 17-20; St. Petersburg. Киров: МСНИП, 2014. p. 11-23. (In Russ.)]. Доступно по: <http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst14-pdf.pdf>. Ссылка активна на 29.04.2021.
 9. Красковский В.Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии / Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14. Труды 2-й Международной научной конференции. 17-20 июня 2014 года; СПб. Под ред. проф. Антонова Ю.Ф. – Киров: МЦНИП, 2014 г. – С. 75–80. [Kraskovskij VE. Obshhie voprosy proektirovanija iskusstvennyh sooruzhenij na dorogah s ispol'zovaniem magnitolevitacionnoj tehnologii. Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tehnologii. МТСТ'14. Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. 2014 june 17-20; St. Petersburg. Киров: МСНИП, 2014. p. 75–80. (In Russ.)]. Доступно по: <http://mtstpgups.ru/files/trudy-mtst14-pdf.pdf>. Ссылка активна на 29.04.2021.
 10. Antlauf W, Bernardeau FG, Coates KC. Fast track. *Civil Engineering Magazine*. Vol. 74. Num. 11 [cited 29 April 2021] Available from: <https://http://www.pubs.asce.org/ceonline/ceonline04/1104feat.html>.
 11. Юницкий А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в космосе. Гомель, 1995. 337 с. [Junickij AJe. Strunnye transportnye sistemy: na Zemle i v kosmose. Gomel', 1995. 337 p. (In Russ.)].
 12. Юницкий А.Э. Публикации. [Anatoli Unitski. Publication [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://unitsky.engineer/author>. Ссылка активна на: 03.05.2021.
 13. Патент РФ на изобретение № 2536564/ 24.05.2013. Бюл. № 36. Яшнов А.Н., Суляев А.П. Способ монтажа рельса транспортной системы. [Pat. RUS № 2014712/ 15.06.94. Vyul. № 36. Yashnov A.N., Suljaev A.P. Sposob montazha rel'sa transportnoj sistemy. Available from: <https://patenton.ru/patent/RU2536564C1> (In Russ.)]. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2536564C1>. Ссылка активна на: 05.05.2021.
 14. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под ред. А.А.Берлина.

– СПб.: Профессия, 2008. – 560 с. [Kerber ML, Vinogradov VM, Golovkin GS, et al. *Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tekhnologiya: ucheb. posobie*. Berlin AA, editor. Saint-Petersbourg: Professiya; 2008. 560 p. (In Russ.)].

15. Zoghi M, editor. *The international handbook of FRP composites in civil engineering*. CRC Press; 2013. 706 p.

Сведения об авторах:

Яшнов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4319-4860; ORCID: 0000-0001-7435-3376; Scopus ID: 57204686937;
E-mail: yan_andr@mail.ru

Иванов Артем Николаевич, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 3895-8272; ORCID: 0000-0003-4445-6782;
E-mail: a.n.ivanov1@mail.ru

Information about the authors:

Andrey N. Yashnov, candidate of technical sciences, associate professor;
eLibrary SPIN: 4319-4860; ORCID: 0000-0001-7435-3376; Scopus ID: 57204686937;
E-mail: yan_andr@mail.ru

Artem N. Ivanov, candidate of technical sciences, associate professor;
eLibrary SPIN: 3895-8272; ORCID: 0000-0003-4445-6782;
E-mail: a.n.ivanov1@mail.ru

Цитировать:

Яшнов А.Н., Иванов А.Н. Струнные пролетные строения для магнитолевитационного транспорта // *Инновационные транспортные системы и технологии*. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 158–168. doi: 10.17816/transsyst202173158-168

To cite this article:

Yashnov AN, Ivanov AN. String superstructures for maglev transport. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):158-168. doi: 10.17816/transsyst202173158-168