УДК 625.7

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-181-188

© Г. В. Иголкин, аспирант
(Петербургский государственный университет
путей сообщения)

E-mail: igolkin.georgii@gmail.ru

© П. А. Пегин, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: ppavel.khv@gmail.com

© G. V. Igolkin, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Railway Transport)

E-mail: igolkin.georgii@gmail.ru

© P. A. Pegin, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: ppavel.khv@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ ПОНЯТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА (ИСВНТ) В МОДЕЛИ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

FORMATION OF THE CONCEPT OF INNOVATIVE HIGH-SPEED GROUND TRANSPORTATION SYSTEMS (IHSCTS) IN THE MODEL OF MODERN ECONOMY

Сформулировано понятие инновационных систем высокоскоростного наземного транспорта — систем, которые будут внедрены в промышленный комплекс в результате естественных процессов Четвертой промышленной революции. Перечислены основные критерии и требования к системам. Проанализирован опыт разработок в данном направлении. Сделаны выводы о текущем состоянии внедрения подобных систем и перспективах применения на территории России.

Ключевые слова: Четвертая промышленная революция, рентабельность перевозок, инновационные системы высокоскоростного наземного транспорта (ИСВНТ), маглев, вакуумный поезд, hyperloop, поезд на воздушной подушке, поезд-экраноплан.

The article presents the concept of innovative high-speed land transport systems, namely, the systems that will be introduced into the industrial complex as a result of natural processes of the Fourth Industrial Revolution. Main characteristics and requirements to these systems are enumerated. The experience of development in this direction is analyzed. Conclusions about existing stage of introducing and using such systems in Russia are formulated.

Keywords: the Fourth Industrial Revolution, profitability of transportations, innovative high-speed ground transportation systems (IHSCTS), maglev train, vacuum train, hyperloop, air-cushion train, ram wing surface effect vehicle.

Рентабельные скоростные возможности грузового и пассажирского сообщения наземного транспорта

19 января 2017 года состоялось знаковое событие — в Лондон прибыл первый товарный поезд из Китая. Путь общей протяженностью 12 тыс. км занял 18 дней, состав проследовал через Казахстан, Россию, Белоруссию, Польшу, Германию, Бельгию и Францию¹. Поезд доставил в столицу Великобритании 34 контейнера с товарами широкого потребления, произведенными в Китае. Таким образом, Лондон стал

15-м европейским городом, с которым Китай установил прямое железнодорожное сообщение. По данным Yiwu Timex Industrial Investments, доставка груза по данному маршруту поездом в два раза дешевле, чем самолетом, и на две недели быстрее, чем морем. Поэтому данные составы в настоящее время курсируют еженедельно. А значимость и дальнейшее развитие подобных межгосударственных наземных перевозок не вызывают сомнений.

При этом, несмотря на все предпринимаемые меры для оптимизации грузопотока, маршрутные скорости на подобных транспортных

¹ В Лондон прибыл первый товарный поезд из Китая. URL: <http://www.bbc.com/russian/news-38667444>

коридорах не превышают 30 км/ч. Низкие маршрутные скорости — повсеместное явление, в России средняя маршрутная скорость составляет 15,25 км/ч². Подобные невысокие скорости на грузовом транспорте обусловлены:

- сложностью перераспределения транзитных потоков;
- недостаточной автоматизацией погрузочно-разгрузочных процессов;
- высокой грузонапряженностью современной железнодорожной сети.

При этом современная транспортная инфраструктура железнодорожных дорог достигла своего потенциального пика пропускной способности при текущих вычислительных мощностях. И дальнейшее увеличение маршрутных скоростей будет упираться в конструктивные особенности процессов, диктуемых особенностями конструкции железнодорожного транспорта.

Сходная ситуация наблюдается и в секторе пассажирских перевозок.

Традиционный железнодорожный транспорт исчерпал потенциал своего развития на скорости 350 км/ч главным образом по следующим причинам:

1. Потери за счет действия диссипативных сил трения, обусловленных технологией «коле-со — рельс».
2. Технические особенности токосяема — токоприемники подвергаются экспоненциальному износу при скоростях свыше 400 км/ч.
3. Повышенный износ инфраструктуры — необходимость применения демпфирующих матов и частые ремонты.
4. Повышенный износ эстакад — из-за большого расстояния между колесными парами наблюдается большое значение динамического коэффициента, рассчитанного по методикам Еврокода² — гипотетическое повышение скоростей до 500 км/ч требует значительного увеличения прочности и материалоемкости конструкций.

Очевидным выходом их сложившегося тупика является внедрение в современный транспортный комплекс качественно новых технологий, способных достигать существенно больших скоростей и обладающих большими возмож-

ностями для автоматизации производственных процессов.

Описание технологического состава рынка перевозок

Существующая система перевозок представлена следующими видами транспорта:

- авиация;
- железнодорожный транспорт;
- морской транспорт;
- автотранспорт;
- трубопроводы.

Различия данных видов транспорта по ключевым параметрам приведены в табл. 1 [1].

С учетом тех или иных особенностей перевозимых грузов/пассажиров тот или иной транспорт имеет своего потребителя, и данная система является устойчивой для современной экономики.

Определение понятия ИСВНТ

По мере развития технологий ситуация будет меняться. Сегодня в мировой экономике сошлись следующие тренды:

1. Ключевыми параметрами перевозок, которые имеют потенциал для улучшения, являются время и цена.
2. В Китае принята программа³ к 2020 году создать прототип транспорта, основанного на магнитолевитационной транспортной технологии, осуществляющего пассажирские и грузовые перевозки на скоростях свыше 600 км/ч.
3. Компания Virgin Hyperloop One привлекла сотни миллионов долларов инвестиций для строительства проектов в Индии и ОАЭ⁴.

Поэтому уже в ближайшем будущем мировую транспортную сеть ждет революционное увеличение рентабельных скоростей. При этом при достижении параметра в 600 км/ч новый тип транспорта в континентальной части станет сочетать в себе как преимущества поездов — низкую себестоимость перевозок, высокую пропускную способность, так и самолетов — высокую скорость.

Скоростной рубеж в 600 км/ч является той ключевой отметкой, которая позволит наземному транспорту в континентальной части при

³ Китай к 2020 году создаст прототип поезда на магнитной подушке со скоростью 600 км/ч. URL: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/kitay-k-2020-godu-sozdast-prototip-poezda-na-magnitnoy-podushke-so-skorostyu-600-km-ch/>

⁴ Компания Магомедова и Брэнсона создаст сверхскоростной поезд для Индии. URL: www.rbc.ru/business/18/02/2018/5a8974279a79478d1d313c71

² EN 1991-2:2003 (E) Eurocode 1: Actions on Structures — Part 2: Traffic Loads on Bridges.

Таблица 1

Сравнение эффективности различных видов грузового транспорта

Вид транспорта	Факторы, влияющие на выбор вида транспорта*					
	Время доставки	Частота отправок	Надежность соблюдения графика доставки груза	Способность перевозить разные грузы	Способность доставить груз в любую точку территории	Стоимость перевозки
Железнодорожный	3	4	3	2	2	3
Водный	4	5	4	1	4	1
Автомобильный	2	2	2	3	1	4
Трубопроводный	5	1	1	5	5	2
Воздушный	1	3	5	4	3	5

* Цифрами обозначен уровень фактора, соответствующий виду транспорта, где 1 — наилучшее сочетание, 5 — наихудшее.

рентабельном уровне затрат вытеснить авиационный на большем количестве направлений с плечами перевозок до 5000 км.

Этот факт подтверждается расчетом конкурентной скорости наземного транспорта над авиационным по параметру времени доставки. ИСВНТ покажет преимущество перед авиатранспортом при выполнении неравенства

$$\frac{L_{\text{маршрута}}}{v_{\text{ИСВНТ}}} \geq \frac{L_{\text{маршрута}}}{v_{\text{возд.суд}}} + t_{\text{задержки}}, \quad (1)$$

где $v_{\text{возд.суд}}$ — средняя маршрутная скорость воздушного судна, для большинства современных авиалайнеров $v_{\text{возд.суд}} = 800$ км/ч; $t_{\text{задержки}}$ — разница во времени на дорогу в аэропорт, досмотр и регистрацию между воздушным и наземным транспортом, $t_{\text{задержки}} = 2$ ч; $L_{\text{маршрута}}$ — рас-

стояние, на которое осуществляется перевозка, в данном случае переменная; $v_{\text{ИСВНТ}}$ — конкурентная скорость ИСВНТ.

На основании решения неравенства (1) построим график (рисунок), который иллюстрирует зависимость скорости ИСВНТ $v_{\text{ИСВНТ}}$ от расстояния перевозки $L_{\text{маршрута}}$.

При расстоянии перевозки в 5000 км, при котором удастся устойчиво связать большинство экономических центров России, скорость ИСВНТ равна 606 км/ч. Поэтому достижение рентабельности именно этой скоростной точки является своеобразным фазовым переходом от системы транспорта прошлого к качественно новой системе транспорта, которая приведет

Зависимость скорости ИСВНТ от расстояния перевозки

к трансформации практически всех отраслей экономики в целом.

При этом синхронизация параметров нового типа транспорта с экономическими особенностями промышленного комплекса государств, сочетающими в себе высокий уровень промышленного производства, консолидированность промышленно-экономических центров при больших расстояниях между ними (США, Россия, Китай), приведет:

- к существенному ускорению процессов создания стоимости (росту ВВП);
- развитию соответствующей технической и социальной инфраструктуры⁵;
- приросту ВВП за счет производного экономического эффекта от развития малого и среднего бизнесов [2].

Резюмируя вышеперечисленные факторы, государство, реализовавшее данный тип транспорта, получит существенные преимущества перед конкурентами. А широкое внедрение нового типа транспорта значительно трансформирует матрицу перевозок, определенную табл. 1.

Совокупность потенциальных видов данного транспорта может быть определена как инновационные системы высокоскоростного наземного транспорта (ИСВНТ). То есть ИСВНТ это системы, при которых:

- достигается рентабельная скорость наземных перевозок в 600 км/ч;
- происходит трансформация практически всех отраслей экономики за счет их внедрения.

При широком внедрении ИСВНТ в континентальной части в системе грузоперевозок произойдут изменения (табл. 2).

⁵ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

Существующие системы, обладающие потенциалом стать ИСВНТ

К настоящему моменту времени человечество обладает следующими концепциями, описанными и ревизованными в прототипах и полноразмерных моделях, которые могут стать ИСВНТ:

- магнитолевитационная транспортная технология;
- вакуумный поезд (hyperloop);
- поезда на воздушной подушке (aerotrain, hovertrain);
- поезда, использующие экранный эффект.

Объединяет все данные концепции отсутствие контакта между поездом и инфраструктурой за счет установленного посредством различных технических решений воздушного зазора, благодаря чему все эти технологии обладают существенными преимуществами и потенциалом перед традиционной технологией, основанной на контакте «колесо — рельс» [3]:

- пониженный износ инфраструктуры;
- увеличение рентабельного скоростного диапазона;
- большой потенциал к снижению энергопотребления.

При применении инновационных методов строительства [4] реализация подобных проектов возможна в настоящее время.

Ниже приведем краткий обзор вышеперечисленных технических решений.

Магнитолевитационная транспортная технология

Воздушный зазор между поездом и инфраструктурой возникает за счет электромагнитных сил притяжения или отталкивания. Движение происходит благодаря линейному двигателю, который в некоторых решениях выполняет также

Таблица 2

Изменения в системе грузоперевозок при внедрении ИСВНТ

Тип транспорта	Характер изменения
Железнодорожный	Перевозки на дальние расстояния исчезнут; локальное промышленное применение
Водный	Остаются востребованными трансокеанические перевозки
Автомобильный	Остаются актуальными перевозки на средние и малые плечи
Трубопроводный	Для ограниченного списка грузов, перевозимых трубопроводным видом транспорта, подобный вид перевозки останется наиболее рентабельным. Без изменений
Воздушный	В континентальной части останутся маршруты в труднодоступные районы

функции поперечной стабилизации и левитации. Первые патенты на данную технологию получены еще в XIX веке [5]. Сегодня наиболее развитыми технологиями являются Transrapid (Германия, треки в Эмсланде и Шанхае) и JR Maglev (Япония, трек в Яманаси).

Основными недостатками являются достаточно сложное и дорогостоящее оборудование и сопоставимый с высокоскоростными поездами уровень энергопотребления.

Тем не менее существует потенциал для нивелирования данных недостатков и на данный момент времени этот предшественник ИСВНТ имеет наибольшую популярность среди остальных.

В Японии в 2015 г. на поезде, основанном на технологии EDS, был установлен скоростной рекорд — 603 км/ч.

Низкоскоростные системы (до 200 км/ч) активно внедряются в пассажирские перевозки в Японии и Южной Корее (технология Linimo).

Китай продолжает разработку поезда, которой достигнет скорости 600 км/ч к 2020 году.

Вакуумный поезд (hyperloop)

Данный вид транспорта представляет собой грузовую/пассажирскую капсулу, размещенную в вакуумной трубе, благодаря чему исключается сопротивление воздуха при достижении высоких скоростей.

Этот вид транспорта получил широкую известность после внимания к нему самого эффективного менеджера Кремниевой долины Илона Маска. Однако идея подобного типа перемещения не является новой. Так, в 1864 г. англичанин Томас Вебстар Ремел построил трассу для движения пневматических поездов в Crystal Palace Park⁶. А в 1870 г. в Нью-Йорке предполагалось создать сеть метро на основе подобной технологии — под Бродвеем был построен рабочий пилотный участок. Однако последующей интеграции технологии в городскую систему транспорта помешал конфликт с властями, опасавшимися за сохранность фундаментов домов, под которыми должна была проходить трасса.

В XX веке было немало попыток реализации схожих проектов. Но большинство из них отклонили из-за больших затрат, необходимых на реализацию.

Hyperloop отличается от всех предшественников командным характером работы и более прогрессивной производственной базой. Работа над проектом выстроена так, что технологией занимается сразу несколько конкурирующих команд, что значительно ускоряет естественный отбор идей и решений. При этом разные команды предлагают различные технические решения, которые главным образом отличаются технологиями создания воздушного зазора и движения капсулы:

- магнитная левитация и линейный двигатель;
- воздушная подушка и воздушная турбина.

В настоящий момент происходят испытания прототипов системы.

Основными трудностями на данном этапе реализации проекта являются:

- обеспечение безопасности людей в трубе в случае внештатных ситуаций;
- экономия энергии;
- обеспечение повышенной устойчивости оснований;
- увеличение диаметра трубы для внедрения технологии в комплекс мультимодальных перевозок.

Поезда на воздушной подушке

Еще в конце 1924 г. в калужских железнодорожных мастерских Сызрано-Вяземской железной дороги под руководством инженера А. Л. Чижевского проводились опыты, которые должны были проверить одну из научных идей К. Э. Циолковского [6]. Константин Эдуардович предлагал для сверхбыстрого движения поездов «вдувать слой воздуха между основанием вагона и полотном» дороги. Проверка показала, что поток воздуха создает между днищем вагона и полотном дороги воздушную подушку, на которую и опирается бесколесный экипаж.

Однако первые рабочие прототипы этого необычного поезда появились во Франции в 1960-х годах.

Проект получил название «азротрен». Под руководством Жана Бертина между городами Саран и Руан была возведена тестовая 18-километровая трасса. Азротрен поставил на ней рекорд скорости для наземного пассажирского транспорта — 430 км/ч. При этом поезд на воздушной подушке, в отличие от магнитолевитационных аналогов, не был обременен сложным и дорогостоящим электротехническим оборудо-

⁶ The Broadway Pneumatic Underground Railway. URL: http://www.nycsubway.org/wiki/Beach_Pneumatic_Transit

ванием, и основная статья расходов при строительстве линий касалась возведения эстакад. В это же время в Великобритании шли работы над схожей технологией hovertrain. Вероятность строительства развитой сети данных поездов по всей Европе была достаточно высока. Но смерть Жана Бертина и появление поездов TVG привели к консервации проекта в 1974 году.

Поезда-экрanoпланы

В отличие от предыдущих систем, использующих преобразование дорогой энергии в воздушный зазор между поездом/капсулой и направляющим треком, поезд-экрanoплан использует для этой цели бесплатный экраный эффект.

Активные исследования данной концепции ведутся в Японии. Инженеры из Университета Тохоку в 2010 году предложили проект поезда такого типа⁷. В длину данный поезд составляет более 80 м, весит 70 т и способен перевозить более 300 пассажиров со скоростью 500 км/ч.

Энергию для движения поезда японцы предложили вырабатывать при помощи ветряков, расположенных вдоль пути.

При этом данный тип транспорта обладает существенными недостатками:

- сложности управления;
- высокая стоимость инфраструктуры;
- высокий уровень шума.

Анализ опыта и варианты внедрения ИСВНТ

Проанализировав вышеперечисленные концепции, можно сделать выводы, что в истории развития науки и техники были применены всевозможные концепции развития высокоскоростного транспорта. Но основной выгодоприобретатель скоростных трасс — правительства государств еще с XIX века проявляют настороженность и отдают предпочтение консервативной технологии «колесо — рельс». Основные причины этого:

1. Новые системы не могли быть полноценно интегрированы в уже существующую транспортную сеть железных дорог.

2. На момент появления многие проекты не могли быть полноценно реализованы из-за отсутствия соответствующей научно-технической базы.

3. Уровень и объемы производства могли быть обеспечены консервативными видами транспорта.

Но в настоящее время данные причины резко утрачивают актуальность.

Четвертая промышленная революция выдвигает качественно новые принципы ведения бизнеса и ведет к трансформации подавляющего большинства секторов экономики.

В сфере пассажирских перевозок большую значимость приобретает комфорт и удобство — потребителя не устраивают, с одной стороны, ограниченная скорость поездов — 350 км/ч, с другой — временные издержки на регистрацию и дорогу в аэропорт. Поэтому проект строительства hyperloop принят к реализации в ОАЭ и Индии, несмотря на скептические оценки по обеспечению безопасности и энергопотреблению.

Ведущие мировые державы — США и Китай ведут соревнование по наращиванию мощностей и эффективности промышленного производства. Поэтому для ускорения производственных процессов в Китае принимается программа разработки магнитолевитационных поездов, способных достигать 600 км/ч.

Анализ эффекта и возможности внедрения ИСВНТ в России

Россия — страна с самой большой территорией и рассредоточенными по ней консолидированными центрами, имеет самый большой экономический потенциал от строительства ИСВНТ на своей территории. Это и ускорение производственных процессов — рост ВВП на десятки триллионов рублей⁸, создание новых высококвалифицированных рабочих мест и другие положительные социальные экономические эффекты.

К настоящему времени все перечисленные технологии имеют в России своих последователей, а некоторые и реальные прототипы и кластеры.

Наиболее широко представлена магнитолевитационная транспортная технология — в рамках кластера «Российский маглев» предложены различные технические решения и пути их реализации [7].

⁷ Робот-экрanoплан призван на помощь летающему поезду.
URL: <http://www.membrana.ru/particle/16133>

⁸ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

Технология вакуумного поезда на воздушной подушке исследуется профессором В. М. Фридкиным [8].

Поезда-экрanoпланы исследовались специалистами СГУПС⁹.

Поэтому отечественные специалисты прекрасно осведомлены о принципах, заложенных в данные типы транспорта. На основе этого опыта и знаний программа разработки ИСВНТ в России может быть решена без непосредственных закупок зарубежных систем — дорогостоящих, но при этом, как показала практика, не добившихся коммерческого успеха.

При этом основная сложность при внедрении ИСВНТ в России ожидается в том же поле, что и при строительстве высокоскоростной магистрали Москва — Казань, — высокая консервативность и монополизированность транспортной отрасли. Разрешить эти противоречия в экономических условиях России можно только при создании полноценной программы разработки и внедрения технических решений ИСВНТ на государственном уровне, которая должна включать:

1. Открытие и финансирование лабораторий, исследовательских центров и кафедр, изучающих данную проблематику.

2. Реализацию прототипов, аналоговых моделей, полевые исследования.

3. Разработку нормативной документации.

4. Строительство пилотных трасс.

Выводы

Сформулированы основные принципы и обобщающее определение ИСВНТ, диктуемые транспортной отрасли Четвертой промышленной революцией [9]. Уже сегодня их значимость трудно переоценить. Новый способ быстрого наземного перемещения людей и грузов со средними скоростями, сопоставимыми с авиатранспортом, принесет огромные изменения в повседневную жизнь каждого человека и существенно трансформирует мировую экономику.

Наряду с этим проекты по строительству развитой сети ИСВНТ настолько масштабны, что не могут быть реализованы без сотрудничества государства, частного капитала и научного сопровождения. Поэтому налаживание данного диалога и реальных действий в области ИСВНТ

является ключевым моментом на текущем этапе решения реализации проекта.

Библиографический список

1. Гаджинский А. М. Логистика. 15-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2007. 472 с.

2. Мишарин А. С. Аспекты создания интегрированной сети скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 2 (51). С. 9–13.

3. Иголкин Г. В., Потапова И. О. Оптимизация параметров пролетного строения под магнитолевитационный транспорт, предназначенный для контейнерных перевозок // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. тр. LXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 18–25 апреля 2016 г. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. С. 155–162.

4. Быстров В. А. Инновационные подходы в теории и практике проектирования и определения ресурса мостов // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2013. С. 183–188.

5. Pegin P. A., Igolkin G. V. Analysis of innovative types of transportation // Technology and Art. 2017. № 8. Pp. 108–110.

6. Циолковский К. Соппротивление воздуха и скорый поезд. Калуга: 1-я гостип. ГСНХ, 1927. 72 с.

7. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология. СПб.: Физматлит, 2014. 476 с.

8. Фридкин В. М. Методологические подходы к разработке конструктивных форм большепролетных и сверхпротяженных инженерных сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2008. 434 с.

9. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. 230 с.

References

1. Gadzhinskiy A. M. *Logistika* [Logistics]. 15-th iss, revised and added. Moscow, Dashkov i K° Publ., 2007, 472 p.

2. Misharin A. S. *Aspekty sozdaniya integrirovannoy seti skorostnogo i vysokoskorostnogo soobshcheniya v Rossiyskoy Federatsii* [Aspects of creating an integrated network of high-speed and high-speed communication in the Russian Federation] *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2014, no. 2 (51).

⁹ «Сапсан» с крыльями. URL: <http://news.ngs.ru/more/1794151/>

3. Igolkin G. V., Potapova I. O. *Optimizatsiya parametrov proletnogo stroeniya pod magnitolevitatsionnyy transport, prednaznachenny dlya konteynernykh perevozok* [Optimization of add-in parameters for magnetogravitational vehicles intended for container transportation]. *Trudy LXXVI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh. 18-25 aprelya 2016 «Transport: Problemy, Idei, Perspektivy»* [Proc. of the LXXVI All-Russia sci. – tech. conf. of students, postgraduates and young scientists, 18-25 April 2016 "Transport: problems, ideas, prospects"]. St. Petersburg.: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2016. P. 155-162]. St. Petersburg, Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I Publ., 2016, pp. 155–162.

4. Bystrov V. A. *Innovatsionnye podkhody v teorii i praktike proektirovaniya i opredeleniya resursa mostov* [Innovative approaches in the theory and practice of designing and determining the resource of bridges]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva i puti ih ehffektivnogo resheniya»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. «Actual

problems of modern construction and ways of their effective solution»]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2013, pp. 183–188.

5. Pegin P.A., Igolkin G.V. Analysis of innovative types of transportation. *Technology and Art*. Vilnius, Vilnius College of Technologies and Design, 2017, pp. 108–110.

6. Tsiolkovskiy K. *Soprotivlenie vozdukha i skoryy poezd* [Air resistance and fast train]. Kaluga, GSNKh Publ., 1927, 72 p.

7. Antonov Yu. F., Zaytsev A. A. *Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya* [Magneto-gravitational transport technology]. St. Petersburg, FIZMATLIT Publ., 2014, 476 p.

8. Fridkin V. M. *Metodologicheskie podhody k razrabotke konstruktivnykh form bol'sheproletnykh i sverhprotyazhennykh inzhenernykh sooruzhenij. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodological approaches to the development of structural forms of large-span and super-heavy engineering structures. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2008, 434 p.

9. Shvab K. *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya* [The fourth industrial revolution]. Moscow, Ehksmo Publ., 2016, 230 p.