

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление - Транспортные и транспортно-логистические системы

УДК [UDC] 656.02

DOI 10.17816/transsyst2019545-15

© **А. М. Давыдов**

Российский университет транспорта

(Москва, Россия)

## МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Представлены результаты мониторинга изменений состояния и тенденций развития магнитолевитационных транспортных систем. Исследование проводилось на основе контекстного поиска релевантных документов в открытых глобальных библиографических и реферативных базах данных научных публикаций (Scopus, Web of Science), международных патентных базах (Google Patent, WIPO).

Получены статистические оценки скорости и интенсивности генерации новых технических и технологических решений. Эти оценки предлагается использовать в качестве инструментария для прогнозирования перспективных направлений исследований и разработки новых видов транспортных систем.

**Ключевые слова:** магнитная левитация, маглев, патентные исследования, публикационная активность, технологические ритмы.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Transport and Transport & Logistics Systems

© **A. M. Davydov**

Russian University of Transport

(Moscow, Russia)

## MONITORING OF CHANGES IN THE CONDITION AND TENDENCIES OF DEVELOPMENT OF MAGLEV TRANSPORTATION SYSTEMS

The results of monitoring of changes in development trends of maglev transportation systems are presented. The study was conducted on the basis of contextual search for relevant documents in open global abstract and citation databases of scientific publications (Scopus, Web of Science), international patent databases (Google Patent, WIPO).

Statistical estimates of the rate and intensity of generating new technical and technological solutions were obtained. These estimates are proposed to be used as a tool for forecasting promising areas of research and development of new types of transport systems.

**Keywords:** magnetic levitation, maglev, patent search, publication activity, technological rhythms.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование явления магнитной левитации для транспортировки людей и грузов вот уже более 100 лет рассматривается как прогрессивное технико-технологическое решение для создания принципиально новых высокоэффективных ресурсоэкономных и экологически безопасных транспортных средств и транспортных систем. В настоящее время такие системы находятся на различных этапах своего жизненного цикла. Некоторые из них находятся на этапе предварительных фундаментальных и прикладных исследований, технико-экономического обоснования и разработки, другие воплощены в действующих моделях, или ведутся испытания действующих образцов, некоторые уже введены в эксплуатацию.

Особенно важно в существующих условиях, когда статус магнитолевитационных транспортных систем не вполне определен, оценить потенциал их воздействия на устойчивое развитие, влияние на технологии и стандарты рельсового транспорта (железнодорожного, монорельсового, трубновакуумного и др.), а также выявить текущие тенденции и оценить их влияние на рыночные перспективы использования новых типов транспорта.

В этом отношении, полезным инструментом решения поставленной задачи является оценка скорости генерации новых технических и технологических решений, ключевых направлений диффузии инноваций, а также прогнозирование перспективных направлений исследований и разработки будущих транспортных систем. Оценка проводится на основе анализа патентной и публикационной активности открытых глобальных библиографических и реферативных баз данных научных публикаций (Scopus, Web of Science), международных патентных баз (Google Patent, WIPO). Некоторые результаты этих исследований представлены ниже.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На момент написания статьи (29 января 2019 г.) в патентной базе Google Patents по ключу поиска “magnetic levitation” находились 54565 патентных записей с 1911 г. и по настоящее время. TOP 1000 результатов по дате подачи заявки (наиболее ранние патенты) представлены на рис.1.

Динамика патентования изобретений в области магнитной левитации имеет явно выраженные закономерности волнообразного роста и спада активности, которые в терминологии Кузнецца (Kuznets S.), можно интерпретировать как проявление «технологических ритмов» [1].

Эти закономерности имеют место для различных временных интервалов (от 12 лет и больше).

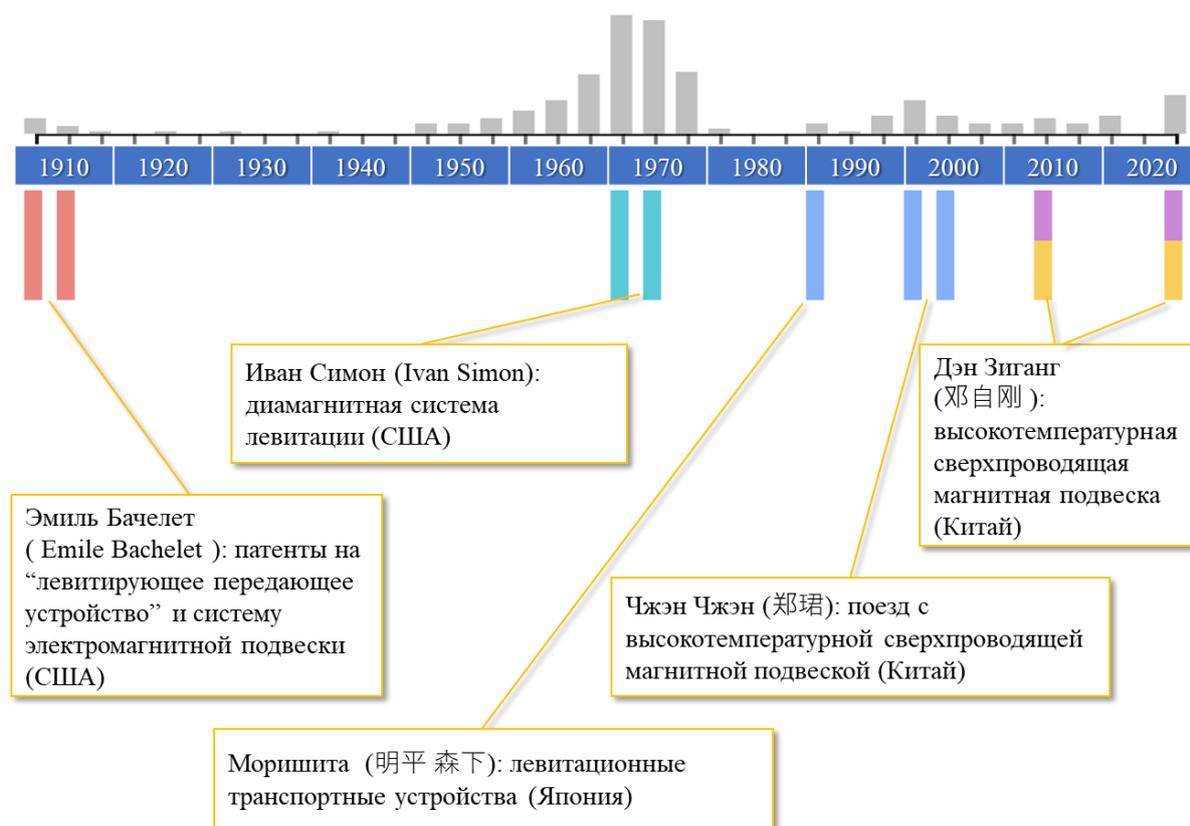


Рис. 1. TOP 1000 результатов по дате подачи заявки (наиболее ранние патенты) по ключу поиска “magnetic levitation”

Максимумы патентной активности, как правило, коррелируют во времени с началом очередного нового “технологического прорыва”. В рассматриваемом временном интервале это: создание левитирующих передающих устройств и системы электромагнитной подвески, разработка диамагнитной системы левитации, применение магнитного подвеса для нового типа пассажирских поездов; использование для этих целей высокотемпературной сверхпроводимости и т.п.

Частота максимумов патентной активности растет (в среднем удваивается за каждый период), что соответствует общей тенденции ускорения научно-технического прогресса. Тренды последних лет позволяют ожидать рост патентования изобретений в области магнитной левитации в ближайшие два-три года.

Анализ основных тематических областей патентования показывает, что основная часть патентов на изобретения (21,4 %) касается конструкций магнитной подвески для транспортных средств рельсового типа (индекс подкласса патентов В60L – далее при упоминании подклассов используется аббревиатура кодов совместной патентной классификации европейского и американского патентных ведомств: СРС).

Приоритетным направлением изобретательской деятельности являются также конструкции и способы применения подшипников, работающих на принципе магнитной левитации (СРС – F16C, 13,6 %). В ТОП 5 тематических областей (8 % и выше от общего числа патентов) входят:

- Системы железных дорог; оборудование для них (СРС – В61В);
- Электрические машины (СРС – H02K);
- Конструкции верхнего строения пути (СРС – E01В).

В целом, в подклассе В60L – “Электрооборудование транспортных средств с электротягой” наибольшую патентную активность среди стран мира демонстрируют США, Китай, Корея и Германия.

На более глубоком уровне систематизации патентов подкласса В60L в основной группе В60L 13/00 – «Системы электротяги для монорельсовых и подвесных транспортных средств или железных дорог с зубчатыми рельсами; магнитные подвески или левитационные устройства для транспортных средств», анализ патентной базы показывает следующие результаты (Рис. 2).

Начало заметной патентной активности в области создания транспортных систем с магнитной подвеской приходится на 1971-1974 гг. В этот период создаются первые системы Маглев: М-Bahn в Берлине, экспериментальный тестовый участок эстакады в Армении (бывшая республика СССР) и др. В дальнейшем изменения активности носят волнообразный характер с периодом циклов 18 лет.

Пики роста патентной активности в разные годы коррелируют во времени с достижениями науки и созданием благодаря этому новых революционных технологий (полупроводниковая электроника, сверхпроводящие материалы, использование возобновляемых источников электроэнергии, современные цифровые технологии и т.п.).

В 2016-2019 гг. наблюдается значительный рост патентной активности (более чем в два раза по сравнению с периодом 2013-2016 гг.). Это происходит, в основном, благодаря регистрации изобретений национальными патентными ведомствами Китая, Южной Кореи, России и США, а также Всемирной организацией интеллектуальной собственности (WO).

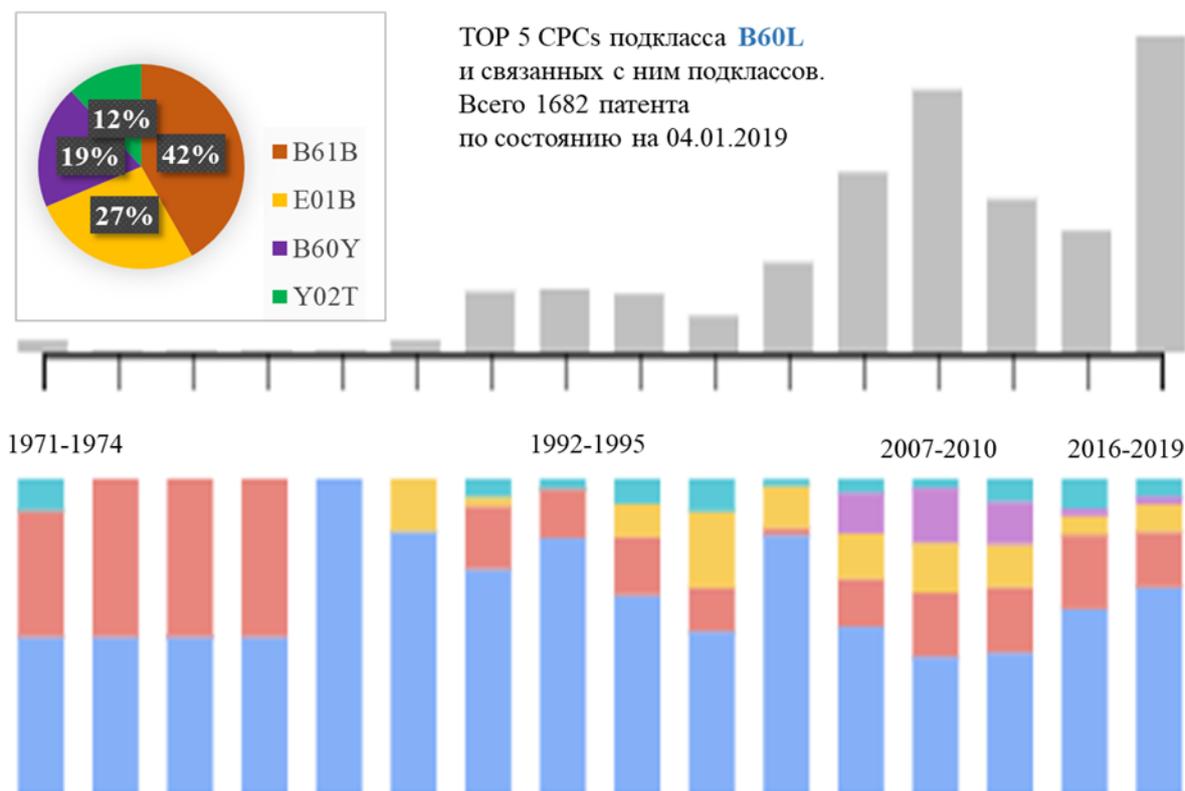


Рис. 2. TOP 1000 результатов (по релевантности) основной группы патентов B60L 13/00 – «Системы электротяги для монорельсовых и подвесных транспортных средств или железных дорог с зубчатыми рельсами; магнитные подвески или левитационные устройства для транспортных средств», а также TOP 5 CPCs подкласса B60L и связанных с ним подклассов патентов (круговая диаграмма).

Основные тематические области патентов в основной группе B60L 13/00:

- B60L 13/03: электротяга, создаваемая линейными двигателями;
- B60L 13/04: магнитные подвески или левитационные устройства для транспортных средств;
- B60L 13/06: средства для определения или управления положением транспортного средства или расположением его относительно железнодорожного пути;
- B60L 13/08: для бокового положения;
- B60L 13/10: сочетание электротяги и магнитных подвесок или левитационных устройств.

Основная доля изобретений (75 %) касается конструкции магнитной подвески. Тематическая область изобретений подгруппы B60L 13/04 обуславливает значительное число документов (9 %), патентующих новые конструкции магнитов; трансформаторов; выбора материалов, обеспечивающих магнитные свойства, в том числе сверхпроводящих магнитов (подгруппа H01F).

К числу областей изобретательской деятельности также относятся (в порядке убывания числа патентов):

- климатические технологии изменения климата, связанные с транспортировкой;
- поддерживающие или левитационные устройства с использованием магнитного притяжения или отталкивания;
- конструктивное выполнение электрических машин с целью управления ими;
- различные вращающиеся конструктивные элементы магнитной подвески, не являющиеся элементами передач;
- конструкции рам и тележки ходовой части и др.

Патентная активность в области использования эффектов сверхпроводимости для магнитной подвески нарастала, однако в последние годы идет на убыль: 2016 г. – 13, 2017 г. – 7, 2018 г. – 1.

ТОР правообладателей патентов в рассматриваемой сфере: Корея (Корейский научно-исследовательский институт железных дорог, Самсунг Электроникс Ко.); Япония (Хитачи, Ltd.); Китай (Юго-западный университет Цзяотун); Германия (Фесто).

В период 1986–2007 гг. наибольшее число объектов интеллектуальной собственности в сфере магнитолевитационных технологий имела Япония (Институт Интегрированных Технологий Железных Дорог и Токийская железнодорожная компания), однако с 2004 г. абсолютное лидерство захватили китайские университеты и железнодорожные исследовательские институты. В настоящее время наибольшую долю объектов интеллектуальной собственности в этой области имеют китайские университеты и научные институты (11,7 %). Второе место занимают японские научные институты и железнодорожные компании (6,4 %). Рост патентной активности упомянутых стран стимулирует разработка и реализация крупных инфраструктурных проектов транспортных систем маглев. По данным Международного совета Maglev, в настоящее время 11 проектов находятся в работе, 2 проекта остановлены, у 8 проектов статус пока не определен [2].

## **НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ МАГЛЕВ: ДИНАМИКА И ТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В целом, несмотря на условный характер различий между фундаментальными и прикладными исследованиями в области магнитной левитации, на основе анализа реферативных баз данных Web of Science, можно сделать вывод о существенной роли в цепочке R&D, помимо инженерных наук, прикладной физики и физики твердого тела. Это

свидетельствует о высокой наукоемкости соответствующих прикладных разработок.

Статистика тем публикаций свидетельствует, что основным направлением практического применения магнитолевитационных технологий было и остается транспортировка людей и грузов.

На Рис. 3 представлена динамика публикационной активности по вопросам магнитной левитации, которая демонстрирует устойчивый рост числа научных публикаций (использованы результаты статистической обработки базы данных Scopus). Рекордный прирост числа публикаций (около 150 за год) наблюдается в 2018 г.

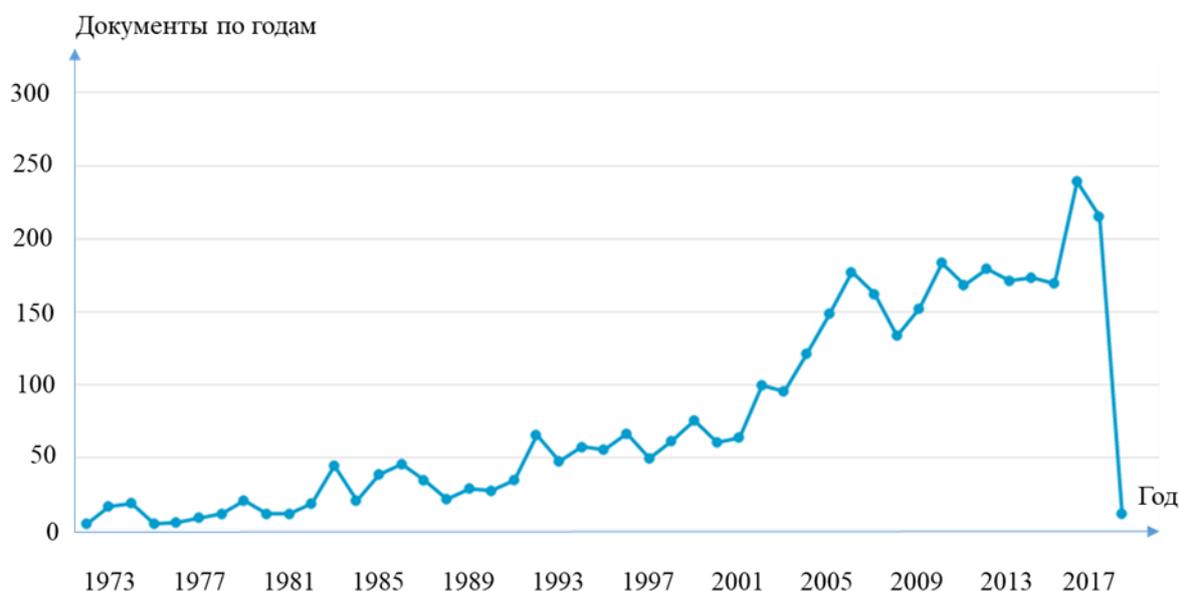


Рис.3. Динамика публикационной активности по вопросам магнитной левитации (использованы результаты статистической обработки базы данных Scopus).

По данным Scopus, наибольшее число публикаций в последние годы демонстрируют издания IEEE - Института инженеров электротехники и электроники (США). При этом, абсолютным лидером по числу научных публикаций является Китай - 1360, что превышает суммарные показатели США, Японии, Северной Кореи и Германии вместе взятых.

Что касается типа публикаций в тематической области маглев, то число научных статей оказывается сопоставимым с опубликованными тезисами докладов научных конференций. В этом отношении, можно особо отметить существенный вклад в развитие исследований научных конференций, проводимых под эгидой Международного совета по магнитной левитации (International Maglev Board (IMB) [3].

Имеет место очевидная корреляция между публикационной активностью и патентной активностью ведущих научных центров. В настоящее время лидерами по числу публикаций в сфере развития

магнитолевитационных технологий среди ведущих исследовательских центров являются университеты Китая, а также японская корпорация Интегрированных технологий железных дорог (UR).

## ПРИОРИТЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МАГЛЕВ

До 30 % патентов в области технологий маглев имеют новации, позволяющие получить эффекты снижения расходов на техническое обслуживание подвижного состава, 15 % - снижения инвестиционных затрат на инфраструктуру транспортных систем, 10 % - снижения негативного влияния на окружающую среду; 8 % - повышения энергоэффективности.

Исследовательские задачи по повышению экономической эффективности высокоскоростных магнитолевитационных транспортных систем оцениваются экспертами как наиболее важные [4], в то же время, число публикаций на эту тему незначительно (за исключением вопросов энергоэффективности – 7 %). Половина всех публикаций так или иначе затрагивает вопросы дизайна и эстетики поездов (51 %) и путевой инфраструктуры (9 %).

Далее приводятся данные патентных исследований и анализа научных публикаций по отдельным прикладным направлениям использования маглев.

**Высокоскоростные транспортные системы с магнитным подвесом (Maglev train).** Ключевые правообладатели патентов в этой сфере: Юго-западный университет Цзяотун (Китай), Национальный оборонный научно-технический университет Народно-освободительной армии (Китай), Китайская Железнодорожная Четвертая Группа Инженерно-Исследовательских Институтов (Ltd), Пекинская Компания по Развитию Технологий Магнитной Подвески (Ltd), Корейский научно-исследовательский институт железных дорог.

Число публикаций и патентов в последние 5 лет имеет тенденцию к существенному росту, в основном за счет исследователей Китая, США, Кореи и Германии. Основные тематические области исследований: инженерия – 53,2 %; цифровое моделирование – 7,9 %; физика и химия материалов – 7,8 %; социальные науки – 7,6 %; математические модели – 4%; энергетика – 2,3 %.

По числу публикаций самые активные: Национальный университет оборонных технологий (Китай), Университет Цзяотун (Китай), Университет Тундзи (Китай), Исследовательский институт железнодорожной техники (Япония).

**Трубно-вакуумный транспорт на основе технологий маглев (ЕТЗ).** Период закрепления прав интеллектуальной собственности на магнитолевитационную технологию транспортировки ЕТЗ приходится на 1995-1998 гг., далее спад, и только после 2013 г. активность вновь возрождается высокими темпами. Ключевые правообладатели патентов в этой сфере: Дэрил Остер (США), Чжан Вэньсян (Китай), компания Et3.Com.Inc., Даляньский университет Цзяотун (Китай).

Публикационная активность по отраслям знаний характеризуется значительной долей публикаций социальной направленности и различных аспектов физики процессов транспортировки по вакуумной трубе (соответственно 14,4 % и 13 %). По числу публикаций самые активные: Университет Цзяотун (Китай), ЕТЗ.COM.INC. (международный альянс), Пекинский университет.

**Трубно-вакуумный транспорт на основе технологий Hyperloop.** Резкий всплеск патентной и публикационной активности проекта Hyperloop начинается в 2006 г. и продолжается в настоящее время.

Ключевые правообладатели патентов в этой сфере: компании Hyperloop Technologies, Inc., Ford Global Technologies, Llc, Amazon Technologies, Inc, Hyperloop Transportation Technologies, Inc., а также Корейский институт строительных технологий.

Характерной особенностью публикаций по отраслям знаний является большая их доля в сфере инженерии – 47,8 % и бизнеса – 10 %. Наибольшее число авторов публикаций из Америки, Англии, Канады и Северной Кореи.

По числу публикаций самые активные научные центры: Университет Пердью (США), Технологический университет в Делфте (Нидерланды), Массачусетский технологический институт (США), Исследовательский центр НАСА Гленн.

**Городской транспорт на основе технологий Maglev (Urban Maglev – Monorail, SkyTran System).** Патентная и публикационная активность в этом направлении с 2000-х годов демонстрирует стабильный рост, что, видимо, имеет связь с реализацией ряда проектов монорельсовых дорог в странах Азии и Америки.

Ключевые правообладатели патентов в этой сфере: Корейский научно-исследовательский институт железных дорог, Китайская Железнодорожная Четвертая Группа Инженерно-Исследовательских Институтов, Ltd, Юго-западный университет Цзяотун (Китай), Национальный оборонный научно-технический университет (Китай), Пекинский университет Цзяотун.

Характерной особенностью публикаций по отраслям знаний является большая их доля в сфере инженерии – 57,9 % и в сфере социальных наук –

10,5 %. Наибольшее число авторов публикаций из Америки, Китая, Северной Кореи и Гонг Конга.

По числу публикаций самые активные научные центры: Министерство образования Китая, Пусанский национальный университет (Корея), Корейский научный электротехнологический институт.

**Лифты на основе магнитолевитационных технологий (Maglev Elevator).** Максимум патентной и публикационной активности приходится на 2013-2016 гг. Ключевым правообладателем патентов в области магнитолевитационных лифтов являются японские корпорации Мицубиши, Хитачи, Тошиба, а также финская корпорация KONE.

Характерной особенностью публикаций по отраслям знаний является значительная доля (55,6 %) статей в сфере инженерии и компьютерного моделирования устройств и процессов (7,9 %). Наибольшее число авторов публикаций из Китая, США и Германии.

По числу публикаций самые активные организации: Шеньянский технологический университет (Китай) и Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена (Германия).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье результаты анализа патентной и публикационной активности в области исследований и разработок магнитолевитационных транспортных систем, могут быть рекомендованы для использования в качестве инструмента оценки скорости генерации новых технических и технологических решений, определения ключевых направлений диффузии инноваций, анализа рынка, а также прогнозирования перспективных направлений исследований и разработки будущих транспортных систем.

## БЛАГОДАРНОСТИ

При подготовке статьи автором использованы результаты патентных исследований проведенных в ходе выполнения в Российском университете транспорта научно-исследовательской работы по теме «Предварительное исследование новых типов транспортных систем рельсового типа и их влияния на устойчивое развитие, технологии и стандарты железнодорожного транспорта (NEWTRANSYS)».

Работа выполнялась по заказу Азиатско-Тихоокеанской региональной ассамблеи Международного союза железных дорог (UIC Asia-Pacific Regional Assembly).

**Автор заявляет, что:**

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES**

1. Kuznets S. Secular Movements in Production and Prices. Their Nature and their Bearing upon Cyclical Fluctuations. Boston: Houghton Mifflin, 1930.
2. Maglevboard – The International Maglev Board [cited 17.01.2019]. Available from: <https://www.maglevboard.net/en/>
3. Maglevboard – Конференции [cited 17.01.2019]. Available from: <https://www.maglevboard.net/ru/conferences>
4. Maglevboard – Wenk M, Klühspies J, Blow L, Kircher R, et al. Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail [cited 30.01.2019]. Available from: <https://www.maglevboard.net/ru/forschung-ru>

**Сведения об авторе:**

Давыдов Алексей Михайлович, кандидат технических наук, доцент;  
адрес 117556, Москва, Болотниковская ул., д.5/3;  
eLibrary SPIN: 7942-6055; ORCID: 0000-0002-6263-846X;  
E-mail: letterdam@mail.ru

**Information about the author:**

Davydov Alexey Mikhailovich, candidate of technical Sciences, associate Professor;  
address 117556, Moscow, Bolotnikovskaya str., 5/3;  
eLibrary SPIN: 7942-6055; ORCID: 0000-0002-6263-846X;  
E-mail: letterdam@mail.ru

**Цитировать:**

Давыдов А.М. Мониторинг изменений состояния и тенденций развития магнитолевитационных транспортных систем. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 5–15. doi: 10.17816/transsyst2019545-15

**To cite this article:**

Davydov AM. Monitoring of Changes in the Condition and Tendencies of Development of Maglev Transportation Systems. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(4):5-15. doi: 10.17816/transsyst2019545-15