INNOVATIONS IN TECHNOLOGY AND SCIENCE EDUCATION
ISSN 2181-371X
https://sr-journals.org/index.php/ITSE



УДК 629.4

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО МАГЛЕВА В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

Ахмедов А.П., Худойберганов С.Б., Каюмов С.Н., Турсунбаев Ж.Б.
Ташкентский государственный транспортный университет, УзР, г.Ташкент

Аннотация: В статье рассмотрены перспективы внедрения подземного магнитолевитационного транспорта (маглев) в Республика Узбекистан. Проанализированы принципы работы магнитолевитационных систем, конструктивные особенности подвижного состава и путевой инфраструктуры, а также основные типы магнитного подвеса – электромагнитный и электродинамический. Особое внимание уделено преимуществам подземного размещения маглев-линий, включая снижение аэродинамического сопротивления, уменьшение шума и вибраций, повышение энергоэффективности и эксплуатационной безопасности. Рассмотрен зарубежный опыт применения маглев-технологий, в частности проекты, реализуемые в Китай. На основе сравнительного анализа маршрутов Ташкент–Самарканд, Ташкент–Бухара и Ташкент–Хива выполнена оценка экономической эффективности внедрения маглев-системы в условиях Узбекистана. Установлено, что реализация подземных маглев-линий способна обеспечить значительный рост транспортной прибыли, развитие туристической отрасли и повышение качества высокоскоростных пассажирских перевозок.

Ключевые слова: маглев, магнитолевитационный транспорт, подземный транспорт, электромагнитная левитация, высокоскоростные перевозки, вакуумный тоннель, линейный двигатель, электродинамический подвес, электромагнитный подвес, транспортная инфраструктура, энергоэффективность, туризм, Узбекистан.

Abstract: This article examines the prospects for implementing underground magnetic levitation (maglev) transport systems in Uzbekistan. The operating principles of maglev systems, the structural features of rolling stock and guideway infrastructure, as well as the main types of magnetic suspension – electromagnetic and electrodynamic – are analyzed. Particular attention is paid to the advantages of underground maglev placement, including reduced aerodynamic resistance, lower noise and vibration levels, improved energy efficiency, and enhanced operational safety. International experience in the application of maglev technologies, especially projects implemented in China, is also considered. Based on a comparative analysis of the Tashkent–Samarkand, Tashkent–Bukhara, and Tashkent–Khiva routes, the economic efficiency of introducing maglev systems under the conditions of Uzbekistan is evaluated. The study demonstrates that the construction of underground maglev lines can provide significant growth in transport revenues, stimulate tourism development, and improve the quality of high-speed passenger transportation.

Keywords: maglev, magnetic levitation transport, underground transport, electromagnetic levitation, high-speed transportation, vacuum tunnel, linear motor, electrodynamic suspension, electromagnetic suspension, transport infrastructure, energy efficiency, tourism, Uzbekistan.

Подземный маглев – перспективный вид высокоскоростного транспорта, использующий электромагнитную левитацию для движения в тоннелях без трения. В отличие от надземных линий, подземные варианты, включая проекты вакуумных поездов, исключают шум, аэродинамическое сопротивление и внешнее воздействие погоды, потенциально развивая скорости свыше 600–800 км/ч.

Основные характеристики подземных маглев-систем:

Технология магнитолевитационного транспорта основана на удержании и перемещении поездов посредством электромагнитного поля (постоянных магнитов или сверхпроводников), что исключает механическое трение о полотно, обеспечивает достижение высоких скоростей до 600–700 км/ч, снижает энергопотребление в режиме левитации и уровень магнитного излучения, а также позволяет эффективно применять данную систему в тоннелях и вакуумных трубах для организации грузовых и высокоскоростных пассажирских перевозок, что подтверждается эксплуатацией линии в Шанхай и реализацией перспективных проектов средне- и низкоскоростных маглев-линий в Китай, включая район Цинъюань.

Подземные маглевы рассматриваются как будущее общественного транспорта, позволяющее кардинально сжать время в пути между мегаполисами за счет подземной инфраструктуры [1].

Подземный маглев – это высокоскоростная транспортная система, использующая магнитную левитацию (парение) для движения поезда внутри тоннеля без трения о рельсы. Система состоит из поезда с электромагнитами, путевой структуры с обмотками и, часто, вакуумированного тоннеля для устранения аэродинамического сопротивления, что позволяет развивать скорость свыше 500 -600 км/ч.

Устройство подземного маглева

Подвижной состав магнитолевитационного транспорта включает подвешивающие магниты, расположенные в нижней части поезда и создающие электромагнитное поле для формирования левитационного зазора 15-100 мм, направляющие магниты для стабилизации положения состава относительно путевой структуры, а также сверхпроводниковые катушки в криостатах с охлаждением жидким азотом или гелием, обеспечивающие генерацию сверхсильных магнитных полей; при этом путевая структура содержит линейный двигатель с распределёнными вдоль полотна обмотками статора, формирующими бегущее магнитное поле для тяги поезда, и магнитные рельсы, взаимодействующие с магнитной системой состава, тогда как в подземных и вакуумированных тоннелях типа Hyperloop дополнительно реализуются системы снижения аэродинамического сопротивления и электромагнитного экранирования, а функционирование комплекса базируется на принципах электромагнитного подвеса (EMS), при котором поезд притягивается к направляющей, и электродинамического подвеса (EDS), основанного на отталкивании вследствие индуцированных токов, что обеспечивает высокую скорость движения, минимальный уровень шума и вибраций, экологическую безопасность, снижение износа элементов конструкции и устойчивость эксплуатации независимо от внешних климатических воздействий.

Ключевым недостатком является очень высокая стоимость строительства тоннелей и путевой инфраструктуры [2].

В Китае провели первые испытания линии подвесного маглева, работающего на постоянных магнитах. Это первый масштабный прототип третьего направления развития таких поездов. Линия «Красной железной дороги» длиной всего 800 м построена в городском округе Ганьчжоу провинции Цзянси на юге Китая. Несмотря на то, что технологии строительства маглевов развиваются уже более 100 лет, в настоящее время небольшие коммерческие участки подобных дорог созданы только в Японии, Китае и Южной Корее. Линия подвесного маглева «Радуга» работает на постоянных магнитах, а сам состав при этом находится под направляющей, а не над ней. Преимущество такой системы в том, что для левитации поезда не требуется электроэнергии. Если его оставить в покое, он будет находиться в подвешенном состоянии вечно. В отличие от обычной трассы на магнитной подвеске, для которой требуются электромагниты, линия «Радуга» основаны на сплавах редкоземельных металлов. Они создают магнитные поля с индукцией более 1,2 Тл. У обычного железного или керамического магнита для сравнения она составляет от 0,5 до 1 Тл. Материалы, которые использовались для строительства линии, относительно дешевы. Тестовый полигон разработан для поездов со средней скоростью: максимальная расчетная скорость системы составляет всего 80 км/ч. Этого

достаточно для внутригородских и пригородных перевозок в густонаселенных районах. Силы магнитов, которые использовались в конструкции линии, хватает для обслуживания поезда, состоящего из двух вагонов, которые могут вмещать до 88 человек.



Рис.1. Поезд на линии «Радуга». Фото: агентство «Синьхуа»

Технология создания маглева на постоянных магнитах – это третье направление развития этого вида транспорта. Две другие системы используют электрические (поезда на электромагнитной подвеске) или сверхпроводящие магниты (поезда на электродинамической подвеске).

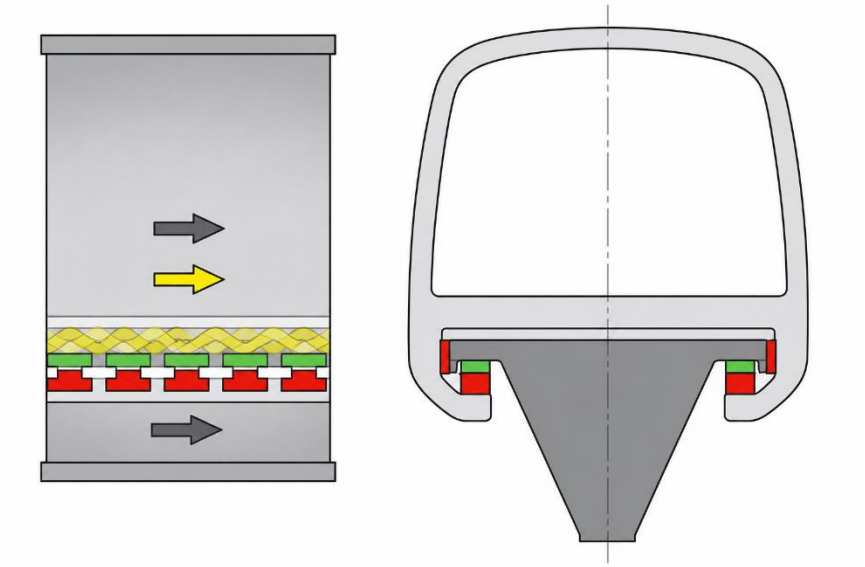


Рис.2. Схема поезда на электромагнитной подвеске.

Поезд парит над стальным рельсом с помощью электромагнитов, размещенных на дне состава в системах с электромагнитной подвеской. К нижней части корпуса таких поездов крепятся рычаги в форме буквы «С», причем верхняя часть рычага прикреплена к транспортному средству, а нижний внутренний край содержит магниты. Рельс проходит между внутренним и внешним краем рычага. Недостаток такой технологии в большой нестабильности. Магнитное притяжение изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Даже незначительные изменения расстояния между магнитами и рельсом сильно влияет на силу притяжения и отталкивания. Поэтому в такой системе используются сложные системы для «возврата» поезда в нужное положение. Они постоянно контролируют и корректируют расстояние между магнитами и рельсом.



Рис.3. Бирмингемский маглев.

Маглев на магнитной подвеске может работать не только на низких, но и на высоких скоростях. Например, именно эту технологию используют поезда Шанхайской линии. Эта система, запущенная в 2003 году, – старейший маглев из тех, что еще эксплуатируются, и первый коммерческий высокоскоростной поезд на магнитной левитации. В отличие от электромагнитной подвески, поезда на электродинамической подвеске используют магниты, которые установлены не только в поезде, но и на самом рельсе. В таком маглеве сверхпроводящие магниты подвешивают вагон над U-образной бетонной направляющей. Как и обычные магниты, эти магниты отталкиваются друг от друга, когда совпадающие полюса обращены друг к другу. Используемые магниты являются сверхпроводящими, а это означает, что при охлаждении до низких температур они могут генерировать магнитные поля в 10 раз сильнее, чем обычные электромагниты. Эти магнитные поля взаимодействуют с простыми металлическими петлями, установленными в бетонных стенках направляющей маглева. Они сделаны из проводящих материалов, таких как алюминий, и когда магнитное поле поезда проходит мимо, оно генерирует электрический ток, который формирует другое магнитное поле.

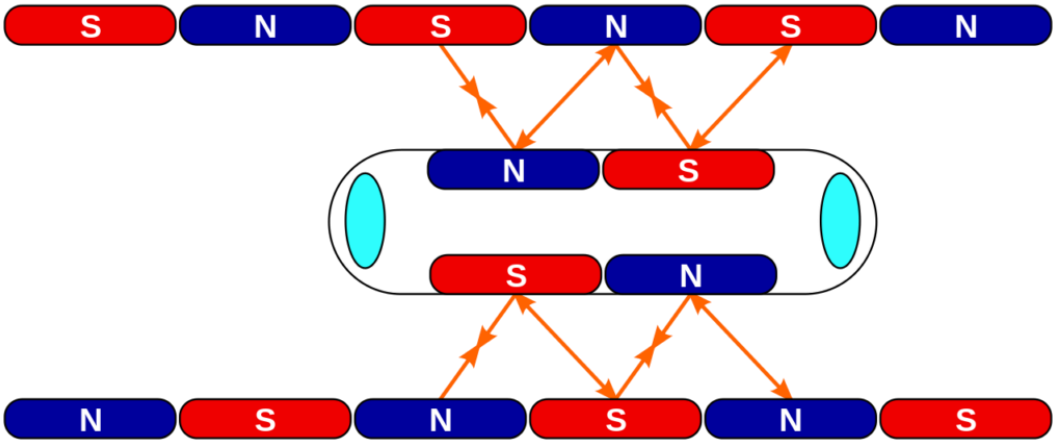


Рис.4.Схема поезда на электродинамической подвеске.

Три типа петель устанавливаются на направляющей через определенные промежутки времени для выполнения трех важных задач. Во-первых, они создают поле, которое заставляет поезд зависать на расстоянии в несколько сантиметров над направляющей. Во-вторых, удерживают состав в вертикальном положении. А в-третьих, двигают поезд вперед.

У таких поездов есть ряд преимуществ перед классическими поездами. Они могут развивать более высокие скорости, потребляют меньше энергии и меньше зависят от погодных условий таких, как снег или дождь.

Возможности строительства собственных линий маглева рассматривают многие страны [3-5].

В условиях Узбекистана целесообразно проложить линии маглев под землей. Потому что, в летний период обычно очень жарко (около 40-45^{0}C), и потребляется большая электроэнергия для кондиционирования вагонов маглева [6,7]. Кроме того, подземный вариант маглева обеспечивает безопасность пассажиров во время поездки. Дополнительные возможности данного проекта:

- Вакуумированный тоннель для устранения аэродинамического сопротивления;
- Возможность проложения наземного скоростного шоссе над тоннелом для наземного транспорта.

Таблица-1

№	Маршрут следования / Характеристики		Ташкент – Самарканд		Ташкент – Бухара		Ташкент – Хива	
			Афро-сиёб	Маг-лев	Афро-сиёб	Маг-лев	Афро-сиёб	Маг-лев
1	Протяженность маршрута, км		268		557		972	
2	Средняя скорость поезда, км/час		110	500	110	500	110	500
3	Среднее время в пути, час		2	0,5	4	1	8	2
4	Количество туристов , млн в год		5,0		4,2		2,5	
5	Примерная стоимость проезда , в тысяч.сумах	Эконом	245	980	509	2036	403	1612
		Бизнес	360	1440	760	3040	600	2400
		VIP	554	2160	1130	4520	890	3560
6	Средние транспортные расходы на одного туриста (туда и обратно) в тысяч.сумах		770	3000	1600	6400	1260	5000
7	Средние транспортные расходы на всех туристов (туда и обратно) в млн.сумах		3850 000	15000 000	6720 000	26880 000	3150 000	12500 000

Из представленных в таблице данных следует, что внедрение системы магнитолевитационного транспорта (маглев) в железнодорожной отрасли Узбекистана, обусловленное ростом потока иностранных и внутренних туристов в города Самарканд, Бухара и Хива, обеспечивает значительный экономический эффект. Годовая прибыль по маршруту Ташкент–Самарканд составляет 2310 млрд сум, по маршруту Ташкент–Бухара — 20160 млрд сум, а по направлению, связанному с Хивой, — 9450 млрд сум в год. Таким образом, совокупный объём транспортной прибыли от внедрения системы маглев в Узбекистан достигает 31920 млрд сум ежегодно. Часть полученной прибыли может быть направлена на

компенсацию капитальных затрат, связанных со строительством и развитием маглев-инфраструктуры на территории республики, что свидетельствует о целесообразности и экономической рентабельности прокладки подземных линий магнитолевитационного транспорта в условиях Узбекистана.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki
2. https://www.google.com/search
3. https://habr.com/ru/articles/374933/
4. https://www.advantour.com/rus/uzbekistan/uzbekistan_railways.htm
5. Sardorbek Khudoyberganov, Abduraxmon Akhmedov, Anvar Jabbarov; Using solar and wind energy sources to power bus stations. *AIP Conf. Proc.* 4 November 2025; 3331 (1): 030109. https://doi.org/10.1063/5.0305920
6. https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/160044/291-293.pdf?sequence=1
7. Akhmedov A. P., Khudoyberganov S. B. Generation of electricity with the help of wind and solar on the route of Tashkent overground metro trains //International Conference on Thermal Engineering. – 2024. – Т. 1. – №. 1.