

## Рубрика 1: ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

УДК [UDC] 629.438.4

DOI 10.17816/transsyst20195336-44

© В. А. Богачев<sup>1</sup>, Ю. А. Терентьев<sup>2</sup>, В. В. Коледов<sup>3</sup>, Т. В. Богачев<sup>4</sup><sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения<sup>4</sup>Ростовский государственный экономический университет

(Ростов-на-Дону, Россия)

<sup>2</sup>Независимый эксперт<sup>3</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

(Москва, Россия)

**НОВЫЕ ДЖУНГАРСКИЕ ВОРОТА  
ДЛЯ ВАКУУМНОГО МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО  
ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА:  
ИСТОРИЧЕСКАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ**

**Обоснование:** Продолжаются исследования комплекса вопросов, которые возникают в связи с прокладкой трансконтинентального высокоскоростного наземного транспортного коридора, функционирующего на базе вакуумных магнитолевитационных технологий и связывающего восточные районы Китая с Россией. В рамках задачи вариационного исчисления рассматриваются геополитическая, экономическая, социальная, логистическая, географическая, геоморфологическая и топографическая составляющие проекта, в котором предполагается, что магистраль пройдет через северо-западную часть исторической области Джунгария.

**Цель:** Найти оптимальный вариант расположения важнейшего участка магистрали, проходящего через Центральную Азию.

**Методы:** Вариационные методы решения поставленной оптимизационной задачи с использованием системы компьютерной математики.

**Результаты:** После создания достаточно информативной и разносторонней картины рассматриваемого региона строятся основы соответствующих математических моделей.

**Выводы:** Новые Джунгарские Ворота являются ключевым моментом при выборе местоположения высокоскоростного наземного маршрута, функционирующего на основе ВМЛТ.

**Ключевые слова:** Высокоскоростные наземные транспортные коридоры, технологии магнитной левитации, критерии оптимальности, задача вариационного исчисления, пакеты программного обеспечения.

---

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания при частичной поддержке РФФИ, грант № 17-20-04236

## Rubric 1 . TECHNOLOGIES AND PROJECTS

© V. A. Bogachev<sup>1</sup>, Y. A. Terentyev<sup>2</sup>, V. V. Koledov<sup>3</sup>, T. V. Bogachev<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Rostov State Transport University

<sup>4</sup> Rostov State University of Economics

(Rostov-on-Don, Russia)

<sup>2</sup> Independent expert

<sup>3</sup> Institute of Radioengineering and Electronics of RAS

(Moscow, Russia)

### NEW DZUNGARIA GATES FOR WMLT-CORRIDOR: HISTORICAL NECESSITY

**Background:** Research is ongoing relating to the analysis of a set of issues that arise in connection with the creation of the operating on the basis of vacuum magnetic technologies a transcontinental high-speed land transport corridor, connecting the eastern regions of China with Russia. As part of the variation calculus task, the geopolitical, economic, social, logistic, geographic, geomorphological, seismological, topographic components of the project are considered, in which it is assumed that the high speed overland route will pass through the north-western part of the historical region of Dzungaria.

**Aim:** Find the most optimal from the point of view of the above components the location of the most important section of high speed overland route passing through Central Asia.

**Methods:** Variational methods for solving an optimization problem with the use of a computer math system.

**Results:** After creating a fairly informative and versatile picture of the region in question, the foundations of the corresponding mathematical models are built.

**Conclusion:** The New Dzungarian Gates is a key element in choosing the location of a high-speed overland route based on VMLT.

**Keywords:** High-speed land transport corridors, magnetic-levitation technologies, optimization criterion, the problem of the calculus of variations, software packages

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе продолжают начатые в статье [1] исследования, которые относятся к анализу комплекса вопросов, возникающих в связи с изучением возможных маршрутов трансконтинентального высокоскоростного наземного транспортного коридора, функционирующего на базе вакуумных магнитолевитационных технологий и связывающего восточные районы Китая с центром Европейской части России и далее с Западной Европой. Отметим, что обсуждению различных аспектов применения технологии магнитной левитации на транспорте, в том числе в вакуумных трубах, посвящена обширная литература [2–16].

Для интенсивно развивающихся мировых рыночных отношений их дальнейший полноценный прогресс невозможен без имеющей принципиальный инновационный характер материальной транспортной основы, которую представляют собой высокоскоростные трансконтинентальные магистрали. Поэтому актуальность указанного выше мегапроекта трудно переоценить. С общей экономической точки зрения он явится одним из реальных механизмов, которые позволят оттянуть значительную часть мировых финансовых средств из спекулятивного оборота путем вложения их в высокотехнологичное долгосрочно функционирующее имеющее глобальный характер сооружение на поверхности Земли. Как в стадии строительства, так и при эксплуатации рассматриваемый проект окажется мультимодальным и интернациональным. При этом будут созданы десятки миллионов рабочих мест самого разного профиля и квалификации, а «пронизываемые» транспортным коридором страны Евразийского материка получат мощный импульс для всесторонней консолидации.

Считаем уместным провести следующую историческую параллель. Напомним об инновациях Колумба, пытавшегося в соответствии с уровнем развития транспортных средств своего времени (то есть посредством парусного морского флота) соединить прорывным в транспортно-логистическом отношении путем Западную Европу с Восточной и Южной Азией. Отметим при этом, что «контрапункты» человеческой цивилизации остались прежними. Результатом, а точнее, артефактом указанных попыток явилось открытие Нового Света. При этом основным возражением, выдвигавшимся оппонентами к проектам генуэзца, который искал финансовой поддержки у западноевропейских монархов, было сомнение в их «экономической целесообразности».

Все функционирующие в настоящее время, а также предлагаемые к рассмотрению проекты евразийских транспортных коридоров являются в технико-технологическом отношении экстенсивными. Без использования научных достижений сегодняшнего дня они не дают полноценного решения рассматриваемой трансконтинентальной логистической проблемы. Поскольку скорость есть атрибут самой концепции движения, то (заметим, по прошествии уже полувека со времени высадки первых людей на Луне) трудно представить себе принципиальный прогресс наземного транспорта без перехода к магнитолевитационным технологиям.

Целью настоящего исследования является нахождение оптимального с географической, геоморфологической, логистической, геополитической и социально-экономической точек зрения варианта расположения важнейшего участка евразийского транспортного коридора, который будет проходить через Центральную Азию.

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТРАНСЕВРАЗИЙСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Изобилующий горными системами рельеф Центральной Азии в течение тысячелетий служил естественной причиной отгороженности Китая и других государств Восточной Азии от Европы и даже от Передней Азии. Указанное геоморфологическое обстоятельство служило одной из причин искусственной самоизоляции указанных государств, которая продолжалась до конца XIX века.

Через сто лет ситуация поменялась в корне. По-видимому, не осталось страны, на которую, в той или иной мере, не распространялась бы экономическое и торговое китайское влияние. Естественно, что дальше такое влияние будет осуществляться и развиваться на соответственно более высоком научном и технико-технологическом уровне.

Как уже было сказано, сложность ситуации в геоморфологическом отношении состоит в том, что поперек любого из возможных маршрутов транспортных коридоров из Восточной Азии в сторону Европы оказывается какая-либо из горных систем. Эти системы составляют протяженную цепь, простирающуюся на многие тысячи километров. При этом на физической карте Центральной Азии обращает на себя внимание историческая область Джунгария, расположенная в современном Синьцзянь-Уйгурском автономном районе Китая. Именно в этой области в цепи горных систем имеются достаточно широкие и относительно равнинные проходы. Самый известный из них называется «Джунгарскими Воротами».

### «НОВЫЕ ДЖУНГАРСКИЕ ВОРОТА»

Мы хотим обратить внимание на другой проход в указанной горной цепи, который менее известен и находится на 150 км севернее «Джунгарских Ворот». Этот равнинный проход, расположенный между крайними северо-восточными отрогами хребта Джунгарский Алатау и юго-восточными отрогами хребта Тарбагатай, будем называть «Новыми Джунгарскими Воротами».

Отметим, что основу мультимодальности рассматриваемого транспортного коридора составят промежуточные хабы магистрали, посредством которых будет происходить наращивание и перераспределение соответствующих грузо- и пассажиропотоков.

Если исходить из общих географических, организационных, логистических и территориальных соображений, то в Джунгарии должен быть расположен один из «ключевых» (в прямом и переносном смысле слова) промежуточных хабов для всей рассматриваемой трансконтинентальной мультимодальной транспортно-технологической системы. По всем геоморфологическим показаниям Джунгарскому хабу

следует быть расположенным несколько севернее административного центра Синьцзянь-Уйгурского автономного района – города Урумчи.

Следующая в сторону Европы «опорная» точка транспортно-технологической системы будет представлена Карагандинским хабом, расположенным приблизительно на 1000 км на северо-запад-запад от Джунгарского хаба и находящимся в Казахстане несколько южнее Караганды.

Каждый из указанных хабов послужит мощным источником всестороннего, в частности, социально-экономического развития «притягиваемой» к нему части Западного Китая и, соответственно, Средней Азии и Западной Сибири. Далее магистраль направится в сторону Южного Урала и после пересечения границы Казахстана с Россией попадет Оренбургскую область.

## ВАРИАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МАГИСТРАЛИ

Даже для традиционных железнодорожных магистралей, построенных на базе системы «колесо–рельс», радиус кривизны пути представляет собой важнейший показатель, которым определяются допустимые скорости движения поездов. Для высокоскоростных, а тем более сверхвысокоскоростных магистралей, значение этого показателя, конечно, возрастает.

При выборе местоположения хабов и маршрута прохождения магистрали наряду с общими организационными условиями, в первую очередь, естественно рассматривать те, которые обуславливаются рельефом местности. С точки зрения минимальности материальных затрат на изыскательские и строительные работы предпочтительными являются варианты, при которых указанные маршруты проходят по возможно более равнинной местности.

В настоящей статье разработан весьма общий алгоритм вычислительного процесса при нахождении оптимизационного варианта расположения транспортной магистрали. С одной стороны, предлагаемый подход вполне укладывается в классические рамки постановки задачи вариационного исчисления. С другой стороны, приводится реализация соответствующего вычислительного процесса в программном виде в среде системы компьютерной математики.

Предлагаемый вариационный подход представляет собой максиминную форму оптимизационной задачи с целевой функцией, в роли которой выступает переменная величина радиуса кривизны  $R(M)$  ( $M \in X$ ) геометрической модели  $X$  магистрали в плане. Именно, рассматривается задача вида:

$$\min_{M \in X} R(M) \rightarrow \max \quad (1)$$

при условии, что на множество допустимых кривых  $X$  накладываются ограничения: общие организационные, логистические, геоморфологические, технико-технологические, экономические, а также региональные политические и социальные.

В случае, когда геометрическая модель  $X$  магистрали в плане представляет собой линию, задаваемую явным уравнением  $y = y(x)$  ( $x \in [a, b]$ ), задача (1) записывается следующим образом:

$$\min_{\substack{x \in [a, b] \\ y = y(x)}} \frac{(1 + y_x'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y_x''|} \rightarrow \max. \quad (2)$$

В качестве геометрических моделей  $X$  магистралей выступают графики интерполяционных многочленов, выбор узлов интерполирования которых производится в соответствии с набором указанных выше ограничений. После общей неформальной оценки ситуации в организационном и логистическом отношении на первый план, как уже сказано, выступают ограничения геоморфологического характера.

С точки зрения постановки задачи вариационного исчисления можно рассматривать как задачу с закрепленными концами (или с одним закрепленным концом), так и задачу с подвижными концами. Первый случай соответствует ситуации, когда местоположения обоих рассматриваемых хабов уже выбраны и варьированию подлежит расположение участка магистрали между ними. Во втором случае (являющимся более общим) наряду с расположением участка магистрали варьируются также местоположения каждого из хабов. В настоящей работе рассматривается задача с подвижными концами. Именно, предполагается, что местоположения Джунгарского и Карагандинского хабов могут изменяться в меридианном направлении в тех пределах, насколько это позволяет рельеф местности. Поскольку в данном случае мы рассматриваем интерполяционную задачу с равноотстоящими узлами интерполирования, то результаты, получаемые при использовании полиномов Лагранжа и Ньютона, совпадают. Отличается лишь время, требуемое системе компьютерной математики для выполнения всех запрограммированных вычислительных процедур.

На Рис. приведено найденное системой аналитических вычислений (в процессе использования указанного выше интерполяционного метода и в рамках указанных выше ограничений) графическое изображение оптимального варианта расположения участка магистрали между Джунгарским и Карагандинским хабами. Найденные указанной системой

наименьшее значение радиуса кривизны рассматриваемого участка и его длина соответственно равны  $R = 971$  км и  $l = 1082$  км.

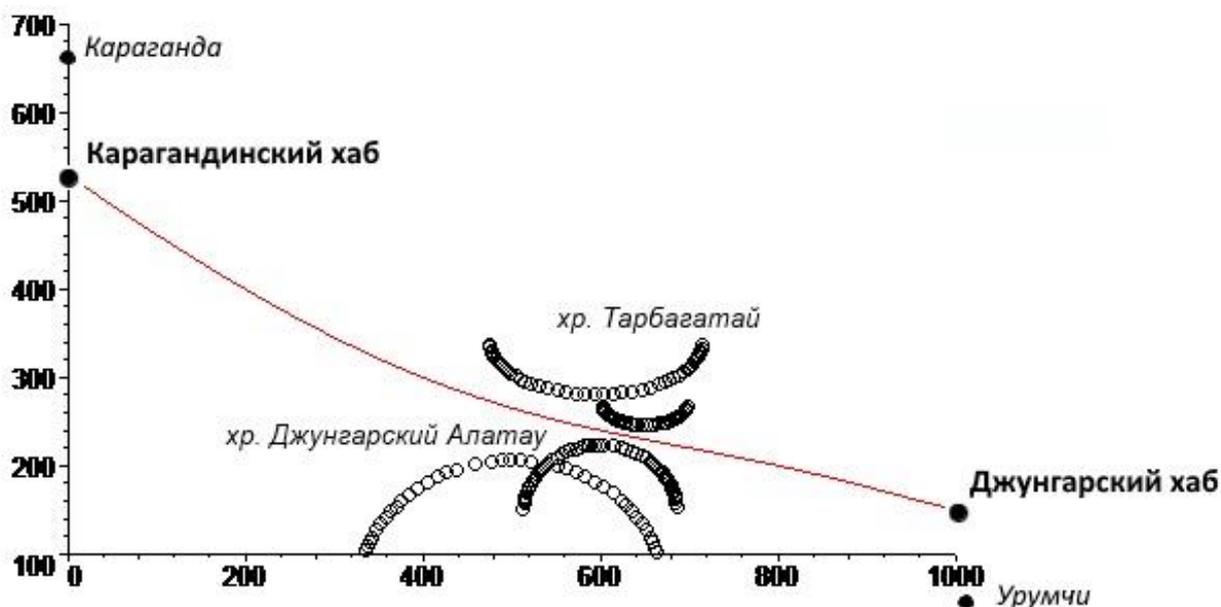


Рис. Графическое изображение оптимального варианта расположения участка магистрали между Джунгарским и Карагандинским хабами

Мы также приводим найденное системой аналитическое выражение полинома Лагранжа  $L(x)$  (имеющего шестую степень), график которого представляет собой геометрическую модель  $X$  магистрали в плане:

$$L(x) = 0,19841269 \cdot 10^{-14} x^6 - 0,54315476 \cdot 10^{-11} \cdot x^5 + 0,4923115 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 - 0,1696428 \cdot 10^{-5} x^3 + 0,0005677579 x^2 - 0,72702381 x + 529,9999999 .$$

## ВЫВОДЫ

Жизненно важные экономические, политические и социальные интересы современной России совпадают с потребностью всего евроазиатского материка в наземной трансконтинентальной магистрали, созданной на базе вакуумных магнитолевитационных технологий.

Предложен общий вариационный подход в геометрическом моделировании транспортных магистралей, программная реализация которого выполнена в среде системы аналитических вычислений. В качестве результата найден оптимальный вариант расположения в плане геометрической модели ключевого отрезка магистрали, проходящего через «Новые Джунгарские Ворота».

**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. Bogachev VA, Terentyev YuA, Koledov VV, Bogachev TV. Dzungaria corridor for vacuum magnetic levitation transport: lost opportunities or weighted optimism? *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(2):52-61. doi: 10.17816/transsyst20184252-61
2. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича. – М: Физматлит, 2014. – 476 с. [Gapanovich VA, editor. *Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya*. Moscow: Fizmatlit, 2014. 476 p. (In Russ.)].
3. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. – М: Физматлит, 2015. – 612 с. [Antonova YuF, Zaitseva AA, editors. *Magnitolevitatsionnyi transport: nauchnye problemy i tekhnicheskie resheniya*. Moscow: Fizmatlit, 2015. 612 p. (In Russ.)].
4. Зайцев А.А., Морозова Е.И., Талашкин Г.Н., Соколова Я.В. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. – СПб: НП-Принт, 2015. – 140 с. [Zaitsev AA, Morozova EI, Talashkin GN, Sokolova IaV. *Magnitolevitatsionnyi transport v edinoi transportnoi sisteme strany*. St. Petersburg: NP-Print, 2015. 140 p. (In Russ.)].
5. Зайцев А.А. Отечественная транспортная система на основе магнитной левитации // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 22–27. [Zaitsev AA. Otechestvennaya transportnaya sistema na osnove magnitnoi levitatsii. *Bulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta ОАО «RZhD»*. 2015;6:22-27 (In Russ.)].
6. Technical-economical comparison of Maglev and High-Speed Systems. [Internet]. [cited 2019 April 10]. Available from: <http://archives-republicans-transportation.house.gov/Media/File/110th/Rail/3-20-07--roundtable-Brady-dornier.pdf>.
7. The website of the Evacuated Tube Transport Technology. [Internet]. [cited 2019 April 10]. Available from: <http://et3.com/>. Accessed October 25, 2016.
8. Терентьев Ю.А., Дроздов Б.В. Перспективы вакуумного магнитолевитационного транспорта // Мир транспорта. – 2017. – № 1. – С. 90–95. [Terentiev YuA, Drozdov BV. Prospects for Vacuum Magnetic-Levitation Transport. *Mir Transporta*. 2017;1:90-95. (In Russ.)].
9. Островская Г.В. Магнитные дороги профессора Вейнберга (К 100-летию лекции «Движение без трения») // Вестник науки Сибири. – 2014. – № 2. – С. 6–14. [Ostrovskaya GV. Magnitnye dorogi professora Vejnberga (K 100-letiyu lektsii "Dvizhenie bez treniya"). *Vestnik nauki Sibiri*. 2014;2:6-14. (In Russ.)].
10. Yamamura S. Magnetic levitation technology of tracked vehicles present status and prospects. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1976;12(6):874-878. doi: 10.1109/tmag.1976.1059125
11. Cai Y, Chen SS. Dynamic characteristics of magnetically levitated vehicle systems. *Applied Mechanics Reviews, ASME*. 1997;50(11):647-670. doi: 10.1115/1.3101676
12. Meins J, Miller L, Mayer WJ. The high speed maglev transportation system transrapid. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1998;24(2):808–811. doi: 10.1109/20.11347
13. Luguang Y. Progress of the maglev transportation in China. *IEEE Trans Applied*

- Superconductivity*. 2006; 16(2): 1138-1141. doi: 10.1109/tasc.2006.871345
14. Lee H-W, Kim K-C, Lee J. Review of maglev train technologies. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2006;42(7):1917-1925. doi: 10.1109/tmag.2006.875842
  15. Zhang Y, Oster D, Kumada M, et al. Key vacuum technology issues to be solved in evacuated tube transportation. *Journal of Modern Transportation*. 2011;19(2):110-113 doi: 10.1007/bf03325748
  16. Han H-S, Kim D-S. Railway Applications. In: *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*. Dordrecht: Springer Science+Business Media; 2016. p. 167-222. doi: 10.1007/978-94-017-7524-3\_6

**Сведения об авторах:**

**Богачев Виктор Алексеевич**, к.ф.-м. н., доцент

Адрес: 344038, Ростов-на-Дону, пр. Ленина 44/2-4.

eLibrary SPIN:2125-5198; ORCID: 0000-0003-1202-7318;

E-mail: bogachev-va@yandex.ru

**Терентьев Юрий Алексеевич**

ORCID: 0000-0002-0888-9057;

E-mail: teren\_y@mail.ru

**Коледов Виктор Викторович**, д.ф.-м.н., с.н.с.

eLibrary SPIN: 9291-1989; ORCID: 0000-0002-2439-6391;

E-mail: victor\_koledov@mail.ru

**Богачев Тарас Викторович**, к.ф.-м. н., доцент

eLibrary SPIN: 2262-0080; ORCID: 0000-0001-9641-0116; Scopus ID: 57194213408

E-mail: bogachev73@yandex.ru

**Information about the authors:**

**Viktor A. Bogachev**, PhD in Physico-mathematical sciences

Address: 344038, Rostov-on-Don, Russia, st. Lenina 44/2-4

eLibrary SPIN:2125-5198; ORCID: 0000-0003-1202-7318;

E-mail: bogachev-va@yandex.ru

**Yuri A. Terentyev**

ORCID: 0000-0002-0888-9057;

E-mail: teren\_y@mail.ru

**Victor V. Koledov**, Doctor of Physico-mathematical sciences

eLibrary SPIN: 9291-1989; ORCID: 0000-0002-2439-6391;

E-mail: victor\_koledov@mail.ru

**Taras V. Bogachev**, PhD in Physico-mathematical sciences

eLibrary SPIN:2262-0080; ORCID: 0000-0001-9641-0116; Scopus ID: 57194213408

E-mail: bogachev73@yandex.ru

**Цитировать:**

Богачев В.А., Терентьев Ю.А., Коледов В.В., Богачев Т.В. Новые Джунгарские Ворота для вакуумного магнитолевитационного коридора: историческая необходимость // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т 5. – № 3. – С. 36–44. doi: 10.17816/transsyst20195336-44

**To cite this article:**

Bogachev VA, Terentyev YA, Koledov VV, Bogachev TV. New Dzungaria Gates for WMLT-corridor: historical necessity. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(3):36-44. doi: 10.17816/transsyst20195336-44