

ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

**TRANSPORTATION
SYSTEMS AND
TECHNOLOGY**
peer-review journal

transst.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

«ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Электронный рецензируемый научный журнал
Выходит ежеквартально – 4 раза в год
Основан в 2013 году

ИНДЕКСАЦИЯ

РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)
Google Scholar
WorldCat
CrossRef
CyberLeninka

КОНТАКТЫ

Адрес: 190031, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, 115, ауд. 9/11-5
E-mail: info@trassyst.ru
WEB: www.trassyst.ru
Телефон: +7 (812) 6198152; +7 (911) 2384445

Научный редактор Ю. Ф. Антонов, доктор технических наук, профессор
Перевод на английский язык А. Ю. Гнатенко
Выпускающий редактор Т. С. Антонова
Редактор сайта А. В. Дитрих
Литературный редактор Е. В. Васильева
Верстка А. А. Стуканова

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

ЭИ№ФС77-53673 от 17.04.2013 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

ОПИСАНИЕ ЖУРНАЛА

Сетевой электронный журнал "Транспортные системы и технологии" публикует статьи фундаментального характера и прикладного направления, а также обзорные статьи, относящиеся ко всем видам транспортной технологии

ПУБЛИКАЦИЯ В ЖУРНАЛЕ

Журнал отбирает материал для публикации из числа присланных для рассмотрения рукописей. В ходе отбора проводится независимое двойное слепое рецензирование членами редакционной коллегии и внешними экспертами. Для публикации рукопись, а также все сопроводительные и дополнительные файлы следует направить в редакцию через личный кабинет на сайте журнала по URL: <http://trassyst.ru/>
Рукопись и дополнительные материалы следует оформить в соответствии с правилами редакции, см. подробно по <https://trassyst.ru/trassyst/about/submissions>

ПОДПИСКА

Журнал распространяется через Интернет без ограничений и по адресно-целевой подписке через редакцию

**ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ**

Том 5, № 1

2019

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

Зайцев Анатолий Александрович,
д.э.н., профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА, НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

Антонов Юрий Федорович, д.т.н., профессор ПГУПС,
Санкт-Петербург, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Богданов Александр Владимирович, д.физ.-мат.н., профессор Санкт-Петербургского Государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

Верескун Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор, ректор Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;

Ганиев Ривнер Фазылович, академик РАН, д.т.н., профессор, Директор Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия;

Глухих Василий Андреевич, академик РАН, д.т.н., профессор, Научный руководитель НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия;

Клюшпис Йоханнес, доктор наук 2-й степени, полный профессор Деггендорфской высшей технической школы, Мюнхен, Германия;

Колесников Владимир Иванович, академик РАН, д.т.н., профессор, президент Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов, Россия;

Кручинина Ирина Юрьевна, д.т.н., ВРИО директора Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия;

Линь Гобинь, PhD, профессор, директор Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;

Ли Вэйли, PhD, профессор Пекинского транспортного университета, Пекин, КНР;

Ма Чжисюнь, PhD, старший научный сотрудник Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;

Мулюков Радик Рафикович, член-кор. РАН, д.физ.-мат.н., директор Института проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Россия;

Мильников Сергей Владимирович, к.биологич.н., доцент, ученый секретарь ООО «Эко-Вектор», Санкт-Петербург, Россия;

Никитенко Владимир Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика» Российского университета транспорта, Москва, Россия;

Никитин Виктор Валерьевич, д.т.н., профессор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия;

Ни Фэй, PhD, младший научный сотрудник, Национальный транспортно-инженерный центр Маглев, Университет Тунцзи, Шанхай, КНР

Подсорин Виктор Александрович, д.э.н., профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия;

Повадол Сирирангси, Dr., Заместитель декана Факультета логистики и управления транспортом Паньяиватского института управления, Пакред, Таиланд;

Соколова Яна Викторовна, к.э.н., MBA, Заместитель руководителя Научно-образовательного центра инновационных пассажирских перевозок ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;

Соломин Владимир Александрович, д.т.н., профессор Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;

Стэфан Ричард, д.т.н., полный профессор Факультета электротехники, заведующий Лабораторией электрических машин Федерального университета Рио-де-Жанейро, Рио-де-Жанейро, Бразилия;

Терешина Наталья Петровна, д.э.н., профессор, Заведующая кафедрой «Экономика и управление на транспорте» Российского университета транспорта, Москва, Россия;

Титова Тамара Семёновна, д.т.н., Первый проректор – Проректор по науке Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия;

Хан Хён-Сук, PhD, начальник Департамента Маглев и линейных двигателей, старший научный сотрудник Корейского института машиностроения и материаловедения, Тэджон, Республика Корея.

FOUNDER AND PUBLISHER

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
St. Petersburg, Russia

"TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY"

Electronic peer-reviewed research journal
Issued 4 times a year (quarterly)
Established in 2013

INDEXING

eLibrary (Russian Science Citation Index)
Google Scholar
WorldCat
CrossRef
CyberLeninka

CONTACTS

Address: 190031, St. Petersburg, 115 Moskovskiy Ave., room 9/11-5
E-mail: info@trassyst.ru
Website: www.trassyst.ru
Phone: +7 (812) 6198152; +7 (911) 2384445

Science Editor Yu. F. Antonov, Doctor of Technical Science, Professor
Translation into English A. Yu. Gnatenko
The Executive Editor T. S. Antonova
WEB- Editor A. V. Dietrichs
Literary Editor E. V. Vasileva
Layout Editor A. A. Stukanova

AIMS & SCOPE

Network electronic journal "Transportation Systems and Technology" publishes articles of a fundamental nature and application areas, as well as review articles pertaining to all types of transport technology

JOURNAL CONTENT SELECTION

The journal selects material based on the double-blind peer-review conducted by members of the editorial board and external experts.

To be published, the manuscript and all accompanying files should be sent to the editorial team through a personal account on the journal's website at: <http://trassyst.ru/>

The manuscript and additional materials should be prepared and arranged in accordance with the author guidelines (see in detail at: <https://trassyst.ru/trassyst/about/submissions>)

SUBSCRIPTION

The Journal is distributed via Internet for free and by subscription via Editorial office

TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Vol. 5, Issue 1

2019

ELECTRONIC PEER-REVIEWED RESEARCH JOURNAL**EDITOR-IN-CHIEF**

Anatoly Zaitsev, Dr. Economics, Professor, PSTU, St. Petersburg, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF, THE SCIENTIFIC EDITOR

Yuri Antonov, Dr.Sc., Professor PSTU, St. Petersburg, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksandr Bogdanov, Dr. Physics and Mathematics, Professor, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;
Vladimir Vereskun, Dr. Sc., Professor, Rector of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Rivner Ganiev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, Director Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
Vasily Glukhikh, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, Scientific Adviser at JSC «D.V. Efremov Institute of Electrophysical Apparatus», St. Petersburg, Russia;
Johannes Kluehspies, 2nd Dr.'s Degree, Full Professor at Deggendorf Institute of Technology, Munich, Germany;
Vladimir Kolesnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, the President Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Irina Kruchinina, Dr.Sc., Acting Director of Institute of Silicate Chemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia;
Guobin Lin, PhD, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center (NMTC), Director, Professor, Tongji University, Shanghai, China;
Weili Li, Ph.D., Professor, Beijing Jiaotong University, Beijing, China;
Zhixun Ma, PhD, Associate Professor, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center (NMTC), Tongji University, Shanghai, China;
Radik R. Mulyukov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Physics and Mathematics, Director of Superplasticity Metals Institute for Metals Superplasticity Problems at RAS, Ufa, Russia;
Sergey Mylnikov, PhD, Associate professor, Scientific secretary LCC "Eco-Vector", St. Petersburg, Russia;
Vladimir Nikitenko, Dr. Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Physics Russian University of Transport, Moscow, Russia;
Viktor Nikitin, Dr.Sc., Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Fei Ni, PhD, Assistant Researcher, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center, Tongji University, Shanghai, China;
Viktor Podsorin, Doctor of Economics Science, Professor Russian Transport University, Moscow, Russia;
Sirirangsi Poovadol, Dr.Sc., MBA, Deputy Dean Faculty of Logistics and Transportation Management Panyapiwat Institute of Management, Pakkred, Thailand;
Yana Sokolova, PhD, MBA, Deputy Head Scientific-Educational Center for Innovative Passenger Transport Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Vladimir Solomin, Dr. Sc., Professor, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Richard Magdalena Stephan, Dr.Sc., Full Professor, Department of Electrical Engineering, Head of Electric Machines Laboratory, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil;
Natalya Tereshina, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Transport Management Russian University of Transport, Moscow, Russia;
Tamila Titova, Dr.Sc., Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Research at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Han Hyung-Suk, PhD, Head of the Department of Maglev and Linear Drives, Principle Researcher, Korea Institute of Machinery & Material (KIMM), Daejeon, the Republic of Korea.

СОДЕРЖАНИЕ		TABLE OF CONTENTS
ОБЗОРЫ		REVIEWS
Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ Транспортные и транспортно-логистические системы Ferreira H.P., Stephan R.M. Air Cushion Vehicle (ACV): History Development and Maglev Comparison	5	Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS Transport and Transport & Logistics Systems Ferreira H.P., Stephan R.M. Air Cushion Vehicle (ACV): History Development and Maglev Comparison
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Федорова М.В. Оценка общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта	26	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Fedorova M.V. Evaluation of Public Effectiveness of The Strategy for Development of Speed Urban Transport
ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ		ORIGINAL STUDIES
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ направление - Элементы и устройства систем управления движением Воеводский К.Э., Стрепетов В.М. Вероятность правильности решения, принимаемого большинством голосов	42	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field - Elements and Devices of Motion Control Systems Voevodskii K.E., Strepetov V.M. The Probability of the Correct Majority Made Decision
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление - Электротехника Антонов Ю.Ф. Явление электромагнитной индукции постоянного тока	54	Rubric 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field - Electrical Engineering Antonov Yu.F. The Phenomenon of Electromagnetic Induction of Direct Current
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Третьяк В.П., Лякина М.А., Волкова Е.М. Институальные формы продвижения магнитолевитационных технологий и их использование в российской экономике	74	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Tretyak V.P., Lyakina M.A., Volkova E.M. Institutional Forms of Promotion of Magnetic Levitation Technologies and Their Implementation in the Economy of the Russian Federation

<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА</p> <p>Журавлева Н.А.</p> <p>Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации</p>	89	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS</p> <p>Zhuravleva N.A.</p> <p>Conceptual Basis for Assessment of Effects of Magnetic Levitation-Based High-Speed Transport Systems Projects Development</p>
--	----	---

Rubric 1 . TECHNOLOGIES AND PROJECTS

DOI 10.17816/transsyst2019515-25

© **H. P. Ferreira, R. M. Stephan**

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(Rio de Janeiro, Brazil)

AIR CUSHION VEHICLE (ACV): HISTORY DEVELOPMENT AND MAGLEV COMPARISON

Abstract. This paper will present the ACV working principle and a review of the past research developments of high-speed ACV trains and their efforts in countries like, Brazil, France, Germany, Italy, United Kingdom, and United States, and the low-speed ACV trains, revealing why the former did not match the expectations and failed, while the latter have been prospered and purchase a well-established market niche in short distance paths. Finally, this study will promote a direct comparison between the two technologies, ACV and MagLev, with advantages and disadvantages of each one. The ACV development will bring important insights to the research of MagLev trains from a technical and economic perspective, learning with errors of the ACV, that did not enable any high-speed projects to flourish, and, on other hand, the comparative success of the urban ACV, as a complete commercial solution, like the MagLev trains.

Keywords: Air Cushion Vehicle, Tracked Air Cushion Vehicle, Hovertrain, Magnetic Levitation Train, High Speed Transportation, Urban Transportation.

List of Abbreviations:

ACV	Air Cushion Vehicle
APM	Automatic People Mover
DoT	U.S. Department of Transportation
EDL	Eletrodynamic Levitation
EESC USP	<i>Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo</i>
EML	Electromagnetic Levitation
FEI	<i>Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana</i>
Fultrace [®]	Fast Ultra-Light Tracked Air Cushion Equipment
HSST	High Speed Surface Transport
HST	High Speed Train
IAP	<i>Istituto d'Aeronautica dell'Università di Palermo</i>
LEM	Linear Electric Motor
LIM	Linear Induction Motor
LIMRV	Linear Induction Motor Research Vehicle
LRV	Light Rail Vehicle
LSM	Linear Synchronous Motor
MagLev	Magnetic Levitation
OHSGT	Office of High Speed Ground Transportation
PRT	Personal Rapid Transit
PTACV	Prototype Tracked Air Cushion Vehicle
RTV	Research Test Vehicle



SML	Superconducting Magnetic Levitation
TACV	Tracked Air Cushion Vehicle
TACRV	Tracked Air Cushion Research Vehicle
TALAV	<i>Trem Aerodinâmico Leve de Alta Velocidade</i>
TLRV	Tracked Levitated Research Vehicle
TR	<i>Transrapid</i>
TTC	Transportation Technology Center
TTI	Transportation Technology Inc.
UK	United Kingdom
USA	United States of America
UTACV	Urban Tracked Air Cushion Vehicle
U-Trace [®]	Urban Tracked Air Cushion Equipment

INTRODUCTION

For almost two decades of the 20th century, between 1950 and 1970, the world witnessed a huge period of economic growth and global prosperity. This era faced a massive shift of population from rural areas to cities, forming large metropolitan areas. The industrial production reached even more people, demanding transportation of goods for far distances and the increasing of a consumer society [1, 2].

The “American Way of Life” promoting the ownership of automobiles, associated with the United States of America (USA) government impulse on the built of a national highway network [3], provided a boost in the car sales causing, quickly, traffic congestion and pollution problems [4]. The environmental concerns in these years were manifested at the first United Nations Conference on the Human Environment (1972) [5].

At the rail sector, this period presented new challenges and significant changes. Japan opened the first high speed line, the *Tokaido Shinkansen*, for the 1964 Summer Olympics in Tokyo, connecting the capital to Osaka [6]. European countries started the improvement of their rail network infrastructure, for passenger and freight transportation, and begun the studies for high speed lines [7, 8]. The USA government encouraged the research and new enterprises for urban [9] and for high speed transportation [10].

These decades witnessed an extraordinary advance on science & technology. The recently developed transistors opened new opportunities for light and compact products, like the pocket radio, and aided the growth of microelectronics, while the thyristors paved the way for the beginning of power electronics. The increasing of signal processing capabilities and the manufacturing of reliable sensors also contributed to surging of highly sophisticated systems, like artificial satellites.

At the same period, the British engineer Sir Cristopher Cockerell designed the *Hovercraft*, a hybrid vehicle that could be used over land or water that floats

over the surface, using air pressure streams [11], while the British engineer Eric Laithwaite developed the first operational linear electric motor [12].

This scenario of economic, social and environmental modification, together with the enabling technologies contributed to the forthcoming of new modes of transportation, that were presented as the solution for urban mobility or for long distance travel concerns [13]. These fruitful era for innovations on this subject, which was best represented with the U.S. International Transportation Exposition of 1972 (Transpo'72) [14], saw the emergence of two nonconventional technologies: the air-cushion vehicle (ACV) and the magnetic levitation (MagLev) trains.

This paper will present the ACV working principle and a review of the past research developments of high-speed ACV trains and their efforts in countries like, Brazil (TALAV), France (*Aérotrain*), Germany (*Transrapid TR-03*), Italy (*Aerotreno*), United Kingdom (Tracked Hovercraft), and United States (TACV), and the urban ACV trains, revealing why the former did not match the expectations and failed, while the latter have been prospered and purchase a well-established market niche of automated people movers (APM) in short distance paths like airport terminals, resorts, and campus or hospital buildings, reaching currently nine commercial lines spread across the world.

Finally, this study will promote a direct comparison between the two technologies, ACV and MagLev, with advantages and disadvantages of each one. The ACV development will bring important insights to the research of MagLev trains from a technical and economic perspective, learning with errors of the ACV, that did not enable any high-speed projects to flourish, and, on other hand, the comparative success of the urban ACV, as a complete commercial solution, like the MagLev trains.

AIR CUSHION PRINCIPLE AND APPLICATIONS

The air cushion suspension working principle is based on the pressure difference of air streams external and internal on an air chamber that produce a mechanical force strong enough to float an object some millimeters above the ground, like a vehicle.

Fig. 1 presents a simplified picture of the air cushion working principle, as experienced on a hovercraft. A fan pulls the air streams, represented in red, to fill the air chambers placed inside the vehicle, producing high pressure streams, that inflate them until their allowed limits, which generate an upward force that lifts the vehicle above the surface with a small airgap. The skirt, in green, is a made of a flexible material that lets escape only few airstreams [15]. The air cushion mathematical formulation is elegantly described in [16].

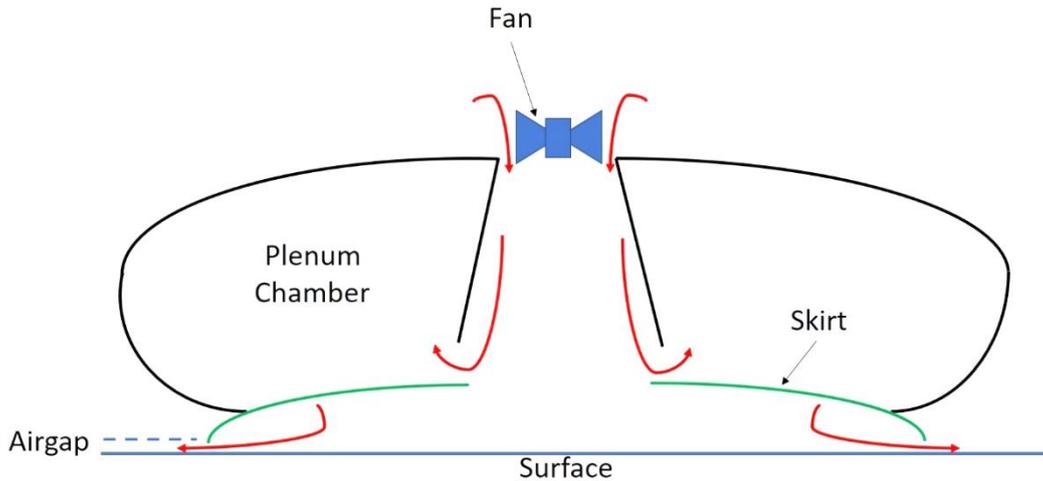


Fig. 1. Air cushion principle on a hovercraft

The air cushion suspension working principle together with the availability of reliable materials found several applications in different areas, like in the medical treatment of burned people, relieving the patient's pain and avoiding him touch the bed [17], and on the consumer goods segments, like vacuum cleaners [18] and lawn mowers [19], that take advantage of their own centrifugal fan to direct the airstreams to the bottom of the product and provide a less difficult job to users.

On the transportation sector, the air cushion suspension was exploited because of its drag reduction and the capability to move large amount of goods and people in a variety of terrains, like land, water, snow, swamp and sand, attracting the attention of military and rescue applications, and for maritime displacement on hovercrafts, with large success in the United Kingdom [20]. This technique inspired its use also for vehicles over land, like automobiles [21], for its futuristic appeal, and trucks for agricultural purposes [22].

AIR CUSHION IN HOVERTRAINS

The success of the ACV technology for maritime hovercrafts, the development of the linear electric machines (LEM) and the search for new modes of mass transportation induced this suspension principle to be applied, with some adaptations, at ground transportation, notably in guided systems like trains, producing the hovertrains or tracked air cushion vehicles (TACV).

Fig. 2 presents a schematic picture of one conventional hovertrain. The suspension air pad pumps the air to inside of a chamber and provides a pressure difference that produces a mechanical force that floats the vehicle, while the guidance air pads, placed at left and right of the vehicle, avoid any lateral contact with the support beam. The interaction between the primary and secondary windings of the linear motor is responsible for the vehicle propulsion [23, 24].

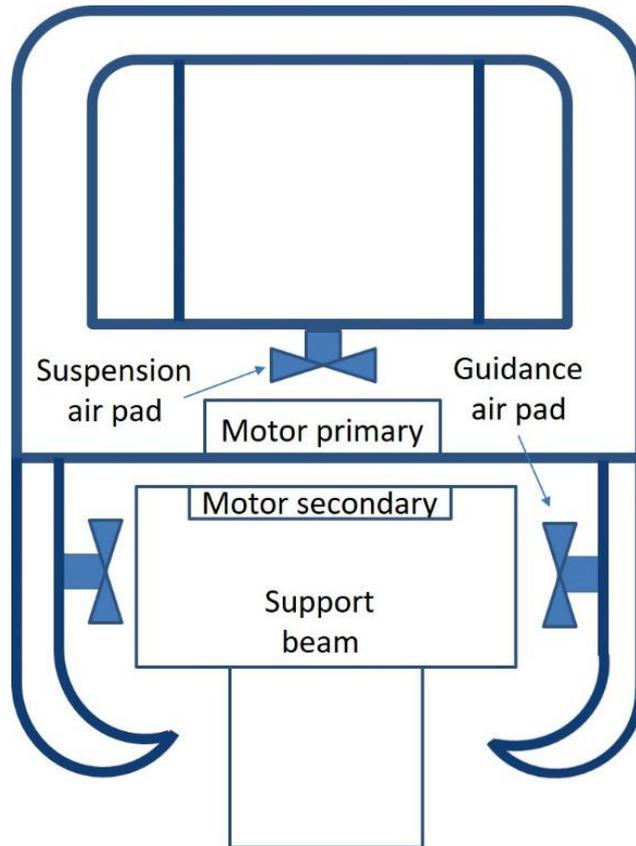


Fig. 2. Cross-section diagram of a conventional hovertrain

This section will present a review of the past research and development of high speed and urban hovertrains in several countries, with technical information of each one and their outcomes [24, 25].

I. High Speed TACV

A. United Kingdom

The great expertise obtained with the hovercraft development was one of the factors that made the United Kingdom to be one of the countries that lead the hovertrains research [26].

The Tracked Hovercraft project was started in 1962 with studies about the track's surface and its interaction with the cushion principle, by air or gas, that showed the technical feasibility of this technique with a prototype in 1963. A small-scale model was built and demonstrated, in 1966, on a closed loop that provided the linear inductor motor (LIM) propulsion [27, 28].

From 1971 to 1973, a 1.6 km of the planned 32 km test line, with an inverted T shape, was built and a full-scaled model, named RTV 31, was designed with a single sided LIM. The vehicle reached a maximum velocity of 170 km/h and the project was abandoned in 1973 by lack of funding [29]. The RTV 31 mock-up is illustrated in Fig. 3.



Fig. 3. RTV 31 mock-up at Railworld Wildlife Haven Museum
(Source: Wikimedia, Public Domain)

B. France

The French interest on TACV begun in 1956, with the studies of the air cushion technology. After the demonstration feasibility of small scale models, the half scale prototypes, *Aérotrain* 01 and 02, were tested on an inverted T shape track of 6.7 km length in 1965, with different propulsion methods, like propellers, turbo fans, jet fans and rockets, reaching a maximum velocity of 345 km/h with the latter and 422 km/h with the former [30, 31].

In 1969, the real scale vehicle *Aérotrain* S44 was developed to inter-city transportation and designed with LIM propulsion of double-sided type, obtaining a maximum velocity of 200 km/h on a 3 km test track. At the same year, an 18 km test track was built to the vehicles *Aérotrain* I80 and I80-HV, both designed for 80 passengers, with turbo fan propulsion reaching a maximum velocity of 430 km/h. The *Aérotrain* research was finished in 1977 due to lack of financial support [32].

C. Italy

In 1967, the Aeronautics Engineering Institute of Palermo University started the research of TACV with a small-scaled prototype, the *Aerotreno* IAP-1, to prove the technical feasibility.

The prototype IAP-2 was designed for three passengers, with a turbo-propeller propulsion and was verified on a 200 m track at the university campus. In 1972, the vehicle IAP-3, with seating capacity of 20 passengers and LIM propulsion, was tested on a 600 m track, of U shape, at the Trapani-Milo Airport. The IAP-3 designed velocity was 250 km/h. In 1973, the university moved their research focus to magnetic levitation trains [33, 34].

D. Germany

During the beginning of the MagLev trains research, West Germany developed the prototype Transrapid 03 (TR-03) based on air cushion levitation in 1972. The purpose of this study was to perform a direct comparison between a TACV and a MagLev EML vehicle, the Transrapid 02 (TR-02), at the same conditions and on the same track [35, 36].

The TR-03 and TR-02 were tested on a 930 m track, both with double-sided LIM propulsion. While the latter reached a maximum velocity of 164 km/h, the former obtained 140 km/h and it was considered with a lower performance than TR-02. The tests were conducted until 1974 when the research proceeded focused on MagLev trains only [37, 38].

E. United States of America

The TACV research in the USA was benefited by the governments' stimulus to high speed transportation systems, since 1965 [10]. In 1969, the U.S. Department of Transportation (DoT), by its OHSGT, begun the construction of a large complex (TTC), located at Pueblo, Colorado, devoted to the study of urban trains and HST and opened the program named Tracked Air Cushion Vehicle [39].

The first prototype, LIMRV, manufactured by Garrett Corporation Air Research Manufacturing Division, was focused only on the vehicle propulsion by LIM or jet engines, running on a wheel-rail system in a 10 km test track with inverted T shape. At the same time, in California, the vehicle TLRV with ACV suspension system, made by the same company, was designed to analyze the power collection to the LIM primary at speeds of 480 km/h [39, 40].

In 1972, the prototype TACRV, manufactured by Grumman Aerospace Corporation, was tested in 35 km track and reached 150 km/h with propulsion provided by jet engine [41, 42]. Figure 4 shows the TACRV mock-up. In 1974, the Rohr Industries started the PTACV program that designed the vehicle UTACV with a seating capacity of 60 passengers and double-sided LIM propulsion, very similar to the *Aérotrain* technology, and oriented to the inter-city transportation. The UTACV reached 240 km/h on a 5 km test track [43].

The USA TACV program was finished in 1975 due to lack of financial support, that was targeted to research of the magnetic levitation trains and to the development of automatic people movers (APM) to urban transportation.



Fig. 4. TACRV mock-up
(Source: Wikimedia, Public Domain)

F. Brazil

In 1970, the *Centro Universitário FEI*, in São Bernardo do Campo, São Paulo, started a tracked air cushion high speed program, named TALAV, taking advantage of the institution's large expertise acquired at automotive industry, and employing only Brazilian technology and materials.

The first step of the research was the study of small scale prototype to prove the technical feasibility of the ACV suspension and the propulsion system by propellers or jet engines. In 1972, it was developed a real scale vehicle, designed with a seating capacity for 20 passengers, and a propulsion by two jet engines, that would reach a cruise speed of 200 km/h. Fig. 5 shows the TALAV vehicle where it was displayed at the Brazil Export Exposition, in São Paulo, at the same year.

Its most remarkable characteristics were its very light structure, manufactured with fiberglass and aluminum sheets; a mechanism to facilitate the guideway switching; a telescoping door, designed to minimize stations dimensions and to help the passengers exit in case of an emergency; and the capacity to easily exchange the cabin between freight or people's transportation when it was desired, and to connect wagons like building blocks according to demand.

Despite the success at the exhibition and some Brazilian cities proposals, the test track was never built due to government budget restrictions, and the research was finished in 1973 [44].



Fig. 5. TALAV vehicle at the Brazil Export Exposition
(Courtesy from *Centro Universitário FEI*)

The Table 1 summarizes the technical data of different high speed TACV prototypes from the six countries above.

Table 1. Technical data of high speed TACV prototypes

Vehicle	RTV 31	<i>Aérotrain 01</i>	IAP-3	TR-03	UTACV	TALAV
Country	UK	France	Italy	Germany	USA	Brazil
Vehicle length (m)	22	10	13	12	28.6	15.6
Seating capacity	–	6*	20	4*	60	20
Overall weight (t)	23	2.5	10	8	21	3
Maximum Speed (km/h)	173	345	N/A	140	240	–
Designed Speed (km/h)	480	N/A	250	N/A	274	200
Fan power (kW)	~630	75	N/A	~160	520	44.7
Propulsion	SS LIM	Propeller/ rocket	DS LIM	DS LIM	DS LIM	Jet engine
Motor Power (kW)	3730	185	450		2000	
Thrust (kN)		11.8		24.5		9.4
Guideway track length (m)	1.6	6.7	0.6	0.96	5	–

Note: * = crew members only. N/A = data not available. ~ = approximately.
DS = Doubled sided LIM. SS = Single sided LIM.

G. Other High Speed TACV programs

During the 1960s and 1970s, the high speed TACV attracted the interest from companies and universities that developed studies, like the Tracked Air-Cushion Research Vehicle of the General Electric Co., with LIM or jet engines propulsion, and the non-evacuated tube system Tubeflight, proposed by the Rensselaer Polytechnic Institute [40, 45].

In 2013, a French Brazilian partnership, from the TACV Engineering France and the Aeronautics Engineering Department (EESC) of the *Universidade de São Paulo* (USP), emerged with the Fultrace[®] Project intended to resume the previous *Aérotrain* concept, and to obtain a speed range between 250 km/h and 400 km/h. This program still plans an Urban or Suburban version, the U-Trace[®], designed for speeds of 100 km/h [46].

II. Urban TACV

In Lyon, France, an urban hovertrain was designed to transport passengers on a monorail system. The URBA project started the construction of a 4 km test track, in 1968, to study two prototypes: URBA 4 and URBA 8, with seating capacity of 4 and 8 passengers, respectively, and a speed of 55 km/h. As it was a suspended monorail, the vehicle moved below the guideway causing a modification in the air cushion mechanism. In this situation, the cushion system sucks the air producing a negative pressure difference that suspends the vehicle. This transportation system intended to manufacture vehicles to 30 (URBA 30) or 100 passengers (URBA 100) and LIM propulsion [47, 48].

In the 1960s and 1970s, there was a big interest in the development of automated people movers (APM) systems, where small computerized vehicles move on pre-defined routes [49]. This movement was stimulated, particularly, in the USA with the government incentives to new rail urban transportation and environmentally friendly systems, since 1964 [9].

In this sector, the personal rapid transit (PRT) system appeared as a solution to displacement of people in small cabins designed for few passengers. This means of transport is suitable for small routes, like airport or hospital links, university campus and tourist locations. In 1967, the PRT Uniflo was presented as an automated system for 8 passengers with suspension and propulsion provided by air that circulates on a duct of the guideway [13, 50].

The Otis Hovair[®] technology, developed by Transportation Technology Inc. (TTI), from General Motors, and subsequently incorporated by Otis Elevator Company, is a PRT system designed with the TACV levitation and with LIM propulsion that made its first appearance at the Transpo'72, in Washington D.C., and was followed by the construction of a test track, in Denver, Colorado. The air cushion system presented rubber pads below the vehicle that enable the air circulation on a quieter manner. Although the initial planning, all the commercial versions of the Otis Hovair[®] were available with propulsion by cable-hauled driven, considered as a horizontal elevator [13, 51].

The first Otis Hovair[®] train was built in 1979, at the Duke University, and was designed for patient's transportation between different medical centers inside the campus with a track length of 400 m. This was the only vehicle with LIM propulsion and its operation remained until 2008 [52]. Figure 6 shows the PRT at Duke University.



Fig. 6. Otis Hovair PRT at Duke University Medical Center
(Source: Wikimedia, CC BY-SA 4.0)

From 1985 to 1999, the Otis Hovair[®] system moved passengers from Harbour Island to Downtown Tampa, in Florida, on a 760 m track. In Japan, a 280 m track connected two terminals at Narita International Airport, from 1992 to 2013 [51, 53].

The APM systems with the Otis Hovair[®] technology that are currently in operation can be seen in Table 2 with their corresponding characteristics. The APM systems in Austria and Switzerland are underground, while the others are placed on elevated tracks [53–57].

All systems were manufactured by Otis, POMA and, most recently, the Leitner Ropeways group. POMA and Leitner group developed the MiniMetro[®] [58–60], that joins the two companies expertise on cable-hauled drive and APM systems, and inaugurated the last TACV system at the Cairo International Airport, in 2013, that is show in Fig. 7.

Fig. 8 illustrates the Poma–Otis Hovair[®] ExpressTram at Detroit Metropolitan Airport.

Table 2. Technical data of low speed TACV prototypes

APM System	Site / Opening Year	Application	Supplier Company	Passengers/ cabin capacity	Speed (km/h)	Track length (m)
Dorfbahn Serfaus	Serfaus, Austria 1985	Sky Resort 4 stations	TTI Otis Hovair®	135	40	1300
Sun City Monorail	Sun City, South Africa 1986	Casino Resort 2 stations	TTI Otis Hovair®	N/A	40	1700
Cincinnati Airport People Mover	Cincinnati, USA 1994	Airport link 3 stations	Poma–Otis Hovair®	210	40	472
Getty Center Tram	Los Angeles, USA 1998	Museum 2 stations	Poma–Otis Hovair®	100	15	1200
HubTram	Minneapolis, USA 2001	Airport link 2 stations	Poma–Otis Hovair®	47	42	340
ExpressTram	Detroit, USA 2002	Airport link 3 stations	Poma–Otis Hovair®	114	48	1100
Huntsville Hospital Tram System	Huntsville, USA 2002	Hospital link 4 stations	Poma–Otis Hovair®	42	24	580
Skymetro	Zurich, Switzerland 2003	Airport link 2 stations	Poma–Leitner MiniMetro®	112	50	1100
MiniMetro Cairo	Cairo, Egypt 2013	Airport link 4 stations	Poma–Leitner MiniMetro®	170	50	1800

Note: N/A = data not available.

Fig. 7. Cairo International Airport MiniMetro®
(Courtesy from Leitner Group)



Fig. 8. ExpressTram at Detroit Metropolitan Wayne County Airport
(Source: Wikimedia, CC BY-SA 3.0)

TACV EVALUATION AND COMPARISON OF TACV AND MAGLEV

Based on the historic development of TACV and its technical characteristics, this section will make an evaluation of TACV systems and propose a comparison of TACV and MAGLEV on their corresponding features.

The High Speed TACV historic analysis evidence that none of the projects flourish and failed the attempt to provide a solution to the intercity and long distances transportation.

First, the scenario was very optimistic about the maturity stage of the air cushion technology for ground transportation, that considered a short term until it was ready for implementation and operationally feasible, like the hovercrafts. Many national railway operators, like in the United Kingdom and France, didn't share enthusiastic perspectives about unconventional technologies, like the TACV, and persisted with the development of wheel-rail HST, that presented higher readiness level [29]. Therefore, the first generation of wheel-rail HST spread out across Europe, particularly in France, Germany, Italy, Spain and Sweden, that followed the success of the Japanese *Tokaido Shinkansen* [8].

It should be noted also that all national high speed TACV projects were finished in the period between 1973 and 1977. One of the explanations for this lack of coincidence was economical. In 1973, an oil crisis that increased the commodity prices caused in the subsequent years, mainly in the western countries, economic problems that ended with almost 20 years of continued economic growth. The aftermath of this incident was the reduction of governmental investments in many sectors, including transportation, and a

budget trade-off between the deficit control and incentives to new technologies to decrease the fossil fuels dependence.

The second reason was due to technical factors that became the high-speed MagLev trains more attractive than their corresponding TACV. The power consumption required for the suspension system was much higher on TACV than on an EML MagLev. According to [29], the Tracked Hovercraft estimated a power of 2200 kW to float a 40-ton vehicle, while it would be necessary only 40 kW on the Transrapid. The Table 1 shows a mean power density with an order of magnitude of 25 kW/ton for the suspension system, while an equivalent EML train requires 1 to 2 kW/ton [38, 61]. The fans and blowers of an air cushion system also contributed to increase the vehicle weight and reduce the useful space for passengers, corresponding to 15 % of the weight [29].

The noise at high speeds was also a TACV drawback. While the *Transrapid 07* (TR-07) presented a noise level of 84 dBA [36], at 400 km/h, the Rohr UTACV reached 95 dBA [43], at 230 km/h.

These factors explain the shift to financial and research interest to MagLev trains in Germany [37], that decided for the EML system, in Italy [34] and the USA [62] that followed the EDL system with superconductors at cryogenic temperatures.

Another aspect that contributed to high speed TACV failure was its propulsion system. The initial proposed short stator double-sided LIM [63] was not appropriated for high speeds systems for safety reasons, because the aluminum reaction sheet that is placed in between the two sides of the stator could bend and beyond the thrust loss at the track joints [26]. The short stator single-sided LIM also had problems of power transmission to the vehicle at high speeds and increased the vehicle weight with power conversion equipment [64]. For instance, in the Tracked Hovercraft, the power electronics inverter weighed alone 13-ton whereas the overall weight of the RTV 31 was 23-ton [26].

The other propulsion methods used on TACV, like propellers, jet engines or rockets, were not appropriate for ground transportation for their high noise and high fuel consumption, besides their environmental problems. The most suitable propulsion system for high speed contactless trains was employed only in 1977 on *Transrapid 05* (TR-05), that used the long stator single sided LSM, and decisively contributed to technical feasibility of the HST EML MagLev [65, 66].

Table 3 presents a comparison between the TACV and the main MagLev methods. TACV needs a fan and pneumatic systems to distribute the air pressure and can float any kind of material. The EML system requires an interaction between ferromagnetic materials, the EDL needs a relative movement between conductors and ferromagnetic materials, while SML demand the interaction of ferromagnetic materials and superconductors.

The airgap order of magnitude in TACV, EML and SML MagLev systems are equivalent, while the biggest airgap is found on EDL MagLev. The pressure order of magnitude is figure of merit that indicates the amount of suspension force that is available over a surface. In this topic, the EML MagLev is better than all the others, while the TACV has the worst result [16, 67].

From the control systems perspective, it should be noted that the TACV is naturally stable and requires only a control loop to improve the vehicle suspension and the ride comfort, being insensitive to external disturbances. The EML, on the other hand, are naturally unstable and require a complex control loop and a redundancy system to keep the vehicle floating at the set-point position. The SML doesn't need any control system, while the EDL requires the null-flux arrangement for guidance and levitation stability, and additional active damping control [16, 68].

Table 3. TACV and MagLev comparison

Levitation System	Floating material	Airgap order of magnitude (mm)	Pressure order of magnitude (N/cm ²)
TACV	Any	10	1
EML MagLev	Ferromagnetic	10	100
EDL MagLev	Conductor	100	10
SML MagLev	Superconductor	10	10

Considering the urban TACV, and most specifically the Hovair[®] technology, it's possible to note a consolidated market niche. The Hovair[®] system is being applied in touristic, hospital and airport links, as can be seen at Table 2. Its currently version, the MiniMetro[®] with air cushion suspension, keeps the cable-hauled propulsion. The main advantage is the vehicle weight reduction since it doesn't need on-board motors inside. However, the cable-hauled system produces friction losses and requires machine rooms at its installation site, and large maintenance costs.

According to [51] and [52], the Otis Hovair[®] significantly reduced the power consumption and noise of the ACV suspension system, when compared with the high-speed TACV. Its ACV suspension power density has an order of magnitude of 1 kW/ton, which is equivalent to EML MagLev. For instance, the first urban MagLev, at Birmingham Airport (UK), was designed for 2 kW/ton [69].

The comparison of Hovair[®] and urban MagLev shows some similarities between them. Both trains run on segregated tracks, like undergrounds or, more commonly, elevated tracks and don't interfere on local traffic. The levitation systems distribute the load on the support structure, which reduces the civil engineering costs and provides lighter and compact infrastructure [70, 71]. The vehicle operating speeds of 50 km/h to 60 km/h, and maximum gradients close to 10 % of both suspension systems are equivalent and even superior to light rail vehicles (LRV) [72].

The main Hovair[®] and MiniMetro[®] limitation is the track distance, that doesn't must be superior to 5 km to maintain its economic feasibility [73], while MagLevs don't have track length restriction. The radius curves are also a restriction factor for the ACV vehicles, while, for instance, the EML MagLev HSST [74], in Japan, or the SML MagLev-Cobra [70], in Brazil, can accept minimum curves of 50 meters.

CONCLUSION

This paper presented the TACV history development for high speed and urban transportation. It could be noted the research done at six different countries – Brazil, France, Germany, Italy, United Kingdom and USA – to develop a reliable and feasible high-speed train using the ACV principle. However, all projects failed for many reasons, from the insensitivity or anticipated mistrust of public planners and traditional rail operators to technical inadequacy of some characteristics that caused their shift to MagLev trains or the maintenance of wheel-rail perspective over the long run.

In this sense, the 50 years of high-speed MagLev research in Germany and Japan, shows the technical feasibility and the great potential of magnetic levitation technique, despite its drawback of intermodal compatibility, and provides good lessons about the synergy between industry partners, rail operators and government to achieve a more reliable and efficient transportation system.

The urban TACV – the Hovair[®]/Minimetro[®] – have found a well established market niche at straight and short distance tracks, like resorts, museums, hospitals and airports, and currently provide a competitive APM commercial solution when compared with other conventional modes of transportation. Although this expertise to mean an entrance barrier to new MagLev competitors, the absence of limitation factors, as track length or radius curves, ally with a non-contact, non-wear and lower noise LIM propulsion are good advantages that make the MagLev more attractive than the TACV for urban transportation.

It's important also that MagLev manufactures provide full APM solutions for customers' needs, as the Minimetro[®]. Currently a good effort is being doing on this subject by *Transrapid* for its high-speed product [75].

Finally, it is expected that the Maglev planners know the TACV history – its failure for high-speed and success for urban transportation – and learn important insights for the Maglev development, that besides its competitive advantages may convince the decision makers of its suitability at different markets.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank to CNPq and FAPERJ for financial support, and to *Centro Universitário FEI* and *Leitner Group* for image use permission.

References

1. United Nations. World Economic and Social Survey 2019: Reflecting on seventy years of development policy analysis. Department of Economic and Social Affairs, 2017.
2. United Nations. World Urbanization Prospects: The 2003 Revision. Department of Economic and Social Affairs, 2004.
3. United States of America. Federal Aid Highway of 1956, Pub. L. No. 84–627, 70 Stat. 374 (June 29, 1956).
4. Wahl P. The Transportation Muddle – There Must Be a Better Way to Get From Here to Here. *Popular Science*. 1972;200(5):91-93,182.
5. United Nations. Report of the United Nations Conference on the Human Environment; 1972 June 5–16; Stockholm, Sweden. New York; 1973.
6. Wakuda Y. Railway Modernization and Shinkansen. *Japan Railway & Transport Review*. 1997;(11):60-63.
7. Lacôte F. 50 Years of Progress in Railway Technology. *Japan Railway & Transport Review*. June 2001;(27):25-31.
8. Smith RA. Railway Technology – The Last 50 Years and Future Prospects. *Japan Railway & Transport Review*. 2001;(27):16-24.
9. United States of America. Urban Mass Transportation Act of 1964, Pub. L. No. 88–365, 78 Stat. 302 (July 09, 1964).
10. United States of America. High Speed Ground Transportation Act of 1965, Pub. L. No. 89–220, 79 Stat. 893 (September 30, 1965).
11. Cockerell CS, inventor; Hovercraft Dev.Ltd., assignee. *Vehicles for travelling over land and/or water*. United States patent US 3182739A. 1965 May 11.
12. Laithwaite ER, Bolton HR., inventors; National Research Development Corp UK, assignee. *Linear induction motors*. United States patent US 3648084A. 1972 Mar 03.
13. Wahl P. Personal Rapid Transit. *Popular Science*. 1971;199(5):73-77, 136.
14. Transpo 72: How we'll keep'em moving. *Popular Mechanics*. 1972;4:88-89.
15. Yun L, Bliault A. *Theory & Design of Air Cushion Craft*. 1st ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann; 2005. 632 p.
16. Sinha PK. *Electromagnetic Suspension, Dynamics and Control*. IEE Control Engineering Series. London: Peter Peregrinus Ltd.; 1987.
17. Scales JT, Hopkins LA, Bloch M, et al. Levitation in the Treatment of Large-Area Burns. *The Lancet*. 1967;289(7502):1235-1240. doi: 10.1016/s0140-6736(67)92710-9
18. Seck WG, inventor; The Hoover Company, assignee. *Air supported cleaner with diffuser*. United States patent US 2743787A. 1956 May 01.
19. Camph SE, inventor; Flymo Sa, assignee. *Lawn mowers*. United States patent US 3338038A. 1967 Aug 29.
20. Rothwell R, Gardiner P. Invention, Innovation, Re-innovation and the Role of the User: A Case Study of British Hovercraft Development. *Technovation*. 1985;3(3):167-186. doi: 10.1016/0166-4972(85)90012-4
21. Cars that Fly. [Internet]. *Modern Mechanix*. 1958;10:92-95. [cited 2018 Aug 05].



- Available at: <http://blog.modernmechanix.com/cars-that-fly/#mmGal>
22. Egginton WJ. Air-Cushion Vehicles: Present and Future. *FLIGHT International: Air-Cushion Vehicles*. 1963;(2 Suppl. 8):22-25.
 23. Ellison AJ, Bahmanyar H. Surface-guided transport systems of the future. *Proceedings of IEE: IEE Reviews*. 1974;121(11R):1224-1248. doi: 10.1049/piee.1974.0277
 24. Zurek R. Methods of levitation for tracked high-speed traffic. *Endeavour*. 1978;2(3):108-114. doi: 10.1016/0160-9327(78)90003-0
 25. Ferreira HP. *Retrospectiva dos Métodos de Levitação e o Estado da Arte da Tecnologia de Levitação Magnética* [BSc. Thesis]. Rio de Janeiro, Brazil: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2017.
 26. Laithwaite ER. *A History of Linear Electric Motors*. London: Macmillan Education Ltd.; 1987. doi: 10.1007/978-1-349-08296-4
 27. English CD., inventor; Tracked Hovercraft Ltd., assignee. *Electro-magnetically propelled vehicle*. United States patent US 3557704A. 1971 Jan 26.
 28. Fellows T, Garstin D, Charity M., inventors; Tracked Hovercraft Ltd., assignee. *High speed ground transportation systems*. United States patent US 3823672A. 1974 Jul 16.
 29. Hope R. Dropping the tracked hovercraft. *New Scientist*. 1973;57(833):358-360.
 30. Bertin JH, Feve MLB, Guienne PF., inventors; Bertin Technologies SA, assignee. *Air-cushion sustained vehicles*. United States patent US 3417709A. 1968 Dec 24.
 31. Giraud FL. Tracked Air-Cushion Vehicles for Ground Transportation System. *Proceedings of the IEEE*. Apr 1968;56(4):646-653. doi: 10.1109/proc.1968.6351
 32. Meunier J. *On the Fast Track: French Railway Modernization and the Origins of the TGV, 1944–1963*. Westport: Praeger Publishers; 2002.
 33. Redazione. In via d'esperimento: Vanno a rilento gli stanziamenti per l'aerotreno. *L'Unità*. 1972 May 16; Sec. Echi e notizie: 6.
 34. Lanzara G, D'Ovidio G, Crisi F. UAQ4 Levitating Train: Italian Maglev Transportation System. *IEEE Vehicular Technology Magazine*. 2014;9(4):71-77. doi: 10.1109/mvt.2014.2362859
 35. Tönningens UJ. *Transrapid: Eine Vision wird Wirklichkeit (A Vision becomes Reality)*. Berlin: Transrapid International; 2007.
 36. He JL, Rote DM, Coffey HT. Survey of Foreign Maglev Systems. Final Report. Argonne (IL): Center for Transportation Research, Energy System Division (US), Argonne National Laboratory; 1992 Jul. Report No.: ANL/ESD-17 ON: DE93008495. Contract No.: W-31109-ENG-38.
 37. Gutberlet H. The German magnetic transportation program. *IEEE Transactions on Magnetics*. Sep 1974;10(3):417-420. doi: 10.1109/tmag.1974.1058431
 38. Büllingen F. *Die Genese der Magnetbahn Transrapid: Soziale Konstruktion und Evolution einer Schnellbahn*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 1997.
 39. Reiff GA. New Capabilities in Railroad Testing. *Proceedings of the American Railway Engineering Association. Bulletin 639*, Sep-Oct 1972;74:1-10.
 40. Volpe JA. Coming: Streamliners Without Wheels. *Popular Science*. 1969;195(6):51-55.
 41. Kalman GP, Irani D, Simpson AU. Electric Propulsion System for Linear Induction Motor Test Vehicle. In: *Proceedings of the 4th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*; 22–26 Sep 1969; Washington, D.C., U.S.A; 1969; p. 807–17.
 42. Danna JH, Day RN, Kalman GP. A Linear-Induction Motor Propulsion System for High-Speed Ground Vehicles. *Proceedings of the IEEE*. May 1973;61(5):621-630.



- doi: 10.1109/proc.1973.9119
43. Rohr Industries, Inc. PTACV Marketing Survey Report and System Summary Final Report. Chula Vista (CA): Advanced Transportation Systems. Prepared for U.S. Department of Transportation; 1976 Jun. Contract No.: DOT-UT-10031.
 44. Centro Universitário da FEI. *Mecânica Automobilística: 40 anos*. São Paulo: Projetos de Comunicação e Editora; 2003.
 45. Brower JrWB. Tubeflight – A Review. In: The Space Congress Proceedings, 7th Technology Today and Tomorrow; 22–24 Apr 1970; Cocoa Beach, Florida, U.S.A; 1970; Paper 2, p. (10–15)–(10–45).
 46. Coquery G, Perrot C, Combette M. *et al.* Fast Ultra Light Tracked Air Cushion interurban transportation system moved by Linear Induction Motor: Discussions on Technologies and Environmental criteria's. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives (MAGLEV'14); Sep 28 – Oct 1st 2014; Rio de Janeiro, Brazil; 2014.
 47. Zelkin G. *Science for Everyone: Flying Trains*. Moscow: Mir Publishers; 1986.
 48. Rose J. *Wheels of Progress? Motor Transport, Pollution and the Environment*. London: Gordon and Breach, Science Publishers Ltd.; 1973.
 49. Anderson JE. Some Lessons from the History of Personal Rapid Transit (PRT) [Internet]. Washington: PRT International, LLC; [updated 2009 Oct 30; cited 2018 Aug 05]. Available at: <https://faculty.washington.edu/jbs/itrans/Evolution%20of%20PRT1.pdf>.
 50. Berggren LE., inventors; Berggren LE., assignee. *Pneumatic propulsion transportation system*. United States patent US 3242876A. 1966 Mar 29.
 51. Catling D. The Otis Shuttle. *Highways and Transportation*. Jun 1992;39(6):12-13.
 52. Saunders LL. Automated Transit Technology Development: a Key to the Future. In: Proceedings of the 30th Annual Conference of the IEEE Vehicular Technology Society, International Conference on Transportation Electronics; 15–17 Sep 1980; Dearborn, Michigan, U.S.A; 1980; p. 1–6. doi: 10.1109/vtc.1980.1622849
 53. Simpson BJ. *Urban Public Transport Today*. London: Taylor & Francis; 1988. doi: 10.4324/9780203362235
 54. Pyrgidis CN. *Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation*. Florida: CRC Press; 2016.
 55. Elias JA. (Calspan Corporation Advanced Technology Center, Buffalo, NY). Precursor Systems Analyses of Automated Highway Systems. Final Report Vol. II, AHS Comparable Systems Analysis. McLean (VA): Federal Highway Administration (US), Turner-Fairbank Highway Research Center; 1994 Nov. Report No.: FHWA-TS-95-Volume II. Contract No.: DTFH61-93-C-00192.
 56. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Lea+Elliott, Kimley-Horn and Associates, Inc., Randolph Richardson Associates. ACRP Report 37: Guidebook for Planning and Implementing Automated People Mover Systems at Airports. Transportation Research Board. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration. The National Academies Press; 2010.
 57. Bares FP. Rope Automatic People Mover Systems. [Internet]. POMA/OTIS; Farmington, CT [cited 2018 Aug 05]. Available at: <https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/11124/70529/n12-Frank-Bares.pdf?sequence=1>.
 58. POMA Urbanway. [Internet]. POMA. [cited 2018 Aug 05]. Available at: http://www.poma.net/wp-content/uploads/2015/06/urban_brochure.pdf.
 59. MiniMetro[®]: Rope-hauled Urban Transportation Systems [Internet]. Leitner-ropeways. [cited 2018 Aug 05]. Available at: [https://www.leitner-](https://www.leitner-ropeways.com/)



- ropeways.com/fileadmin/user_upload/pages/MiniMetro-en.pdf
60. The POMA MiniMetro® in Cairo. Press Release. [Internet]. POMA. [cited 2018 Aug 05]. Available at: http://www.funivie.org/cantieri/albums/userpics/10101/miniMetroPoma_Le_Caire_ENok.pdf
 61. Jayawant BV. Magnetically suspended vehicles for urban transport systems. *Electronics & Power*. 1977;23(3):235-238. doi: 10.1049/ep.1977.0126
 62. Reitz JR, Borcherts RH. U. S. Department of Transportation Program in Magnetic Suspension (Repulsion Concept). *IEEE Transactions on Magnetics*. 1975;11(2):615-618. doi: 10.1109/tmag.1975.1058657
 63. Laithwaite ER. Linear induction motors for high-speed vehicles. *Electronics & Power*. Jul 1969;15(7):230-233. doi: 10.1049/ep.1969.0234
 64. Laithwaite ER, Barwell FT. Application of linear induction motors to high-speed transport systems. *Proceedings of the IEE – Power*. 1969;116(5):713-724. doi: 10.1049/piee.1969.0143
 65. Weh H. Linear Synchronous Motor Development for Urban and Rapid Transit Systems. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1979;15(6):1422-1427. doi: 10.1109/tmag.1979.1060438
 66. Hellinger R, Mnich P. Linear Motor-Powered Transportation: History, Present Status, and Future Outlook. *Proceedings of the IEEE*. Nov 2009;97(11):1892-1900. doi: 10.1109/jproc.2009.2030249
 67. Stephan RM, Castro Pinto FAN, Gomes AC, et al. *Mancais Magnéticos: Mecatrônica sem Atrito*. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna; 2013.
 68. Han H-S, Kim D-S. *Magnetic Levitation. Springer Tracts on Transportation and Traffic*. Springer Netherlands; 2016. 247 p. doi: 10.1007/978-94-017-7524-3
 69. Pollard MG. Maglev – a British First at Birmingham. *Physics in Technology*. 1984;15(2):61-66. doi: 10.1088/0305-4624/15/2/i04
 70. Stephan RM, de Andrade Jr. R, Ferreira AC et al. Maglev-Cobra: an urban transportation system for highly populated cities. *Transportation systems and technology*. 2015;1(2):16-25. doi: 10.17816/transsyst20151216-25
 71. Batista E de M, Silva ACP, Metello F, et al. Integrating an Urban MagLev Vehicle to Highly Populated Cities. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives (MAGLEV'14); Sep 28 – Oct 1st 2014; Rio de Janeiro, Brazil; 2014.
 72. Brazil. Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana: Veículo Leve Sobre Trilhos. Ministério das Cidades, Brasília/DF, 2017. Available at: <http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/veiculo-leve-sobre-trilhos---caderno-tecnico.pdf>.
 73. Seeber A. The Renaissance of the Cableway: Innovative Urban Transportation Solutions from Leiner Technologies. Prokopp & Hechensteiner. Available at: en.minimetro.com/content/download/15030/556018/version/2/file/POMA-Urban+Transport-en-fr.pdf.
 74. Murai M, Tanaka, M. Magnetic Levitation (Maglev) Technologies: Normal-conducting HSST Maglev. *Japan Railway & Transport Review*. 2000;(25):61-67.
 75. Becker P, Frantzheld J, Loeser F, et al. Transrapid – Proven Solution Meeting Current and Future Transport Needs. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives (MAGLEV'14); Sep 28 – Oct 1st 2014; Rio de Janeiro, Brazil; 2014.



Information about the authors:

Ferreira Hugo Pelle, B.Sc., Engineer; Avenida Athos da Silveira Ramos, 149, Centro de Tecnologia, Bloco I, I-148 – Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. CEP: 21945-970, Caixa Postal: 68553.

ORCID: 0000-0003-3740-9312;

E-mail: hugopelle@poli.ufrj.br

Stephan Richard Magdalena, Dr. Ing., Professor;

ORCID: 0000-0002-8019-1016;

E-mail: richard@dee.ufrj.br

To cite this article:

Ferreira HP, Stephan RM. Air Cushion Vehicle (ACV): History Development and Maglev Comparison. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):5-25. doi: 10.17816/transsyst2019515-25



Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК 338.47-656

DOI 10.17816/transsyst20195126-41

© **М. В. Фёдорова**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ОЦЕНКА ОБЩЕСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация: Оценка общественной эффективности стратегии скоростного городского транспорта является заключительным этапом формирования стратегии развития скоростного транспорта.

Стратегия развития скоростного городского транспорта отличается следующими основными характеристиками:

- значительные первоначальные инвестиции, которые в ряде случаев рассматриваются как объективное препятствие к принятию и реализации стратегии;
- длительные сроки реализации стратегии;
- разнесение во времени достижения поставленных целей;
- использования финансовых ресурсов.

Эти характеристики увеличивают текущую стоимость проекта. Сложен процесс измерения результатов внедрения нового транспортного продукта, т.к. значительная часть результатов, носит внешний характер и зачастую не поддается стоимостному измерению.

Перечисленные особенности доказывают актуальность определения общественной эффективности стратегии развития скоростного транспорта. Учитывая специфику объекта исследования, сопоставление затрат и результатов внедрения инновационного транспортного продукта должно происходить в рамках оценки его общественной эффективности.

Целью работы является разработка системы показателей для оценки общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта. Изучение существующих методик оценки общественной эффективности, поиск недостатков и преимуществ, исследование преимуществ магнитолевитационной технологии.

Предлагаемая система показателей для оценки общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта учитывает все преимущества магнитолевитационной технологии и делает её приоритетной при выборе скоростного городского транспорта.

Ключевые слова: общественная эффективность, скоростной городской транспорт, магнитная левитация.

© M. V. Fedorova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

EVALUATION OF PUBLIC EFFECTIVENESS OF THE STRATEGY FOR DEVELOPMENT OF SPEED URBAN TRANSPORT

Abstract. Assessment of public efficiency of rapid urban transport development strategy is the final stage in the formation of a strategy for the development of rapid transport.

The rapid urban transport development strategy is distinguished by the following main characteristics:

- significant initial investment, which in some cases is considered as an objective obstacle to adoption and implementation of the strategy;
- long timeframes for implementation of the strategy;
- timing of the achievement of the goals;
- use of financial resources.

These characteristics enhance the current cost of the project. The process of measuring the results a new transport project implementation is complicated, because a significant part of the results is of external character and is not subject to cost measuring.

The peculiarities listed above prove the relevance of determination of public efficiency rapid urban transport development strategy. Considering the specifics of the object of the research, the comparison of costs and results of innovative transport product implementation should be carried out within assessment of its public efficiency.

The aim of this work is to develop a system of indicators for assessment of public efficiency of rapid urban transport development strategy; study of existing public efficiency assessment methods, search for their advantages and disadvantages, and research into maglev technology advantages.

The system of indicators proposed to assess public efficiency of rapid urban transport development strategy, considers all advantages of maglev technology and prioritises it in selecting rapid urban transport.

Keywords: social efficiency, high-speed urban transport, magnetic levitation.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитолевитационный транспорт отвечает требованиям инновационности, так как обеспечивает прорывные решения в организации городских перевозок: безопасность пассажиров, экологическую безопасность, высокую скорость, энергоэффективность, низкую по сравнению с существующими видами транспорта стоимость жизненного цикла [1].

В таблице 1 представлены факторы конкурентоспособности скоростного городского транспорта на магнитолевитационной основе [2].

Таблица 1. Факторы конкурентоспособности скоростного городского транспорта

№	Факторы конкурентоспособности
1	Безопасность пассажиров
2	Среднее время трудовой поездки
3	Оптимизация затрат на строительство и перевозку пассажиров
4	Экологичность
5	Энергоэффективность

В транспортной системе городских агломераций присутствует свой круг лиц, заинтересованных в процессе перевозки. Для каждого из них важны свои приоритеты и цели:

- для городских и местных органов власти - разработка перспективных планов по увеличению доли общественного транспорта в городских пассажирских перевозках;
- для инвесторов – вложение инвестиций в инновационную транспортную систему города и отдача вложенного капитала;
- для промышленности – создание новых инновационных продуктов для городского транспорта.

Выделим приоритеты выбора вида городского транспорта с точки зрения членов транспортной системы: пассажира, государства, инвестора, принимая во внимание используемые исследования [3]. На Рис. 1 указаны приоритеты каждого из элементов системы.



Рис. 1. Приоритеты выбора вида городского транспорта

В экономической литературе делается акцент на то, что развитие магнитолевитационного транспорта может стать реальным ответом на рост требований общества к качеству и скорости перемещения пассажиров в эпоху цифровизации экономики. В связи с новыми трендами в эволюции транспортных систем обоснована необходимость использования принципиально новых видов транспорта, а также выявлены ограничения, накладываемые на дальнейшее совершенствование технологии «колесо-рельс» [4].

Обеспечение развития транспортной системы городских агломераций должно идти опережающими темпами по сравнению с другими отраслями экономики. Это обусловлено её особой ролью в экономике городских агломераций – созданием инфраструктуры для развития других отраслей, с реализацией крупных инвестпроектов по строительству транспортной инфраструктуры, нового подвижного состава и во многом зависит от возможностей привлечения помимо государственных, частных инвестиций [5]. Эти моменты имеют исключительно долгосрочный характер, существенно влияют на развитие городского пассажирского транспорта и поэтому относятся к стратегической области управленческих решений. Таким образом, это обуславливает необходимость разработки стратегии развития скоростного городского пассажирского транспорта в городской агломерации, обеспечивающей повышение скорости перемещения.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Стратегия представляет собой совокупность управленческих решений, направленных на достижение целей развития скоростного городского транспорта для наиболее полного удовлетворения спроса населения на скоростные перевозки, основанных на конкурентных преимуществах обоснованной нами новой технологии: более высокой, в сравнении с метрополитеном, маршрутной скоростью; низкими эксплуатационными расходами; невозможностью схода с рельс, отсутствием шума и пыли, сниженного энергопотребления за счет отсутствия сил трения, высокой пропускной способности, при условии развития транспортной инфраструктуры.

На основе проведённого анализа существующих подходов к формированию стратегий развития городского транспорта нами предложен концептуальный подход к формированию стратегии развития скоростного городского транспорта, с учётом специфики предлагаемой магнитолевитационной технологии, который включает основные этапы её разработки и механизм реализации: определение миссии; стратегических

приоритетов и целей, целевых индикаторов, а также постановку задач развития скоростного городского транспорта, оценку инвестиционной стоимости проекта, оценку общественной эффективности стратегии. На рисунке 2 он представлен на примере транспортной системы Санкт-Петербургской агломерации.

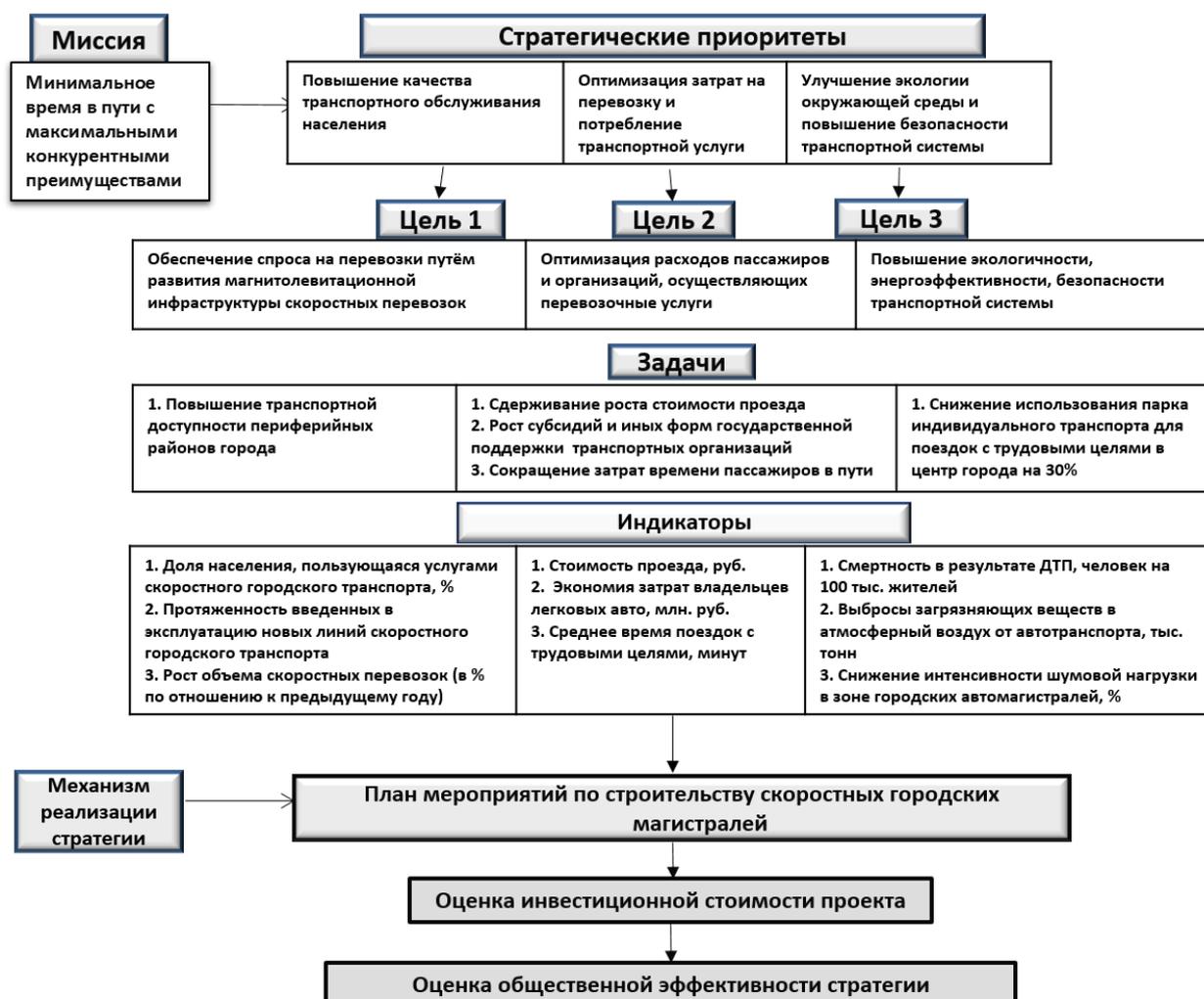


Рис. 2. Концептуальный подход к формированию стратегии развития скоростного городского транспорта

Процесс формирования и реализации стратегии развития скоростного городского транспорта включает пять этапов:

1. Формирование стратегического видения будущего скоростного городского транспорта; определение долгосрочной перспективы развития, формулировка целей скоростного городского транспорта, выделение приоритетов развития скоростного городского транспорта;
2. Постановка целей; переход от стратегического видения к практическим действиям;

3. Разработка стратегии;
4. Реализация стратегии;
5. Оценка результатов и корректировка стратегического видения, целей, стратегии и их реализации с учетом приобретенного опыта, меняющихся условий, появления новых идей и возможностей.

Выбор стратегии является залогом успеха деятельности и развития скоростного городского транспорта. Прежде всего, формирование стратегии определяется миссией и видением скоростного городского транспорта.

Видение - это перспективы и стратегические направления развития скоростного городского транспорта, планы, которые могут быть достигнуты в будущем. Оно охватывает не только скоростной городской транспорт и его становление, но и всю транспортную отрасль, избранные технологии, а также положение, которое скоростного городского транспорта стремится занять в конкурентной борьбе. Видение – это то, чем станет скоростной городской транспорт через 5-10 лет, его перспективные возможности и целевая аудитория.

Если видение определяет будущее, то задача показывает деятельность отрасли в настоящее время. Задача обусловлена высокой социально-экономической ролью скоростного городского транспорта в современном обществе. Ситуация в отрасли пассажирских перевозок дает массу конкурентных преимуществ скоростному городскому транспорту в выполнении своей задачи.

Задачу скоростного городского транспорта определяют заинтересованные группы, потребности которых он стремится удовлетворить. Формируя задачу скоростного городского транспорта, прогнозируется объем пассажирских перевозок, которые скоростной городской транспорт будет предоставлять пассажирам.

Формируя задачу скоростного городского транспорта, нужно точно описать текущую ситуацию рынка пассажирских городских перевозок, технологий. Четко сформулированная задача скоростного городского транспорта позволяет:

- ✓ поставить ведущие, приоритетные цели, стоящие перед скоростным городским транспортом;
- ✓ определить развитие скоростного городского транспорта на долгосрочную перспективу;
- ✓ уменьшить риск принятия неэффективных решений.

Стратегические приоритеты отвечают за:

- что даёт развитие скоростного транспорта населению агломерации?
- что ожидает бизнес-сообщество, хозяйствующие субъекты экономики агломерации от развития скоростной транспорта?
- что должен получить транспорт в процессе реализации стратегии,

чтобы обеспечить эффективную работу скоростного городского транспорта?

Таким образом, основные стратегические приоритеты развития скоростного городского транспорта описывают целевые ориентиры развития скоростного городского транспорта с точки зрения удовлетворения потребностей населения, бизнеса, а также представителей скоростного городского транспорта.

На втором этапе формирования стратегии скоростного городского транспорта - этапе постановки целей миссия скоростного городского транспорта превращается в конкретные результаты и итоги, к которым мы стремимся в определённые сроки. Цели будут иметь управленческую ценность только в том случае, если они будут определены в количественных и измеряемых показателях, а также содержать предельные значения, которые необходимо добиться.

Определение целей устанавливает ориентиры, которые позволяют оценить деятельность скоростного городского транспорта.

Цели стратегии развития скоростного городского транспорта должны соответствовать целям Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [6], но не должны обязательно совпадать с ними. Рекомендуемыми целями стратегии скоростного городского транспорта являются:

Цель 1. Обеспечение спроса на перевозки путём развития магнитолевитационной инфраструктуры скоростных перевозок.

Цель 2. Оптимизация расходов пассажиров и организаций, осуществляющих перевозочные услуги.

Цель 3. Повышение экологичности, энергоэффективности и безопасности транспортной системы.

При реализации Цели 1 стратегия должна предусматривать формирование оптимальных маршрутных сетей скоростного транспорта для удовлетворения спроса на скоростные пассажирские перевозки различных категорий населения в зависимости от местных условий, а также повышение транспортной доступности периферийных районов города.

Задачами по второй цели являются: сдерживание роста стоимости проезда, рост субсидий и иных форм государственной поддержки транспортных организаций, сокращение затрат времени пассажиров в пути.

Роль агломерации в реализации Цели 3 стратегии состоит в обеспечении безопасности на уровне, заданном индикаторами стратегии. При этом транспортные стратегии должны детализировать мероприятия, направленные на повышение безопасности транспортной системы с учетом местных условий. Важнейшими мероприятиями с позиций безопасности являются мероприятия по устранению опасных участков транспортной системы.

Реализация Цели 3 стратегии по снижению негативного воздействия транспортной системы на окружающую среду входит в сферу стратегических интересов социально-экономического развития агломерации и напрямую зависит от деятельности региональных администраций. В связи с этим, региональные транспортные стратегии должны предусматривать комплекс задач и мер по достижению индикаторов стратегии, связанных с воздействием транспорта на экологическую ситуацию в регионах, а также повышению энергоэффективности транспорта. Снижение воздействия транспорта на окружающую среду достигается через снижение выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду, снижение воздействия на природные ландшафты. Развитие общественного автотранспорта с эффективными двигателями, использующими альтернативные виды топлива, является существенным фактором влияния на окружающую среду на урбанизированных территориях.

Задачей по третьей цели мы выделили снижение использования парка индивидуального транспорта для поездок с трудовыми целями в центр города на 30 %.

По каждой цели стратегии скоростного городского транспорта необходимо дать ее краткое описание, раскрывающее, что даст достижение данной цели экономике и социальной сфере региона, и за счет каких основных мер предусматривается достичь данную цель. Форма и стиль этого описания определяется разработчиком. По каждой цели стратегии скоростного городского транспорта должны быть описаны целевые индикаторы.

На этапе разработки стратегии нужно ответить на вопрос: как достичь поставленных целей. Стратегия — средство достижения цели.

Механизм реализации стратегии применительно к Санкт-Петербургской агломерации включают комплекс мер, осуществляемых государственными заказчиками и Координационным советом по развитию транспортной системы СПб и ЛО в целях повышения эффективности реализации мероприятий (проектов) и достижения планируемых показателей (индикаторов), предусмотренных Стратегией.

Стратегия является основой для учета особо значимых крупных инвестиционных проектов, направленных на развитие транспортной системы СПб и ЛО, в документах стратегического планирования Российской Федерации, Санкт-Петербурга и Ленинградской области согласно Федеральному закону от 28.06.2014 № 172 ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [7].

ОЦЕНКА ОБЩЕСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИИ СКОРОСТНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Оценка общественной эффективности стратегии скоростного городского транспорта является завершением разработки стратегии развития скоростного городского транспорта. Обратим особое внимание её значению и расчёту. Как показал анализ, процесс разработки стратегии развития транспортных систем как регионального и федерального уровня включает в себя определение целей, которые должны быть достигнуты на каждом этапе ее реализации и обоснование необходимых финансовых ресурсов для их достижения.

Стратегия развития скоростного городского транспорта отличается следующими основными характеристиками:

- значительные первоначальные инвестиции, которые в ряде случаев рассматриваются как объективное препятствие к принятию и реализации стратегии.
- длительные сроки реализации стратегии и разнесение во времени достижения поставленных целей и использования финансовых ресурсов делают более значимым определение текущей стоимости результатов проекта и сопоставление их с первоначальными инвестициями [8].

Трудность составляет процесс измерения результатов (эффектов) внедрения нового транспортного продукта, значительная часть из которых, носит внешний характер и зачастую не поддается стоимостному измерению.

Перечисленные особенности доказывают актуальность определения общественной эффективности стратегии развития скоростного транспорта. Учитывая специфику объекта исследования, сопоставление затрат и результатов внедрения инновационного транспортного продукта должно происходить в рамках оценки его общественной эффективности.

Для «общественно значимых» проектов, в первую очередь оценивается их *общественная (социально-экономическая, а согласно западной терминологии — «экономическая»)* эффективность. При неудовлетворительной общественной эффективности такие проекты не могут претендовать на государственную поддержку. Если же их общественная эффективность оказывается достаточной, производятся расчеты коммерческой эффективности [9].

Показатели социально-экономической эффективности учитывают социально - экономические последствия осуществления инвестиционного проекта для общества в целом, в том числе как непосредственные результаты и затраты проекта, так и «внешние» затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты. Речь идёт о существовании так называемых внешних эффектов (экстерналий), то есть затрат и результатов проекта, не нашедшие адекватного отражения в показателях хозяйственной

деятельности субъектов экономической деятельности, участвующих в проекте.

Все внешние эффекты проекта делятся на эффекты, которые можно оценить в стоимостной форме и эффекты, которые нельзя выразить в денежных единицах. В свою очередь, последние разделяются на эффекты, имеющие количественное выражение и эффекты, описываемые только на качественном уровне. Внешние эффекты, которые можно оценить в денежном выражении, непосредственно включаются в расчеты социально-экономической эффективности проекта в виде дополнительных притоков и оттоков денежных средств.

В самом общем виде внешние эффекты можно разделить на экологические, социальные, экономические и общественные блага, которые нельзя измерить в денежном выражении.

К экологическим экстерналиям относятся: изменение загрязнения почв, вредных выбросов в атмосферу, водоемы; нарушение экологического баланса территории;

Внешние эффекты социального характера включают экстерналии, непосредственно связанные с уровнем жизни населения (в отличие от технологических, влияние которых можно считать опосредованным). Показателями социального эффекта, достигаемого в результате реализации регионального инвестиционного проекта, являются: повышение уровня занятости населения в трудоспособном возрасте; повышение уровня обеспеченности населения благоустроенным жильем; повышение доступности и качества услуг населению в сфере транспорта, здравоохранения, образования, физической культуры и спорта, культуры, жилищно-коммунального хозяйства; изменение доходов населения, уровня безработицы, цен на товары и услуги, качества продуктов питания, качества и стоимости жилья, обеспеченности жильем, обеспеченности услугами хозяйственно-бытового и коммунального назначения, учреждений культуры, спорта, транспортного обслуживания, уровня образования и здравоохранения, условий труда, числа рабочих мест с тяжелыми, вредными и опасными условиями труда.

Внешние эффекты экономического характера отражаются в затратах и доходах предприятий и организаций, не участвующих в проекте. К ним могут быть отнесены: создание и развитие новых производств (за счет обеспечения транспортом, сырьем, инновационными разработками); экономия на транспортных расходах предприятий здравоохранения, культуры за счет строительства новой дороги и т.д.

Рассмотрим опыт расчёта внешних эффектов по высокоскоростным магистралям Москва-Санкт-Петербург и Москва-Казань. При расчете экономической эффективности проекта строительства ВСМ-1 Москва – Санкт-Петербург, согласно Методике ОАО «РЖД» от 29.08.2009

учитывались притоки и оттоки денежных средств, характеризующие внешние экономические эффекты проекта. К ним относятся: дополнительная прибыль предприятий отраслей промышленности, предприятий строительного комплекса, формирующаяся в период строительства ВСМ; дополнительная прибыль предприятий отраслей промышленности, производителей электроэнергии, формирующаяся в период эксплуатации ВСМ; прирост доходов в бюджеты всех уровней за счет поступлений налоговых платежей от ОАО «РЖД» и косвенных участников, обусловленных реализацией проекта; сокращение прибыли авиаперевозчиков в связи с переключением части пассажиропотока на ВСМ; сокращение бюджетных расходов на реализацию государственной политики содействия занятости населения страны; притоки денежных средств, формируемые за счет стоимостной оценки сокращения времени пассажиров на поездку по ВСМ из Москвы в Санкт-Петербург и обратно; дополнительная прибыль строительных компаний, создающих жилую и коммерческую недвижимость в районах, тяготеющих к новой железнодорожной линии, в связи с ростом доходов населения и повышением спроса на жилье.

С учётом масштаба высокоскоростной трассы ВСМ-2 «Москва - Казань»: выделяют социально-экономические эффекты: эффект от индуцированного спроса, увеличение региональной занятости и трудовых корреспонденций, эффект влияния линий ВСМ на развитие туризма.

В работе [10] авторы выделяют следующие внешние эффекты, которых можно ожидать от внедрения магнитолевитационной технологии: дополнительный рост валового внутреннего и валового регионального продукта, агломерационные эффекты, расширение возможностей людей для эффективной реализации своих трудовых навыков.

Нами обоснована система показателей оценки общественной эффективности стратегии скоростного городского транспорта, включающая методы расчёта следующих эффектов: изменение затрат времени пассажиров в пути, эффект от снижения вредного воздействия на окружающую среду, эффект от повышения безопасности при реализации проекта магнитолевитационного транспорта (МЛТ).

Особое значение приобретает разработка данной системы показателей для магнитолевитационного транспорта, отличающегося такими преимуществами, как невозможность схода с рельс, большая маршрутная скорость, следовательно, меньшие затраты времени в пути, меньший уровень шума и вибрации, чем у ЛРТ и метро, полное отсутствие пыли [11-14].

Система показателей разработана с учётом специфики инновационных транспортных проектов, а именно проекта создания магнитолевитационного транспорта.

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ ПАССАЖИРОВ В ПУТИ

Расчёт экономии затрат времени в пути осуществляется для пассажиров, пересевших на МЛТ с других видов транспорта. Стоимостная оценка экономии времени осуществляется с использованием стоимости времени в зависимости от цели поездки: работа, отдых.

$$\sum ESTT_i^t = \sum \left(P_{ijk}^{t0} \times Vot_{ik}^t \times TC_{ij}^t \right) - \sum \left(P_{ik}^{tHSR} \times Vot_k^t \times TC_i^{tHSR} \right) \quad (1)$$

где i – связь;

j – вид транспорта;

k – цель поездки;

$ESTT_i^t$ – эффект от экономии времени в пути пользователей всех видов транспорта при реализации проекта МЛТ в году t ;

P_{ijk}^{t0} – объём пассажиропотока на i -ой связи на j -ом виде транспорта с k целью поездки в году t для отдыха;

Vot_{ik}^t – стоимость времени пассажира на i -ой связи с k целью поездки в году t ;

TC_{ij}^t – затраты времени пассажира в пути на i -ой связи на j -ом виде транспорта в году t ;

P_{ik}^{tHSR} – объём пассажиропотока на i -ой связи с k целью поездки в году t при реализации проекта МЛТ;

TC_i^{tHSR} – затраты времени пассажира в пути на i -ой связи на j -ом виде транспорта в году t при реализации проекта МЛТ.

Основой оценки стоимости времени выступает средневзвешенная почасовая ставка оплаты труда в рассматриваемых городах. Различия в стоимости времени в зависимости от целей поездки задавались на основании мировых разработок в данной области, результатов социологического опроса и экспертных оценок.

Эффект от снижения вредного воздействия на окружающую среду при реализации проекта МЛТ рассчитывался следующим образом:

$$EED = VED^0 - VED^{HSR}, \quad (2)$$

где VED^0 – стоимостная оценка экологического ущерба в «нулевом» варианте;

VED^{HSR} – стоимостная оценка экологического ущерба при реализации проекта МЛТ.

При рассматриваемом подходе ущерб окружающей среде формируется из трёх компонентов:

$$VED = VEmis + Vcli + VN, \quad (3)$$

где $VEmis$ – стоимостная оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;

$Vcli$ – стоимостная оценка вредного воздействия на климат;

VN – стоимостная оценка шумового воздействия на окружающую среду.

Стоимостная оценка шумового воздействия на окружающую среду имеет особое значение, так как магнитолевитационный транспорт имеет более низкий уровень шума, а именно 65 Дб в отличие от других видов транспорта обычно больше 70 Дб;

Стоимостная оценка шумового воздействия на окружающую среду определяется по следующей формуле:

$$\sum VN_i = Pkm_{ij} \times r_j^N, \quad (4)$$

где Pkm_{ij} – пассажирооборот на i -ой связи на j -ом виде транспорта;

r_j^N – стоимостная оценка шумового воздействия на окружающую среду на один пассажиро-километр.

Стоимостные оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и вредного воздействия на климат определяется аналогично.

Перераспределение пассажиропотоков по видам транспорта в результате создания МЛТ приведет к изменению экологической нагрузки на окружающую среду вследствие изменения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и изменения шумовой нагрузки.

Экологический ущерб оценивается на основании удельных показателей экологического ущерба на пассажиро-километр по видам транспорта. Экологический ущерб, наносимый во время строительства МЛТ, учитывается в составе капитальных затрат. Эффект от снижения экологического ущерба определяется как разница между оценкой экологического ущерба для «нулевого» варианта и при реализации проекта МЛТ.

Стоимостные оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, вредного воздействия на климат и шумового воздействия на окружающую среду представлены в Табл. 2 [15].

Таблица 2. Стоимостная оценка ущерба окружающей среде по типам воздействия по видам транспорта

Вид транспорта	Единицы измерения	Значения
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу		
Автобус	euro ct/пасс*км	0,64
Автомобиль	euro ct/пасс*км	0,58
ВСМ	euro ct/пасс*км	0,28
<i>Маглев</i>	<i>euro ct/пасс*км</i>	<i>0,13</i>
Вредное воздействие на климат		
Автобус	euro ct/пасс*км	0,96
Автомобиль	euro ct/пасс*км	1,83
ВСМ	euro ct/пасс*км	0,16
<i>Маглев</i>	<i>euro ct/пасс*км</i>	<i>0,08</i>
Шумовое воздействие на окружающую среду		
Автобус	euro ct/пасс*км	0,17

Вид транспорта	Единицы измерения	Значения
Автомобиль	euro ct/пасс*км	0,18
ВСМ	euro ct/пасс*км	0,13
<i>Маглев</i>	<i>euro ct/пасс*км</i>	<i>0,06</i>

Источник: CE Delft Study (Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector, 2008 г.); INFRAS, CE Delft и Fraunhofer ISI (External Costs of Transport in Europe, 2011 г.)

Эффект от повышения безопасности при реализации проекта МЛТ рассчитывался следующим образом:

$$\sum ES_i = \sum (Pkm_{ij}^0 \times r_j^S) - \sum (Pkm_i^{HSR} \times r_i^{SHSR}), \quad (5)$$

где i – связь;

j – вид транспорта;

ES – эффект от повышения безопасности при поездках пользователей всех видов транспорта при реализации проекта МЛТ;

Pkm_{ij}^0 – пассажирооборот на i -ой связи на j -ом виде транспорта в «нулевом варианте»;

r_j^S – стоимостная оценка аварийных затрат на j -ом виде транспорта;

Pkm_i^{HSR} – пассажирооборот на i -ой связи с k целью поездки в году t при реализации проекта МЛТ;

r_j^S – стоимостная оценка аварийных затрат при реализации проекта МЛТ.

Оценка эффекта от повышения безопасности пассажирских перевозок определяется на основании удельных показателей ущерба от аварий на пассажиро-километр по видам транспорта и распределения пассажиропотоков по видам транспорта в «нулевом» варианте и при реализации проекта создания МЛТ. Удельные показатели ущерба для МЛТ оцениваются по зарубежным аналогам.

Стоимостные оценки затрат на аварии представлены в Табл. 3.

Таблица 3. Стоимостные оценки затрат на аварии по видам транспорта

Вид транспорта	Единицы измерения	Значения
Автобус	euro ct/пасс*км	1,3
Автомобиль	euro ct/пасс*км	3,42
ВСМ	euro ct/пасс*км	0,06
<i>Маглев</i>	<i>euro ct/пасс*км</i>	<i>0,01</i>

Источник: CE Delft Study (Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector, 2008 г.); INFRAS, CE Delft и Fraunhofer ISI (External Costs of Transport in Europe, 2011 г.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, обоснована система показателей оценки общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта на основе магнитолевитационной технологии.

Предлагаемая система показателей для оценки социально-экономической эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта учитывает все преимущества магнитолевитационной технологии и делает её приоритетной при выборе скоростного городского транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Зайцев А.А., Соколова Я.В., Морозова Е.И., Талашкин Г.Т. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. – СПб.: Изд-во ООО «Типография «НП-Принт», 2015. – 140 с. [Zaitsev AA, Sokolova IV, Morozova EI, Talashkin GT. Magnitolevitatsionnyi transport v edinoi transportnoi sisteme strany. St. Petersburg: NP-Print; 2015. 140 p. (In Russ.)].
2. Зайцев А.А., Соколова Я.В., Талашкин Г.Н. Транспорт на магнитном подвесе (монография). – СПб.: ПГУПС, второе издание, 2011. – 160 с. [Zaitsev AA, Sokolova IV, Talashkin GN. *Transport na magnitnom podvese* (monograph). 2nd ed. St. Petersburg: PGUPS; 2011. 160 p. (In Russ.)].
3. Городской транспорт энергоэффективность, экологически устойчивый транспорт: сборник материалов для политических деятелей в развивающихся городах [Электронный ресурс] GIZ, Берлин, 2013. – Режим доступа: <http://proecotrans.ru/upload/iblock/dad/dad357e3aecd74d42c89c14e4d4fb872.pdf>
4. Лапидус Б.М. О влиянии цифровизации и индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2018. – № 1. – С. 1–7. [Lapidus BM. O vliyanii cifrovizacii i industrii 4.0 na perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC "Russian Railways"*. 2018;(1):1-6. (In Russ.)].
5. Зайцев А.А., Антонов Ю.Ф. Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В.А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Zaitsev AA, Antonov YuF. Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya. Gapanovich VA, editor. Moscow: FIZMATLIT, 2014. 476 p. (In Russ.)].
6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р [Интернет]. Доступно по: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008. Ссылка активна на 10.03.2018.
7. Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в РФ» [Интернет]. Доступно по: <http://base.garant.ru/70684666/>. Ссылка активна на 10.03.2018.
8. Фёдорова М.В. Обоснование системы показателей оценки социально-экономической эффективности стратегии развития // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т 3. – № 4. – С. 179–203. [Fedorova MV. Justification of indicator system of social and economic efficiency of high-speed urban transport development strategy. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(4):179-203 (In Russ., Engl.)]. doi: [10.17816/transsyst201734179-203](https://doi.org/10.17816/transsyst201734179-203)
9. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Официальное издание. (Вторая редакция). Минэкономики РФ, Минфин РФ, ГК РФ по стр-ву, архит. и жил. Политике. – М.: Экономика, 2000. – 421 с. [Kossov VV, Livshic VN, Shahnazarov AG. Metodicheskie rekomendacii po ocenke ehffektivnosti investicionnyh



- proektov. Oficial'noe izdanie. (Vtoraya redakciya). Minehkonomiki RF, Minfin RF, GK RF po str-vu, arhit. i zhil. Politike. Moscow: Ehkonomika, 2000. 421 p. (In Russ.).
10. Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» / под ред. Б.М. Лapidуса, С.Б. Нестерова. – М.: ООО «РАС», 2017. – 192 с. [Lapidus BM, Nesterov SB, editors. Vakuumno-levitacionnyye transportnyye sistemy: nauchnaya osnova, tekhnologii i perspektivy dlya zheleznodorozhnogo transporta: collective monograph of members and scientific partners of the Joint Scientific Council of Russian Railways. Moscow: RAS, 2017. 192 p. (In Russ.)].
 11. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт: ответ на вызовы времени // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – №1. – С. 5–13. [Zaytsev AA. Magnetothevitational transport: response to time challenges. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(1):5-13. (In Russ.)]. doi: [10.17816/transsyst2017315-13](https://doi.org/10.17816/transsyst2017315-13)
 12. Shanghai maglev – all you need to know maglev.net. [Internet]. [cited 2017 Sept. 12]. Available from: <http://www.maglev.net/shanghai-maglev>.
 13. Vuchic VR, Casello JM. An evaluation of Maglev technology and its comparison with high speed rail *Transportation Quarterly*. [Internet]. [cited 2017 Sept. 23]. Available from: <http://www.thetransitcoalition.us/LargePDFfiles/maglevEvalandComparisonHSR.pdf>.
 14. FTA Low-Speed Urban Maglev Research Program. [Internet]. [cited 2017 Sept. 13]. Available from: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/FTALowSpeedLessonsLearned.pdf>.
 15. Van Essen H, Schrotten A, Otten M, et al. External transport costs in Europe. Extended study for 2008. [Internet]. CE Delft, Infracore, Fraunhofer, 2011. [cited 2019 March 27]. Available from: https://www.cedelft.eu/publicatie/external_costs_of_transport_in_europe/1258

Сведения об авторах:**Федорова Мария Владимировна**, к.э.н.;

eLibrary SPIN: 1518-7831;

E-mail: tale19quale@mail.ru**Information about the authors:****Fedorova Mariya, Ph.D. (economics);**

eLibrary SPIN: 1518-7831;

E-mail: tale19quale@mail.ru**Цитировать:**

Федорова М.В. Оценка общественной эффективности стратегии развития скоростного городского транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 26–41. doi: [10.17816/transsyst20195126-41](https://doi.org/10.17816/transsyst20195126-41)

To cite this article:

Fedorova MV. Evaluation of Public Effectiveness of The Strategy for Development of Speed Urban Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):26-41. doi: [10.17816/transsyst20195126-41](https://doi.org/10.17816/transsyst20195126-41)



Rubric 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENT

UDC [УДК] 519.214+517.162

DOI 10.17816/transsyst20195142-53

© K. E. Voevodskii¹, V. M. Strepetov²¹St. Petersburg State University²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**THE PROBABILITY OF THE CORRECT MAJORITY MADE DECISION**

Aim: the probability of correctness of collective decision is studied in this paper, whereby the decision is made by majority vote of some team (group), consisting of an odd number of members, provided that the probability of correctness of individual decision of each member of the group is known.

Methods: the Bernoulli scheme, asymptotic representation, estimation by virtue of geometric progression, exponential series expansion, Wallis' product, a power scale of averages, Kolmogorov mean.

Result: it was found, that if for each member of the group the probability of the correct decision is more than $\frac{1}{2}$, then with an unlimited increase of the number of members of the group, the probability of the right collective decision tends towards one. The asymptotic representation and a number of two-sided assessments which characterise the speed of this tending were obtained. For a non-homogeneous group (i.e. the group the members of which make the right individual decision with different probability) the notion of a *collective average* was introduced here as an averaged characteristic that can be used to replace individual probability of each group member saving the probability of the right collective decision. The existence and uniqueness of a collective average was proved.

A *collective inequality* was identified which shows that a collective average of some set of numbers is no less than the geometric mean of the same numbers, and the equality is present if and only if all members are equal at that. A collective inequality serves as analogue and addition to the known set of inequalities establishing connection between two different average values (for instance, the AM–GM inequality).

Conclusion: thus, the results of the study fully meet the aim of determining the probability of correct decision made by a majority of votes under the assumptions taken. As a result, asymptotic representation and bilateral estimates characterising the speed of tending to the correct decision was obtained. For a non-homogeneous group, the existence and uniqueness of the concept of collective average as an averaged characteristic were introduced and firmly proved, which can be used to replace an individual probability of each group member, whereby preserving the probability of correctness of the collective decision. It was found that the collective average is no less than the geometric mean. Potential applications of the results obtained can be the quantitative evaluation of election procedures and the solution of problems associated with improving the reliability of recognition of weak signals of control sensors in various transport systems, including high-speed transport systems on magnetic suspension.

Keywords: group of experts, the formula of full probability, geometric progression, recurrence relation, asymptotic representation, binomial series, collective average, geometric mean, exponential average, transport systems.

© К. Э. Воеводский¹, В. М. Стрепетов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ВЕРОЯТНОСТЬ ПРАВИЛЬНОСТИ РЕШЕНИЯ, ПРИНИМАЕМОГО БОЛЬШИНСТВОМ ГОЛОСОВ

Цель. Исследуется вероятность правильности коллегиального решения, которое принимается большинством голосов некоторого коллектива (коллегии), состоящего из нечетного числа членов, если известна вероятность правильности индивидуального решения каждого члена коллегии.

Методы. Схема Бернулли, асимптотическое представление, оценка посредством геометрических прогрессий, разложение в степенной ряд, формула Валлиса, степенная шкала средних величин, среднее по Колмогорову.

Результаты. Установлено, что если для каждого члена коллегии вероятность правильности индивидуального решения больше $\frac{1}{2}$, то при неограниченном росте числа членов коллегии вероятность правильности коллегиального решения стремится к 1. Получены асимптотическое представление и ряд двусторонних оценок, характеризующие скорость этого стремления. Для неоднородной коллегии (такой коллегии, члены которой принимают правильное индивидуальное решение с разной вероятностью) введено понятие *коллегиального среднего* как усредненной характеристики, которой можно заменить индивидуальную вероятность каждого члена коллегии с сохранением вероятности правильности коллегиального решения. Доказано существование и единственность коллегиального среднего.

Выведено *коллегиальное неравенство*, показывающее, что коллегиальное среднее некоторого набора чисел не меньше среднего геометрического тех же чисел, причем равенство имеет место в том и только том случае, когда все числа равны между собой. Коллегиальное неравенство служит аналогом и дополнением известному набору неравенств, устанавливающих связь между различными средними величинами (например, неравенство Коши для среднего арифметического и среднего геометрического).

Заключение. Полученные результаты проведенного исследования полностью отвечают поставленной цели по определению вероятности правильности коллегиального решения, принятого большинством голосов при введенных допущениях. В результате получены асимптотическое представление и двусторонние оценки, характеризующие скорость стремления к правильному решению. Для неоднородной коллегии введены и строго доказаны существование и единственность понятия коллегиального среднего как усредненной характеристики, которой можно заменить индивидуальную вероятность каждого с сохранением вероятности правильности коллегиального решения. Установлено, что коллегиальное среднее не меньше среднего геометрического. Прикладными направлениями применения полученных результатов могут служить количественная оценка выборных процедур и решение проблем, связанных с повышением надежности распознавания слабых сигналов датчиков контроля различных транспортных систем, включая высокоскоростные транспортные системы на магнитном подвесе.

Ключевые слова: коллегия экспертов, формула полной вероятности, геометрическая прогрессия, рекуррентные соотношения, асимптотическое представление, биномиальный ряд, коллегиальное среднее, среднее геометрическое, среднее степенное, транспортные системы.

INTRODUCTION

With the aim to increase the reliability of responsible decisions, the group decision making is used. For instance, significant calculations are tasked to several individuals, and the result is considered to be reliable if it is the same at all the individuals. Another example is obtaining experiment findings. In case of discrepancies in measuring sensors' weak signals values, the preference is given to the majority's data. This approach rests on the hypothesis that the decision that is made by the majority vote of some group (group of experts) is more correct than that of each expert's individually. The major aim of this work is to verify this hypothesis and assess quantitatively the collectiveness effect.

MAIN NOTIONS AND TASK SETTING

Let one assume that the group consists of $(2n+1)$ experts (for short - $(2n+1)$ -group) and is characterised by vector $X = (x_1, \dots, x_{2n+1})$, where $x_k \in [0; 1]$ – probability that k -th expert takes the right decision. Then, by the law of total probability [1], the probability that the majority vote results in the right decision, is determined by the expression

$$\Pi(X) = \sum_{k=0}^n \sum_{\{i_1, \dots, i_k\} \subset \{1, \dots, 2n+1\}} (1-x_{i_1}) \dots (1-x_{i_k}) \cdot (x_1 \cdot \dots \cdot x_{2n+1}) / (x_{i_1} \cdot \dots \cdot x_{i_k}). \quad (1)$$

In the expression (1) the k -th number of the outer sum is the probability of the incorrect decision by k experts, and the sum is the probability that the incorrect decision has been made by less than half of the experts. If the fraction in (1) loses its literal sense as a result of some components equaling 0, it should be considered equal to multiplication of all components except for $x_{i_1} \cdot \dots \cdot x_{i_k}$.

If $X = (p, \dots, p)$, let the group be called homogeneous (a good one, if $p > 0,5$, and a bad one if $p < 0,5$). For this type of group, the expression (1) turns into the Bernoulli scheme [2]: $\Pi(X) = P_{2n+1} = \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k p^{2n+1-k} q^k$, where $q = 1-p$. Further on, it is more convenient to deal with the probability of mistake $Q_{2n+1} = 1 - P_{2n+1}$, i.e. the probability that the group makes the incorrect decision. It is obvious,

$$Q_{2n+1} = \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k p^k q^{2n+1-k}. \quad (2)$$

HOMOGENEOUS GROUP

Two-sided assessment of probability of mistake

Let the group be considered to be a good one. If the multiplication $q(pq)^n$ is put outside the brackets, from (2) $Q_{2n+1} = q(pq)^n \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k \cdot (q/p)^{n-k}$ is obtained. With $p > 0,5$ it follows that $(q/p)^n \leq (q/p)^{n-k} \leq 1$. This implies that $q(pq)^n (q/p)^n \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k \leq Q_{2n+1} \leq q(pq)^n \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k$. Considering that $\sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k = 0,5 \sum_{k=0}^{2n+1} C_{2n+1}^k = 2^{2n}$ [3], and making other obvious simplifications, we obtain

$$q(4q^2)^n \leq Q_{2n+1} \leq q(4pq)^n. \quad (3)$$

Let us introduce the parameter $\alpha = 2p - 1$. It is obvious that $p = 0,5(1+\alpha)$, $q = 0,5(1-\alpha)$, whereby for a good group $0 < \alpha \leq 1$, and for a bad one $-1 \leq \alpha < 0$. Expressing p and q through α , the inequality (3) can be converted to

$$q((1-\alpha)^2)^n \leq Q_{2n+1} \leq q(1-\alpha^2)^n. \quad (4)$$

For a good group $0 \leq (1-\alpha)^2 < (1-\alpha^2) < 1$, means that the probability of mistake is assessed from both sides by infinitely decreasing geometric progressions. In particular, with unlimited growth in the number of experts, the probability of mistake tends towards 0.

Recurrence relations, decrease of probability of mistake

$(2n+1)$ -group is a combination of $(2n-1)$ -group and a pair of experts. Let $p_1(q_1)$ be the probability that $(2n-1)$ -group have made the correct (incorrect) decision dominating by one vote. $(2n+1)$ -group makes the incorrect decision in the following cases:

1) $(2n-1)$ -group have voted incorrectly by a margin of more than one vote; the probability of this equals $Q_{2n-1} - q_1$;

2) $(2n-1)$ -group have voted incorrectly by a margin of one vote, whereas a pair of experts has at least one that voted incorrectly; the probability of this event equals $q_1(1-p^2)$;

3) $(2n-1)$ -group have voted correctly by a margin of one vote, and a pair of experts has two that have voted incorrectly; the probability of this event equals p_1q^2 .

Adding these probabilities together and considering that $p_1 = C_{2n-1}^n p^n q^{n-1}$, $q_1 = C_{2n-1}^{n-1} p^{n-1} q^n$, $p = 0,5(1+\alpha)$, $q = 0,5(1-\alpha)$ and $C_{2n-1}^n = C_{2n-1}^{n-1} = 0,5C_{2n}^n$, we can obtain

$$Q_{2n+1} - Q_{2n-1} = -(\alpha/2)C_{2n}^n \left((1-\alpha^2)/4 \right)^n. \quad (5)$$

For a good group ($0 < \alpha \leq 1$) the right side (5) is negative, wherefrom it can be seen that the sequence Q_{2n+1} is a decreasing one, i.e. adding an additional pair of experts results in the decrease of probability of mistake.

Economical calculation formula

Having recorded Q_{2n+1} as $Q_1 + (Q_3 - Q_1) + \dots + (Q_{2n+1} - Q_{2n-1})$, putting subtractions $(Q_{2k+1} - Q_{2k-1})$ from (5) and considering that $Q_1 = q = 0,5(1-\alpha)$, we can obtain for Q_{2n+1} the following representation:

$$Q_{2n+1} = (1/2) - (\alpha/2) \sum_{k=0}^n C_{2k}^k \left((1-\alpha^2)/4 \right)^k = (1/2) - (\alpha/2) \sum_{k=0}^n A_k x^k, \quad (6)$$

where $x = 1 - \alpha^2$, $A_k = C_{2k}^k / 4^k$.

Let us also consider that, in accordance with [4] $A_k = C_{2k}^k / 4^k = (2k-1)!! / (2k)!!$.

As n increases by 1, there is an additional of one term added to the addition in (6), and the already existing terms remain unchanged. In (2) as n increases, all the terms are changed. Therefore, the formula (6) is more economical for numerical calculations.

Asymptotic representation of the probability of mistake at $n \rightarrow \infty$

Considering the last representation for A_k , $\sum_{k=0}^n A_k x^k$ is a partial sum of binominal series with the facto $r=1/2$ [5]. Then $\sum_{k=0}^n A_k x^k = (1-x)^{-1/2} = 1/\alpha$, wherefrom $\sum_{k=0}^n A_k x^k = (1/\alpha) - \sum_{k=n+1}^{\infty} A_k x^k$. Putting this expression to (6) and putting the first member of the addition outside the brackets, we can obtain the following representation:

$$Q_{2n+1} = (\alpha/2) A_{n+1} x^{n+1} \sum_{k=0}^{\infty} (A_{k+n+1} / A_{n+1}) \cdot x^k. \quad (7)$$

Let us prove that at $n \rightarrow \infty$ the sum in (7) tends towards $\sum_{k=0}^{\infty} x^k$, i.e. we will assess the subtraction of these sums. According to Wallis' product [6]

$$1/\sqrt{\pi(n+1/2)} < A_n < 1/\sqrt{\pi n}. \quad (8)$$

From this above, we can easily obtain: $A_{k+n}/A_n > \sqrt{n/(k+n+1/2)}$, wherefrom we have $1 - A_{k+n}/A_n < 1 - \sqrt{n/(k+n+1/2)}$. The right side is less than the value $(k+1/2)/2n$, consequently, $0 < 1 - A_{k+n+1}/A_{n+1} < (k+1/2)/2(n+1)$. This means that

$$0 < \sum_{k=0}^{\infty} x^k - \sum_{k=0}^{\infty} (A_{k+n+1}/A_{n+1})x^k = \sum_{k=0}^{\infty} (1 - (A_{k+n+1}/A_{n+1}))x^k < \sum_{k=0}^{\infty} (k+1/2)/2(n+1) \cdot x^k = \\ = 1/2(n+1) \left(\sum_{k=0}^{\infty} k x^k + 1/2 \sum_{k=0}^{\infty} x^k \right), \quad (9)$$

where $\sum_{k=0}^{\infty} x^k = 1/(1-x)$ (the sum of geometric progression [7]); $\sum_{k=0}^{\infty} kx^k = x/(1-x)^2$ [8]; wherefrom, considering $x=1-\alpha^2$, we have: $\sum_{k=0}^{\infty} x^k = 1/\alpha^2$, $\sum_{k=0}^{\infty} kx^k = (1-\alpha^2)/\alpha^4$.

Adding this to (9) and expressing $\sum_{k=0}^{\infty} (A_{k+n+1}/A_{n+1})x^k$ in the resultant inequality, we can obtain:

$$(1/\alpha^2)(1-1/(2(n+1)) \cdot (1/\alpha^2 - 1/2)) < \sum_{k=0}^{\infty} (A_{k+n+1}/A_{n+1})x^k < 1/\alpha^2. \quad (10)$$

The sum in (10) differs from Q_{2n+1} by the multiplier $(\alpha/2) A_{n+1} x^{n+1}$ (see. (7)). Multiplying (10) by this multiplier and assessing A_{n+1} from both sides by virtue of (8), we can obtain the following two-sided assessment for Q_{2n+1} :

$$\left((1-\alpha^2)^{n+1} / (2\alpha \cdot \sqrt{\pi(n+1/2)}) \right) (1-1/(2(n+1))(1/\alpha^2 - 1/2)) < Q_{2n+1} < (1-\alpha^2)^{n+1} / (2\alpha\sqrt{\pi n}). \quad (11)$$

It is obvious that the second multiplier in the left part is $1+O(1/n)$. Therefore, the following asymptotic representation follows from (11):

$$Q_{2n+1} = (1-\alpha^2)^{n+1} / (2\alpha\sqrt{\pi n}) \cdot (1+O(1/n)). \quad (12)$$

Let us compare the assessments (4) and (11). It is seen that the second one is asymptotically more precise, i.e. for each fixed $\alpha > 0$ there exists n , starting from which the range of change Q_{2n+1} , in (11) is more narrow than the range in (4). However, the assessment (4) has the advantage that it is even along α , whereas in (11) the range expands without limits at $\alpha \rightarrow 0$. Therefore, the relevance of this or that assessment for certain calculations depends on numerical values of input data.

COLLECTIVE AVERAGE

Let us return to $(2n+1)$ -group of the general form, which is characterised by vector $X = (x_1, \dots, x_{2n+1})$. Let us select such a homogeneous $(2n+1)$ -group that has the same probability of the correct decision just the first one does. The value p of this homogeneous group (the probability of the right individual decision of its member) can be interpreted as an average value for a set of probabilities x_1, \dots, x_{2n+1} . Let them be referred to as *a collective average* of the values x_1, \dots, x_{2n+1} . In

accordance with this definition, the collective average p of values x_1, \dots, x_{2n+1} is a root of the expression

$$\Pi(X) = P_{2n+1}(p), \quad (13)$$

lying in the interval $0 \leq p \leq 1$, where $\Pi(X)$ is determined by formula (1),

$$P_{2n+1}(p) = \Pi(p, p, \dots, p) = \sum_{k=0}^n C_{2n+1}^k p^{2n+1-k} (1-p)^k.$$

Existence and uniqueness of collective average

Let us study the monotony of $\Pi(X)$ by each variable, e.g. x_{2n+1} . Let us say that $2n$ -group of experts with numbers $1, \dots, 2n$ have voted by a margin of k , if the right votes have been given by k more experts than incorrect ones. The margin acquires odd values from $-2n$ to $2n$. With $k \neq 0$ the decision of $(2n+1)$ -group does not depend on the decision of $(2n+1)$ expert, and with $k = 0$ it coincides with it. It means that $\Pi(X) = R_{2n+\dots+R_2+R_0} x_{2n+1}$, where R_k – the probability of margin k . The probabilities R_{2n}, \dots, R_0 do not depend on x_{2n+1} , and $R_0 \geq 0$, therefore $\Pi(X)$ is either strictly increasing function (at $R_0 > 0$), or a constant one (at $R_0 = 0$). The latter takes place when over half of the members of $2n$ -group vote unanimously, and therefore their votes cannot be divided equally. In other words, among x_1, \dots, x_{2n} there are more n components equalling 0, or more n , equalling 1. In the first case $\Pi(X) = 0$, in the second $\Pi(X) = 1$.

Thus, since $P_{2n+1}(p) = \Pi(p, p, \dots, p)$, then $P_{2n+1}(p)$ strictly increases at the interval $(0; 1)$, where it is different from 0 and 1. But $P_{2n+1}(0) = 0$, $P_{2n+1}(1) = 1$. Thereby, $P_{2n+1}(x)$ strictly increases by $[0; 1]$ from 0 to 1. It is uninterrupted, therefore the equation (13) has the sole solution [9].

Note: if in the set (x_1, \dots, x_{2n+1}) there are zeros or ones, for a collective average one of the properties of the Kolmogorov mean may be breached [10]: replacement of values of any subset in the set (x_1, \dots, x_{2n+1}) for the average value of this subset does not change the average value of the whole set. Therefore, for the collective average, generally speaking, the universal representation by Kolmogorov does not take place [10, 11] in the form $\varphi^{-1}(\varphi(x_1) + \dots + \varphi(x_n)/n)$, where φ is some strictly monotonic function.

COLLECTIVE INEQUALITY

Further on, it will be proved that the collective average is more than or equal to the geometric mean:

$$p \geq g = (x_1 \cdot \dots \cdot x_m)^{1/m}, \quad \text{где } m = 2n+1. \quad (14)$$

Let us start with special cases $g = 0$ и $g = 1$. In both cases, the inequality (14) is obvious, therefore it may be further assumed that $0 < g < 1$. This implies that all x_1, \dots, x_{2n+1} are different from 0 and not all of them are equal to 1.

Due to strict increase of the function P_{2n+1} (14) $\Leftrightarrow P_{2n+1}(p) \geq P_{2n+1}(g)$. But $P_{2n+1}(p) = \Pi(X)$ (13) and $P_{2n+1}(g) = \Pi(G)$, where $G=(g, \dots, g)$. Thus, (14) $\Leftrightarrow \Pi(X) \geq \Pi(G)$. And this inequality, considering exclusion of special cases, is equipotent to the statement (*), which is exactly what needs proving.

(*) Let $g \in (0;1)$, and A is a set of vectors $X=(x_1, \dots, x_m)$, the ones, that $x_j \in (0;1]$, and $x_1 \cdot \dots \cdot x_m = g^m$. In this set, the function $\Pi(X)$ reaches the lowest value at $X=G$, where $G=(g, \dots, g)$.

Note: due to equality of $x_1 \cdot \dots \cdot x_m = g^m$ it is sufficient to prove that all components of the vector, delivering the minimum of $\Pi(X)$, are equal between each other.

Let us proceed to the proof. Expressing x_m from the condition $x_1 \cdot \dots \cdot x_m = g^m$ and putting it to $\Pi(X)$, we acquire rational and fractional function of the variables x_1, \dots, x_{m-1} , an uninterrupted one since its denominator $x_1 \cdot \dots \cdot x_{m-1}$ differs from 0 due to $0 < g < 1$. And $x_k \in [g^m; 1]$ for all $k=1, \dots, m-1$. Thus, the function is determined at the compactum [12], meaning it reaches the minimal value [13]. Consequently, the vector constituting the minimum $\Pi(X)$, exists. Now, let us prove that it cannot have irregular components.

Let us consider the vector $X \in A$, that has more than n components equalling 1. For this $\Pi(X)=1$, whereas $\Pi(G) < 1$ (because $g < 1$). It means that the vector, which constitutes the minimum of the function $\Pi(X)$, has no more than n components equalling 1. Let X be such a vector, and let not all of its components be equal to each other. Without limiting the generality, it can be assumed that $x_1 \neq x_2$. Let us prove that then the value of $\Pi(X)$ is not the lowest at A .

Since all the components are different from 0, the fraction in (1) can be perceived literally and the multiplication of all components $x_1 \cdot \dots \cdot x_{2n+1} = g^m$. can

be put outside the brackets. Now, $\Pi(X) = g^m \sum_{k=0}^n \sum_{\{i_1, \dots, i_k\} \subset \{1, \dots, m\}} (t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_k} - 1)$, where

$t_j = 1/x_j$, and the term of the outer sum, corresponding to $k=0$, equals 1, and the vector $T = (t_1, \dots, t_m)$ possesses the following properties:

1) $t_1 \neq t_2$;

2) among t_1, \dots, t_m no more than n units equal 1;

3) the vector T delivers the function $\Theta(T) = \sum_{k=0}^n \sum_{\{i_1, \dots, i_k\} \subset \{1, \dots, m\}} (t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_k} - 1)$ the

minimum at the set of vectors, which have $t_j \geq 1$, and $t_1 \cdot \dots \cdot t_m = r^m > 1$, where $r = 1/g$.

Let us be view $\Theta(T)$ as the function of t_1, t_2 at constancy of the other variables. Separating the terms and co-multipliers, containing variables t_1, t_2 , expressed by $\Theta(T)$ one can convert them to

$$\Theta(T) = C_2 t_1 t_2 + (C_1 - C_2)(t_1 + t_2) + C_0, \quad (15)$$

where coefficients C_1, C_2, C_0 are not dependent on t_1, t_2 , and

$$C_1 = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{\{i_1, \dots, i_k\} \subset \{3, \dots, m\}} (t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_k} - 1), \quad C_2 = \sum_{k=0}^{n-2} \sum_{\{i_1, \dots, i_k\} \subset \{3, \dots, m\}} (t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_k} - 1). \quad (16)$$

For further work, the signs of coefficients in (16) are significant at $t_1 \cdot t_2$ and $t_1 + t_2$. In the sum for C_2 all the terms are non-negative, with one of them being equal to 1. It means, $C_2 > 0$. Let us prove that $C_1 - C_2 > 0$. In accordance with (16) the outer sum for C_1 differs from the outer sum for C_2 on additional term with the number $k = n - 1$. Therefore, $C_1 - C_2 = \sum_{\{i_1, \dots, i_{n-1}\} \subset \{3, \dots, m\}} (t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_{n-1}} - 1) \geq 0$ as

the sum of non-negative terms. Let us assume that this sum equals 0. Then all the variables are equal to 0, i.e. any multiplication of $(t_{i_1} - 1) \dots (t_{i_{n-1}} - 1)$, where $\{i_1, \dots, i_{n-1}\} \subset \{3, \dots, m\}$, is equal to 0. Thus among the subtractions and $(t_3 - 1), \dots, (t_m - 1)$ there are no more than $n - 2$ that are different from 0, and it means there are at least $2n - 1 - (n - 2) = n + 1$ equalling 0. Or, which is the same, among the components t_3, \dots, t_m there are $n + 1$, equalling 1. It is especially true for a full set of components t_1, \dots, t_m . However, this contradicts the above-mentioned property 2) of the vector T . So, $C_1 - C_2 > 0$.

Now, let us change t_1 and t_2 leaving the rest of the variables constant. Then the multiplication $t_1 t_2 = r^m / (t_3 \dots t_m)$ will also be constant, meaning in the expression (16) only the second term will be changed, which equals (with the precision of up to the positive multiplier) $t_1 + c/t_1$, where $c = r^m / (t_3 \dots t_m)$. The sum $t_1 + c/t_1$ acquires the minimal value at $t_1 = \sqrt{c}$ [14]. But then $t_2 = c/\sqrt{c} = \sqrt{c}$ as well, i.e. $t_1 = t_2$. Meanwhile, as to the assumption, $t_1 \neq t_2$, it means we have found the vector different from the initial one, at which the function Θ acquires the lesser value. This contradicts the assumption that the initial vector delivers the function Θ the minimum.

Returning to the initial variables x_1, \dots, t_m , we obtain the statement (*). Indeed, the vector that has not all components equal to each other, is not a vector which delivers the function $\Pi(X)$ minimum. But this vector does exist, and it means that this is a vector having different components. And this is nothing more like the vector G . Thus *the collective inequality has been proved*.

Let us add that due to the well-known properties of the power scale of averages [15], it additionally follows from this inequality that the collective average is no less than any power mean with non-positive value.

The notions of the collective average and collective inequality introduced here provide simplified lower bound assessment of the quality of decisions by the non-homogeneous group. The probability of its correct decision is no less than that of the homogeneous group comprising the same number of experts, where the probability of the correct individual decision by one expert equals the geometric mean of similar probabilities in the initial non-homogeneous group.

CONCLUSION

The expressions (6, 11, 12 и 14–16) fully resolve the issue stated to determine the probability of the right majority made decision, with the assumptions accepted. The asymptotic representation and two-sided assessment, which, characterise the speed of tending towards the right decision.

For a non-homogeneous group, the existence and uniqueness of the concept of collective average as an averaged characteristic were introduced and firmly proved, which can be used to replace an individual probability of each group member, whereby preserving the probability of correctness of the collective decision

Potential applications of the results obtained can be the quantitative evaluation of election procedures and the solution of problems associated with improving the reliability of recognition of weak signals of control sensors in various transport systems, including high-speed transport systems on magnetic suspension [16-17].

The Author (-s) hereby state that:

1. They have no conflict of interests;
2. The present article does not contain any researches involving humans as objects of research.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Боровков А.А. Курс теории вероятностей. – М.: НАУКА, 1972. – 288 с. [Borovkov AA. *Kurs teorii veroyatnostej*. Moscow: NAUKA; 1972. 288 p. (In Russ.)].
2. Бородин А.Н. Элементарный курс теории вероятностей и математической статистики. – СПб.: ЛАНЬ, 2002.– 256 с. [Borodin AN. *Elementarnyj kurs teorii veroyatnostej i matematicheskoj statistiki*. St.Petersburg: LAN, 2002. 256 p. (In Russ.)].
3. Холл М. Комбинаторика. – М.: МИР, 1970. – 424 с. [Holl M. *Kombinatorika*. Moscow: MIR; 1970. 424 p. (in Russ.)].
4. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции.– М.: Изд-во НАУКА, 1981.– 772 с. [Prudnikov AP, Brychkov IUA, Marichev OI. *Integraly i ryady. Elementarnye funkcii*. Moscow: Izdatel'stvo NAUKA; 1981. 772 p. (in Russ.)].



5. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа. В 2 т. Т. 2. – М.: Изд-во НАУКА, 1968. – 464 с. [Fikhtengol's GM. *Osnvy matematicheskogo analiza*. Moscow: Izdatel'stvo NAUKA; 1968. 464 p. (In Russ.)].
6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 2 т. Т. 2. – М.: НАУКА, 1966. – 800 с. [Fikhtengol's GM. *Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya*. Vol. 2. Moscow: NAUKA; 1966. 800 p. (In Russ.)].
7. Смирнов В.И. Курс высшей математики. В 2 т. Т. 1. – М.: ГОСТЕХИЗДАТ, 1953. – 288 с. [Smirnov VI. *Kurs vysshej matematiki*. Moscow: GOSTEKHIZDAT; 1953. 288 p. (In Russ.)].
8. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: НАУКА, 1983. – 696 с. [Prudnikov AP, Brychkov YuA, Marichev OI. *Integraly i ryady. Elementarnye funktsii*. Moscow: NAUKA; 1983. 696 p. (In Russ.)].
9. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. Ч. 1. – М.: НАУКА, 1971. – 600 с. [Il'in VA, Poznyak EG. *Osnovy matematicheskogo analiza*. Part. 1. Moscow: NAUKA; 1971. 600 p. (In Russ.)].
10. Колмогоров А.Н. Об определении среднего. В кн.: Математика и механика. Избранные труды. / под ред. Никольского С.М. – М.: Изд-во НАУКА, 1985. – Т.1. – С. 136-138. [Kolmogorov AN. Ob opredelenii srednego. In: Nikol'skij SM, editor. *Matematika i mekhanika. Izbrannye Trudy*. Moscow: NAUKA; 1985. Vol. 1. p. 136-138. (In Russ.)].
11. Орлов А. И. Прикладная статистика. – М.: ЭКЗАМЕН, 2006. – 671 с. [Orlov AI. *Prikladnaya statistika*. Moscow: EKZAMEN, 2006. 671 p. (in Russ.)].
12. Бирман М.Ш., Виленкин Н.Я., Горин Е.А. и др. Функциональный анализ / под ред. Крейна С.Г. – М.: НАУКА, 1972. – 544 с. [Birman MSh, Vilenkin NI, Gorin EA, et al. *Funktsional'nyj analiz*. Krejn SG, editor. Moscow: NAUKA; 1972. 544 p. (In Russ.)].
14. Рудин У. Основы математического анализа. – М.: МИР, 1976. – 320 с. [Rudin U. *Osnovy matematicheskogo analiza*. Moscow: MIR; 1976. 320 p. (In Russ.)].
15. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. – М.: НАУКА, 1973, 640 с. [Myshkis AD. *Lekcii po vysshej matematike*. Moscow: NAUKA; 1973. 640 p. (In Russ.)].
16. Коровкин П.П. Неравенства. – М.: НАУКА, 1983. – 72 с. [Korovkin PP. *Neravenstva*. Moscow: NAUKA; 1983. 72 p. (In Russ.)].
17. Зайцев А.А., Антонов Ю.Ф. Магнитолевитационная транспортная технология. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Zajcev AA, Antonov YuF. *Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya*. Moscow: FIZMATLIT; 2014. 456 p. (In Russ.)]. Доступно по: https://b-ok.org/book/2901328/800f1a/?_ir=1. Ссылка активна на: 03.02.2019.
18. Гулин С.А., Никитин В.В., Серeda Г.Е., Серeda Е.Г. Система электроснабжения собственных нужд высокоскоростных магнитолевитационных экипажей с линейным синхронным тяговым приводом // Транспортные системы и технологии. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 70–83. [Gulin SA, Nikitin VV, Sereda GE, Sereda EG. Power supply system of own needs of MAGLEV vehicles with linear synchronous traction drive. *Transportation Systems and Technology*. 2016;2(3):70-83. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20162370-83

Information about authors:

Konstantin E. Voevodskii, Ph.D., Assistant Professor;
eLibrary SPIN: 2579-75410000-0000; ORCID: 0000-0002-0519-5527;
E-mail: kv5832@mail.ru

Vladimir M. Strepetov, Ph.D., Assistant Professor;
eLibrary SPIN: 4649-2141; ORCID: 0000-0002-4072-4519;
E-mail: strepetov.vm@mail.ru

Сведения об авторах:

Воеводский Константин Эммануилович, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 2579-7541; ORCID: 0000-0002-0519-5527;
E-mail: kv5832@mail.ru

Стрепетов Владимир Михайлович, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 4649-2141; ORCID: 0000-0002-4072-4519;
E-mail: strepetov.vm@mail.ru

To cite this article:

Voevodskii KE, Strepetov VM. The Probability of the Correct Majority Made Decision. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):42-53. doi: 10.17816/transsyst20195142-53

Цитировать:

Воеводский К.Э., Стрепетов В.М. Вероятность правильности решения, принимаемого большинством голосов // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 42–53. doi:10.17816/transsyst20195142-53



Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 537

DOI 10.17816/transsyst20195154-73

Ю. Ф. Антонов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ДИНАМИЧЕСКИМ ПРОМЕЖУТОЧНО-СМЕШАННЫМ СОСТОЯНИЕМ

Цель: Описать научное достижение с изложением сущности явления. Подтвердить достоверность существования явления электромагнитной индукции постоянного тока на основании прямых доказательств.

Методы: Экспериментальное исследование намагничивания сверхпроводниковых образцов. Визуализация промежуточно-смешанного состояния сверхпроводников и движения квантованных нитей магнитного потока, пучков таких нитей. Разработка математической теории на базе фрактальной геометрии и функционального анализа.

Результаты: Сущность научного открытия состоит в доказательстве того, что прямым следствием образования промежуточно-смешанного состояния сверхпроводников и движения квантованных нитей магнитного потока, пучков таких нитей и макроскопических нормальных зон есть явление электромагнитной индукции постоянного тока.

Заключение: Сделано открытие явления электромагнитной индукции постоянного тока, созданы сверхпроводниковые топологические электрические генераторы на основе явления электромагнитной индукции постоянного тока с достижением высоких номинальных параметров: ток 10-100 кА, удельная токовая нагрузка 1 кА/кг.

Ключевые слова: сверхпроводимость, намагничивание, промежуточное состояние, смешанное состояние, нормальная зона, кластер, квантованная нить магнитного потока, электромагнитная индукция, топология, фрактал, переменный ток, постоянный ток.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта офи_м_РЖД No 17-20-04121



Yu. F. Antonov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

THE NATURE OF VOLTAGE IN SUPERCONDUCTORS WITH DYNAMIC INTERMEDIATE-MIXED STATE

Aim: to describe scientific achievement providing the essence of the phenomenon; to confirm reliability of existence of DC electromagnetic induction using direct evidence.

Methods: experimental research into magnetizing superconducting samples. Visualisation of intermediate and mixed state of superconductors and movement of quantised threads of magnetic flux, the beams of such threads. Development of mathematical theory on the basis of fractal geometry and functional analysis.

Results: The essence of the scientific discovery consists in the proof that the direct consequence of the formation of an intermediate-mixed state of superconductors and the movement of quantum magnetic fluxes threads, beams of such filaments and macroscopic normal zones is the phenomenon of direct current electromagnetic induction.

Conclusion: the discovery of DC electromagnetic induction has been made, superconducting topological electrical generators on the basis of DC electromagnetic induction have been built, that achieve high nominal parameters: 10–100 kA current, specific current load – 1 kA/kg.

Keywords: superconductivity, magnetization, intermediate state, mixed state, normal zone, cluster, quantum magnetic flux thread, electromagnetic induction, topology, fractal, alternating current, direct current.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование структуры и динамики промежуточного и смешанного состояния сверхпроводников для обоснования сосуществования промежуточного и смешанного состояний в низкотемпературных сверхпроводниках I и II рода, а также в высокотемпературных сверхпроводниках второго поколения. Теоретическое обоснование возникновения электромагнитной индукции постоянного тока. Описание типовых конструкций сверхпроводниковых топологических генераторов и результатов их экспериментального исследования, в том числе в штатных режимах эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

Известно явление электромагнитной индукции переменного тока, открытое М.Фарадеем [1], математически описанного Дж. Кл. Максвеллом [2]. Явление электромагнитной индукции переменного тока лежит в основе работы электрических машин и трансформаторов переменного тока. Так называемые электрические машины «постоянного» тока по существу являются устройствами переменного тока, снабженными внешним коммутатором, например, коллектором.

Природа разности потенциалов в сверхпроводниковых образцах, находящихся в динамическом промежуточно-смешанном состоянии, многие десятилетия оставалась дискуссионной. Так, например, вызывает сомнение модель, предложенная нобелевским лауреатом Дж. Бардиным, согласно которой разность потенциалов на зажимах сверхпроводника возникает в результате падения напряжения в сверхпроводнике от протекания в нем транспортного тока, поскольку нормальные электроны проводимости в нормальном остове квантованной нити магнитного потока воспринимают движение кванта магнитного потока как движущееся магнитное поле. Однако разность потенциалов на зажимах сверхпроводника возникает и в отсутствие транспортного тока. Кроме того, квантованная нить магнитного потока (синонимы: сверхпроводящий вихрь, вихрь Абрикосова) – это сложное образование, состоящее не только из микроскопического нормального остова, но и незатухающих сверхпроводящих токов, текущих на расстоянии от геометрического центра, равно лондоновской глубине проникновения λ_L .

И еще одна неточность, допущенная другим нобелевским лауреатом И. Гиавером, утверждающим, что трансформация постоянного тока в наложенных друг на друга сверхпроводниковых образцах происходит вследствие туннелирования сверхпроводящих электронов. В опытах с наложенными друг на друга толстыми (до 5 мм) сверхпроводниковыми образцами, разделенными толстым (до 4 мм) слоем электрической изоляции, имеет место трансформация тока, отнюдь не связанная с туннелированием сверхпроводящих электронов.

Голландский физик Дж. Фолгер впервые изложил принцип действия «flux pump» - «насоса магнитного потока» [3]. В Голландии, Германии, Англии, Франции, Швейцарии, Японии, Канаде, США созданы опытные образцы. В единичном агрегате достигнут ток 2,5 кА. Предложены сомнительные физические модели и ряд полуэмпирических формул, качественно и не совсем правильно объясняющих работу «насоса магнитного потока». После первых успехов ученые и разработчики зашли в тупик. Задача получения тока 10 кА и выше оказалась невыполнимой. Главным препятствием в создании основ теории, расчета и разработке

«насосов магнитного потока» на токи 10 кА и выше стало недостаточно глубокое понимание их принципа действия. Отсутствие фундаментальной теории мешало развитию «насосов магнитного потока» и достижению высоких номинальных параметров, которые бы обеспечили их конкурентоспособность при создании систем питания сверхпроводниковых устройств.

Согласно широко распространенному представлению принципа действия «насоса магнитного потока», его работа возможна только при образовании в сверхпроводящем якоре нормальной зоны. Как известно, в «насосах магнитного потока» (в нашей терминологии – «топологических генераторах») из-за наличия ферромагнитных узлов магнитные поля находятся на уровне 1 Тл. Вследствие этого для обеспечения образования нормальной зоны при изготовлении сверхпроводящих якорей применялись сверхпроводники только с низким значением критического магнитного поля ~ 1 Тл. А ведь есть сверхпроводники, у которых критическое магнитное поле 20 Тл и более. Таким образом, следуя общепринятому пониманию принципа действия, при создании топологических генераторов из употребления была выведена большая часть сверхпроводников и, прежде всего, те из них, которые обладают наиболее высокими критическими параметрами по полю и току. Критические значения по полю и току взаимосвязаны. Вот почему самое высокое достижение в ранее разработанных «насосах магнитного потока» – это ток 2,5 кА при прогнозах в десятки килоампер.

Итак, суть проблемы находилась в принципе действия (в его первоначальной трактовке), который, кстати, выразился и в неверном названии устройства – «насос магнитного потока». Для ее решения потребовалось воспользоваться результатами теоретического исследования промежуточного и смешанного состояния сверхпроводников I и II рода, выполнив сопоставительный анализ соответствующих экспериментальных данных.

КВАНТОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА

Прямым следствием жесткой фазовой когерентности является эффект квантования магнитного потока. Имея фундаментальное значение, квантование магнитного потока присуще всем, без исключения, сверхпроводникам любой геометрической формы и связности. «Связность» есть топологическое понятие [3]. Топологическим пространством называется множество X , в котором выделено некоторое семейство τ подмножеств одновременно открытых и замкнутых. Такое семейство τ подмножеств называется «топологией» в множестве X . В данном контексте, применительно к сверхпроводникам, математический

термин «топология» используется преимущественно для исследования процессов, обусловленных изменением «связности» сверхпроводящих контуров вследствие фазовых переходов.

Формальное обоснование данного подхода состоит в следующем. Массивный сверхпроводниковый образец с математической точки зрения может рассматриваться как топологическое пространство (точнее, подпространство). По определению, данному выше, «топологическое пространство» – это множество X , на котором задана топологическая структура. В данном случае под «топологической структурой» понимается сверхпроводящая фаза, т.е. весь «сверхпроводящий объем» массивного образца. Множество X является одновременно открытым и замкнутым, равно как и пустое множество \emptyset . Если в X (т.е. в объеме сверхпроводника) нет других множеств, одновременно открытых и замкнутых, то топологическое пространство X называется связным. В частном случае массивного сверхпроводникового образца при условии обеспечения полного эффекта Мейсснера-Оксенфельда имеем односвязное топологическое пространство. Любое локальное нарушение сверхпроводимости в связи с проникновением в образец магнитного поля, например, с созданием локальной макроскопической нормальной зоны, промежуточного состояния или в виде отдельных квантованных нитей магнитного потока, пучков таких нитей изменяет топологию пространства, т.е. связность.

Известно, что стационарные электронные состояния, в данном случае сверхпроводимость, определяются квантовыми условиями. Следовательно, заводимый индуктивным способом в сверхпроводящее кольцо ток может принимать только дискретные значения. Так как квантовые уровни отстоят друг от друга на чрезвычайно малом расстоянии, дискретные значения тока обычными измерительными приборами не улавливаются.

С целью получения полной картины квантования магнитного потока вместо кольца следует рассмотреть сверхпроводящую пластину с отверстием.

С точки зрения топологии кольцо и пластина с отверстием являются гомеоморфными фигурами. Более того, в качестве «геометрического» отверстия в сверхпроводящей пластине может служить «фазовое» отверстие – нормальная зона. Она может быть создана приложенным извне магнитным полем, индукция которого выше критического значения, свойственного данному сверхпроводнику. Локализация нормальной зоны поддерживается сверхпроводящим током, циркулирующим вокруг нее. Это значит, что магнитный поток, созданный сверхпроводящим током, в нормальной зоне совпадает по направлению с внешним магнитным потоком, а вне нормальной зоны имеет противоположное направление,

обеспечивая экранирование остальной части сверхпроводящей пластины от внешнего магнитного поля. Средняя плотность циркулирующего вокруг отверстия (нормальной зоны) тока $\vec{j}_c = n_c e v_c$, где v_c - скорость куперовских пар. Циркулирующий вокруг нормальной зоны (отверстия) сверхпроводящий ток течет в слое толщиной, равной лондоновской глубине проникновения λ_L .

В отличие от выше рассмотренного случая «макроскопического отверстия» в виде нормальной зоны, квантованная нить магнитного потока представляет собой «микроскопическое отверстие» радиусом ξ , состоящее из нормальной фазы, вокруг которого циркулирует вихревой незатухающий сверхпроводящий ток j_c . Его направление такое же, как циркулирующего тока вокруг нормальной зоны. На этом их сходство исчерпывается. Циркулирующий ток вокруг нормальной зоны обеспечивает лишь кратное кванту магнитного потока значение внешнего магнитного потока, пронизывающего отверстие макроскопических размеров. Вихревой сверхпроводящий ток квантованной нити магнитного потока (вихря) создает равный одному кванту магнитный поток, который распространен в области с радиусом λ_L . Магнитный поток квантованной нити магнитного потока совпадает по направлению с приложенным магнитным полем. Объем сверхпроводника экранирован от внешнего магнитного поля сверхпроводящими поверхностными токами, текущими по периметру образца, а также вихревыми токами. Их направления взаимно противоположны.

Линии фазовых границ квантованной нити магнитного потока, кластера (пучка) квантованных нитей магнитного потока и нормальной зоны - это пример статистического самоподобия [5].

Фрактальная кривая фазной границы кластера, нормальной зоны строится путем генерации линии фазной границы квантованной нити магнитного потока.

На базе учения о сверхпроводимости ГЛАГ В.Л. Гинзбурга (Нобелевская премия, 2003 г.), Л.Д. Ландау (Нобелевская премия, 1962 г.), А.А. Абрикосова (Нобелевская премия, 2003 г.), дополненного исследованиями проникновения магнитного поля, структуры и динамики промежуточного и смешанного состояний технических низкотемпературных сверхпроводников серийного производства с ненулевым магнитометрическим коэффициентом размагничивания, а также высокотемпературных сверхпроводников второго поколения, открыто явление электромагнитной индукции постоянного тока. С этой целью выполнены следующие опыты:

1) Визуализация промежуточно-смешанного состояния ленточных низкотемпературных сверхпроводников серийного производства (Рис. 1);

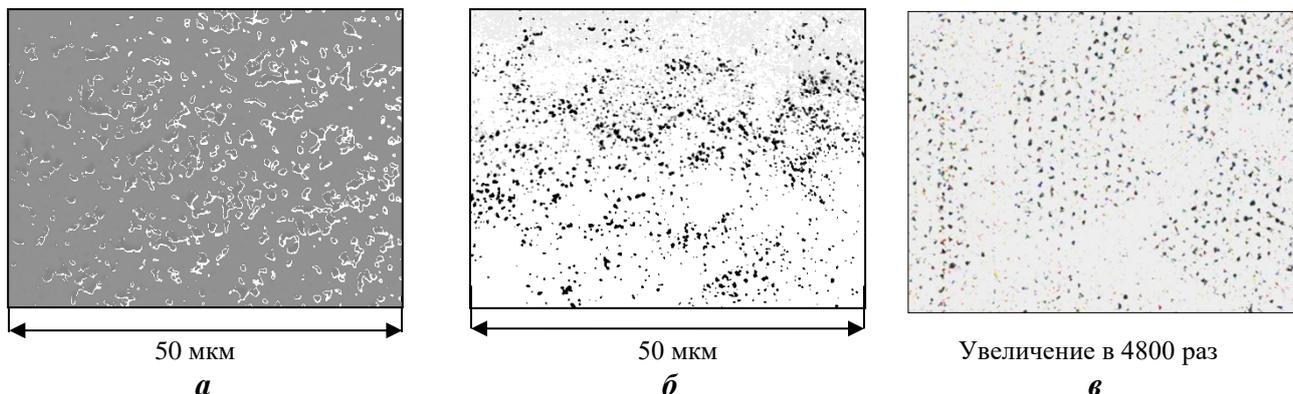


Рис. 1. Иллюстрация сосуществования промежуточного и смешанного состояний низкотемпературных сверхпроводников.

a - образец из сплава Nb+1,5%Zr (по массе), диск без медного покрытия, диаметр $\varnothing 5$ мм, толщина $d = 25$ мкм; $T = 4,4\text{K}$ ($T_K = 9,2\text{K}$), $B = 0,085$ Тл; $N = 1 - d/2a = 0,999$; белые образования – кластеры из ферромагнитных частиц в местах проникновения магнитного потока;

б - образец из Nb+50%Ti (по массе), диск с медным покрытием, диаметр $\varnothing 5$ мм, толщина $d = 25$ мкм; $T = 4,4\text{K}$ ($T_K = 9,5\text{K}$), $B = 0,3$ Тл; $N = 1 - d/2a = 0,999$; темные образования – пучки и отдельные квантованные нити магнитного потока;

в - образец из сплава Pb+1,89% Tl (по массе), диск диаметром $\varnothing 2$ мм, толщиной $d = 1$ мм, $\chi = 0,73$; $T = 1,2$ К, $B = 0,0365$ Тл; темные образования – домены из квантованных нитей магнитного потока [6].

2) Визуализация промежуточно-смешанного состояния высокотемпературных сверхпроводников второго поколения (Рис. 2);

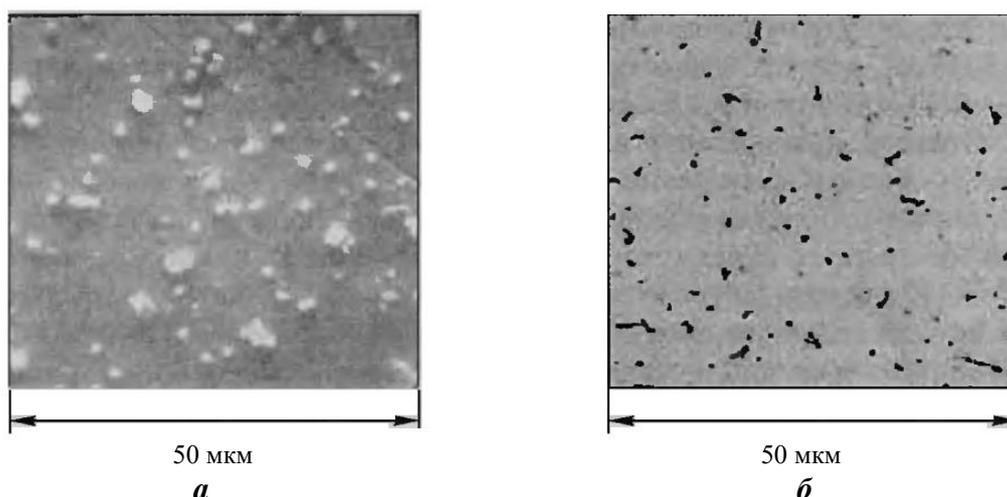


Рис. 2. Иллюстрация сосуществования промежуточного и смешанного состояний высокотемпературных сверхпроводников.

a – образец из ленты производства SuperOx; белые образования – кластеры из ферромагнитных частиц в местах проникновения магнитного потока;

б - образец из ленты производства AmSc; темные образования – пучки и отдельные квантованные нити магнитного потока.

3) Создание и исследование лабораторной модели сверхпроводящего топологического трансформатора постоянного тока на основе связанного движения квантованных нитей магнитного потока в наложенных друг на друга сверхпроводящих пластинах – фольгах, лентах и пленках (Рис. 3);

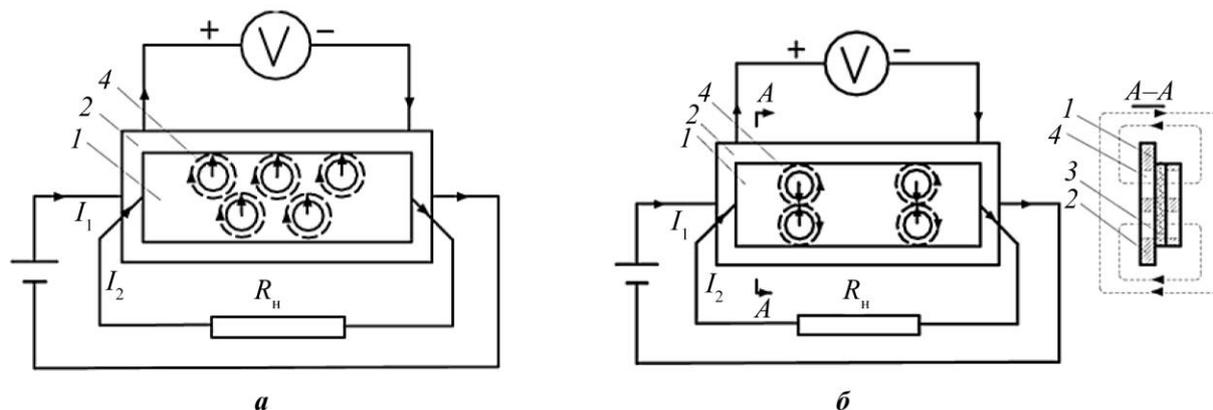


Рис. 3. Сверхпроводящий топологический трансформатор постоянного тока

а – стационарное магнитное поле B приложено перпендикулярно плоскости рисунка,
б – внешнее магнитное поле отсутствует.

- 1 – первичная сверхпроводящая обмотка (слой, пленка, пластина);
- 2 – вторичная сверхпроводящая обмотка (слой, пленка, пластина);
- 3 – изолятор (оксидный слой, фторопластовая пленка, любая изоляционная подложка);
- 4 – условное обозначение квантованной нити магнитного потока.

Будучи универсальным, закон электромагнитной индукции переменного тока М. Фарадея, тем не менее, исключает возможность трансформации тока без изменения потокосцепления, т.е. построение трансформатора постоянного тока. В устройстве (Рис. 3) трансформация тока осуществляется за счет локального переноса магнитного потока движущимися квантованными нитями в отсутствие изменения суммарного потокосцепления первичного и вторичного контуров. Первичной и вторичной обмотками трансформатора служат отрезки сверхпроводящей ленты из сплава Nb+50%Ti (производство ВНИИКТ, Россия) без медного покрытия, снятого с помощью азотной кислоты.

Эффект трансформации постоянного тока наблюдается и в отсутствие внешнего магнитного поля. Вместо внешнего магнитного поля B смешанное состояние в лентах создает транспортный ток I_1 , текущий по первичной обмотке (Рис. 3б). Аналогичный эксперимент, однако, с другой целью, а именно с целью доказательства туннельного эффекта, был поставлен норвежским физиком И. Гиавером [4] (Нобелевская премия по физике, 1973 г.). В его эксперименте первичной и вторичной обмотками трансформатора (Рис. 3) служили оловянные пленки толщиной $d < \lambda_L$. (исходным материалом для пленок служил сверхпроводник I рода, который вследствие малой толщины d пленки приобрел свойства

сверхпроводника II рода). Пленки разделены оксидным слоем изолятора толщиной 100 \AA . Данный эксперимент с туннелированием сверхпроводящих электронов является частным случаем, поскольку наибольший вклад в трансформацию постоянного тока вносит связанное движение квантованных нитей магнитного потока, имеющее место не только в случае тончайших сверхпроводящих пленок и тончайшего изоляционного слоя, но и при использовании сравнительно толстых сверхпроводящих лент и утолщенной изоляционной прокладки. Более того установлена трансформация постоянного тока в наложенных друг на друга через утолщенную (до 4 мм) изоляцию весьма толстых (до 5 мм) пластин из иттриевой металлокерамики - высокотемпературного сверхпроводника (производство ИПС ЦНИИЧермет, Россия).

Обе схемы на Рис. 3 могут служить основой для создания различного типа сверхпроводниковых топологических трансформаторов постоянного тока.

Перпендикулярно лентам приложено стационарное магнитное поле B , необходимое только для создания в обеих лентах смешанного состояния. Постоянный ток I_1 , текущий по первичной обмотке трансформатора, приводит в движение квантованные нити в обеих лентах. В результате на зажимах вторичной обмотки появляется напряжение. В стационарном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$ (Рис. 3а) и токе $I_1 = 1 \text{ А}$ на зажимах вторичной обмотки зафиксировано постоянное напряжение $V = 0,5 \text{ мВ}$.

4) Создание лабораторной модели сверхпроводникового топологического генератора постоянного тока, преобразующего тепловую энергию в электрическую (Рис. 4).

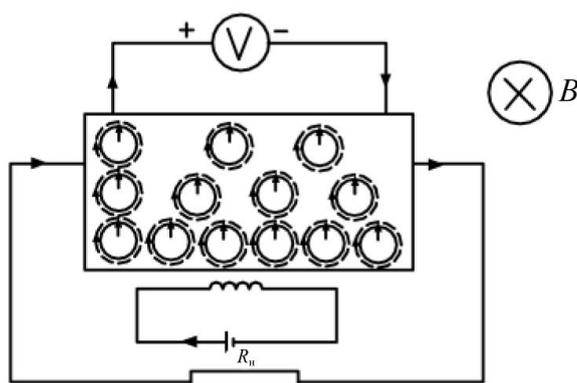


Рис. 4. Сверхпроводниковый топологический генератор, преобразующий тепловую энергию в электрическую

Приложенное поле с магнитной индукцией B обеспечивает образование в сверхпроводниковой пластине смешанного состояния. Нагревание (с помощью константанового нагревателя) одного из краев

(на Рис. 4 – нижний край) пластины приводит к увеличению плотности квантованных нитей на теплом крае, вследствие чего поперек пластины возникает градиент плотности квантованных нитей. Выравнивание плотности квантованных нитей происходит за счет их движения в направлении от теплого края к холодному. Подключенный к боковым сторонам пластины вольтметр регистрирует появление напряжения.

Испытания лабораторной модели (Рис. 4) убедительно доказали то, что генерируемая ЭДС в сверхпроводнике, находящемся в динамическом смешанном состоянии, связана исключительно с движением квантованных нитей, поскольку в данном устройстве нет транспортного тока, а, следовательно, нет прямого падения напряжения. В эксперименте использовалась холоднокатаная лента из сплава Nb+1,5%Zr (сверхпроводник II рода) толщиной 25 мкм, шириной 30 мм без медного покрытия, снятого с помощью азотной кислоты. Лента изготовлена во ВНИИ КП (Россия). Сверхпроводниковая пластина помещается во внешнее магнитное поле B , перпендикулярное ее плоскости. В выше описанных экспериментах (Рис. 3, 4) сверхпроводниковые пластины находятся в стационарном однородном магнитном поле. Тем самым автоматически обеспечивается неизменность потокосцепления с измерительным контуром. Согласно с законом электромагнитной индукции постоянного тока получается, если квантованные нити, возникшие благодаря внешнему магнитному полю, не отождествляются ему, а рассматриваются как самостоятельные магнитные образования.

В эксперименте при $B=0,1$ Тл получено постоянное напряжение $V=0,5$ мВ. Полярность ЭДС зависит от направления вектора магнитной индукции B . Данное устройство может служить прототипом сверхпроводникового генератора, преобразующего тепловую энергию в электрическую энергию. Применение такой схемы для изготовления соответствующего генератора непрактично, поскольку размещение нагревателя в криогенной среде энергетически неоправданно. Однако поставленный эксперимент имеет принципиальное значение для доказательства наведения постоянной ЭДС исключительно за счет направленного движения квантованных нитей магнитного потока.

Справедливость такого рассмотрения показана и в эксперименте с “винтовым” топологическим генератором со скошенными зубцами-полюсами, в котором обеспечивается постоянство суммарного потокосцепления в измерительной цепи (Рис. 5). В отсутствие транспортного тока нет прямого падения напряжения и, таким образом, напряжение на зажимах топологического генератора есть результат движения квантованных нитей магнитного потока, приводящего к наведению постоянной ЭДС.

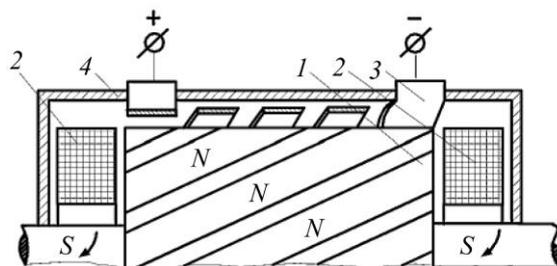


Рис. 5. Конструктивная схема сверхпроводниковой топологической электрической машины постоянного тока

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Основные понятия о топологии сверхпроводников, которые требуются для анализа динамики промежуточного и смешанного состояний, сводятся к следующему. Магнитное состояние сверхпроводника определяет его топологию. Падение напряжения от протекания транспортного тока и генерирование постоянной ЭДС в отсутствие тока есть следствие изменения топологии (связности) сверхпроводника.

Для того чтобы дать строгое математическое обоснование выше представленной физической интерпретации возникновения ЭДС и падения напряжения, рассмотрим плоскую модель топологического устройства на Рис. 6. Предположим, что измерительная цепь располагается в той же плоскости, что и сверхпроводниковая пластина. Выберем лежащий в плоскости рисунка некоторый кусочно-гладкий замкнутый путь (контур) γ с носителем γ (Θ) $\equiv ODABCO$, где $\Theta \in [a, b] \subset R$ - множество вещественных чисел.

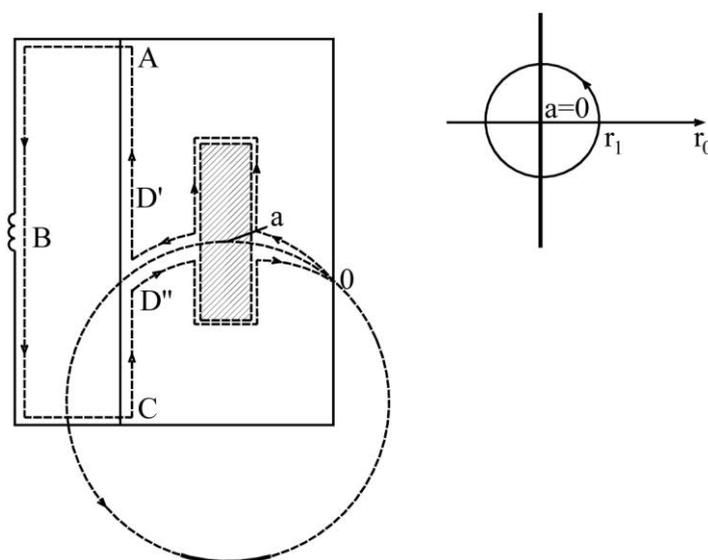


Рис. 6. Плоская топологическая схема

Точка a , совпадающая с центром проекции магнита на плоскость рисунка, при движении магнита совершает путь γ_1 , носитель которого $\gamma_1(t)$ также лежит в плоскости рисунка и совпадает с окружностью радиуса r . Здесь время $t \in [0, +\infty)$.

Определим индекс точки a относительно контура γ , когда она занимает множество положений $\{\gamma_1(kT)\}$ $k = 0, 1, 2, \dots$, где T – период одного цикла вращения магнита:

$$j(a, \gamma) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{ind \xi}{\xi - a} = n; \quad \xi \in \gamma(\Theta), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Так как при $t \in [0, T)$ контур γ гомотопен постоянному контуру (может быть стянут в одну точку), то, применяя теорему Коши, имеем

$$\int_{\gamma} \frac{d\xi}{\xi - a} = 0,$$

следовательно, $j(a, \gamma) = 0$.

При $t \in [T, 2T)$ контур γ может быть деформирован в контур ε_n , носитель которого есть окружность единичного радиуса $1 > r / r_1$ (Рис. 6), $\varepsilon_1(\Theta_1) = 1 \cdot e^{i\Theta_1}$ причем $\Theta_1 \in [0, 2\pi]$. Тогда индекс точки a относительно контура γ

$$j(a, \gamma) = j(a, \varepsilon_1) \equiv j(0, \varepsilon_1) = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{d\xi}{\xi - 0} = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{ie^{i\Theta_1}}{e^{i\Theta_1}} d\Theta_1 = 1.$$

При $t \in [nT, (n+1)T]$

$$j(a, \gamma) = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{ine^{in\Theta_1}}{e^{in\Theta_1}} d\Theta_1 = n.$$

Пусть Φ_0 – магнитный поток, содержащийся в зоне проникновения, тогда, применив интегральную формулу Коши, получим

$$j(a, \gamma)(-\Phi(a)) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{\Phi(\xi)}{\xi - 0} d\xi = -\Phi_0.$$

Таким образом, после первого цикла потокоцепление с контуром, заключающим нагрузку, составляет $|\psi| = |-\Phi_0|$.

При $t = 2T$ $|\psi| = |-2\Phi_0|$, и т.д. Из этого следует, что средняя ЭДС, наводимая в электрической цепи с нагрузкой, равна $e = -f\Phi_0$, где f -

частота циклов. Направление индуцированного тока противоположно направлению обхода носителя пути γ .

С другой стороны, пусть на носителе кусочно-гладкого пути рассматриваемого контура γ задана непрерывная вектор-функция $\vec{E}(\xi)$ – напряженность электрического поля. Тогда для любой точки z , принадлежащей области проникновения магнитного поля, в частности, нормальной зоне, используя интегральную формулу Коши, можно записать следующее соотношение

$$j(a, \gamma) \vec{E}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{\vec{E}(\xi)}{\xi - z} dz.$$

Так как интересующая нас точка a при $t \in [nT, (n+1)T)$ всегда лежит во внутренней компоненте связности, то

$$j(a, \gamma) \vec{E}(a) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{\vec{E}(\xi)}{\xi - a} d\xi = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{\vec{E}(\xi)}{\xi - 0} d\xi = \frac{1}{2\pi i} \int_0^{2\pi} \frac{\vec{E}(\Theta_1) i n e^{in\Theta_1}}{e^{in\Theta_1}} d\Theta_1 = \frac{n}{2\pi} \int_0^{2\pi} \vec{E}(\Theta_1) d\Theta_1$$

Учитывая $j(a, \gamma) = n$, $\vec{E}(\Theta_1) = \text{const}$, имеем $\vec{E}(a) = \vec{E}(\Theta_1) = \vec{E}$.

Таким образом, зная значение вектора напряженности $\vec{E}(\xi)$ электрического поля на носителе контура γ , можно определить его значение в любой точке, лежащей в области проникновения магнитного поля $\vec{E}(z)$, и наоборот. В этом проявляется органичная связь двух формул для определения ЭДС индукции. А именно,

$$e = \int_{\gamma} \vec{E}(\xi) d\vec{\xi} = \int_{\xi_1} \vec{E}(\xi) d\vec{\xi} = \int_S \text{rot} \vec{E}(\xi) d\vec{\xi} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Итак, применительно к описанию принципа действия сверхпроводниковой топологической электрической машины топологическое представление дает ответ на принципиальный вопрос: почему в случае якоря из обыкновенного, например, медного проводника топология такого якоря не меняется, и он не выполняет своих функций. К этому следует добавить: если пластина будет сверхпроводящей и в ней не будет создаваться зона в нормальном или промежуточно-смешанном состоянии и не будут обеспечены условия для перманентных фазовых превращений с изменением топологии цепей, то мы будем иметь дело с обычным явлением индукции переменного тока Фарадея. В этом и заключается суть открытия явления электромагнитной индукции постоянного тока, обусловленного перманентными фазовыми превращениями, приводящими

к изменению топологии сверхпроводящего якоря и нагрузки, которая, следует подчеркнуть, принципиально может быть и не сверхпроводящей.

Для описания структуры и динамики промежуточного и смешанного состояния сверхпроводников и явления электромагнитной индукции постоянного тока топологический метод описания и анализа дает возможность вести рассуждения просто и в полном соответствии с действительной природой того, что происходит. Топологический метод является основой для создания инженерной теории и методики расчета сверхпроводниковых топологических электрических машин постоянного тока. При этом с принятием физически обоснованных допущений открывается возможность рассмотрения эквивалентных схем замещения с сосредоточенными параметрами методами классической электромеханики [3]. Топологический метод позволяет объяснить явление электромагнитной индукции постоянного тока в висмуте, не являющимся сверхпроводником, но обладающим магниторезистивным эффектом [7].

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА НОВИЗНЫ И ДОСТОВЕРНОСТИ ОТКРЫТИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Впервые показано, что явление электромагнитной индукции постоянного тока позволяет создавать трансформаторы постоянного тока и электрические машины постоянного тока без применения внешних коммутаторов, в отличие от закона электромагнитной индукции переменного тока М. Фарадея, исключающего такую возможность.

Несмотря на то, что явление электромагнитной индукции постоянного тока в сверхпроводниках имеет квантовомеханическую природу, однако, в отличие от явления туннелирования сверхпроводящих электронов [6], при трансформации постоянного тока за счет направленного движения квантованных нитей магнитного потока достигается макроскопический результат, позволяющий создавать сверхпроводниковые топологические трансформаторы постоянного тока из сравнительно массивных сверхпроводниковых материалов, что способствует достижению высоких номинальных параметров.

Фундаментальность подтверждается открытием явления электромагнитной индукции постоянного тока в полупроводниках.

Достоверность открытия подтверждается прямыми доказательствами – измерениями постоянной ЭДС и постоянного тока стандартными приборами – осциллографом, вольтметром и амперметром (Рис. 7, 8).

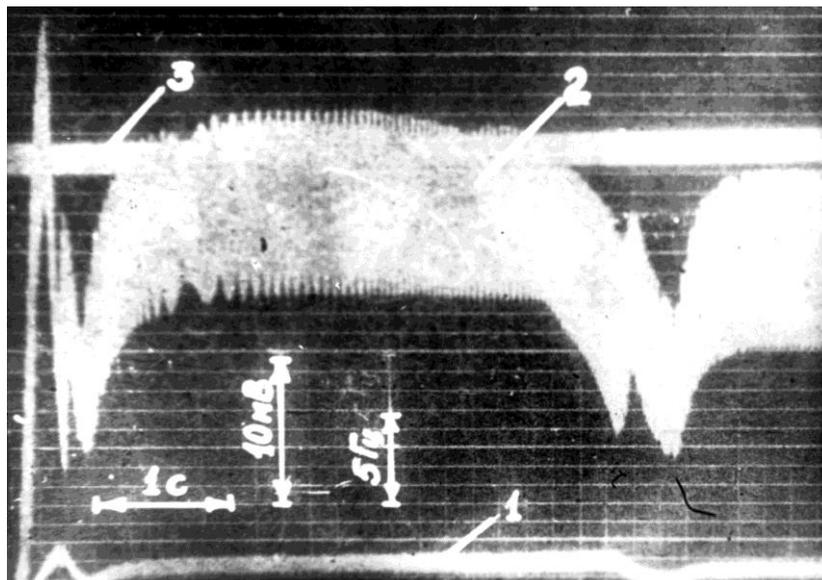


Рис. 7. Осциллограмма характеристик сверхпроводникового топологического генератора

- 1 – частота вращения;
- 2 – напряжение;
- 3 – ток в тестовом сверхпроводящем соленоиде (показания преобразователя Холла).

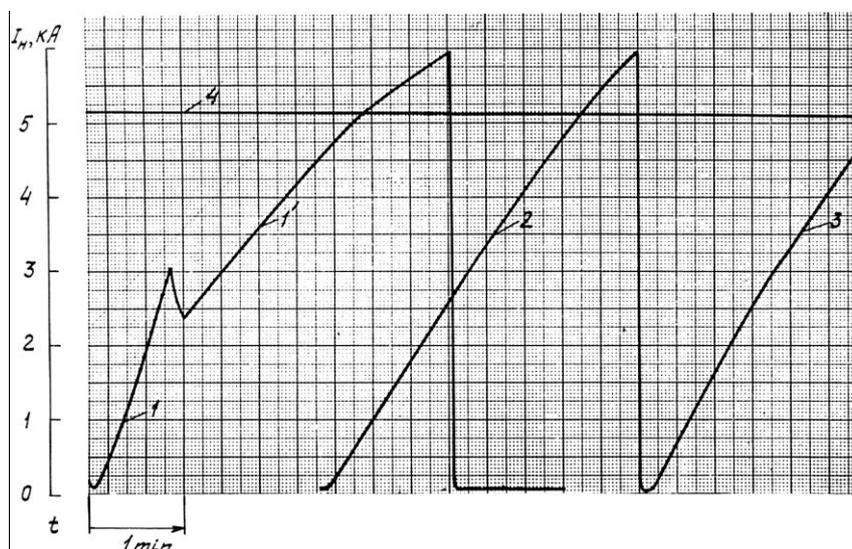


Рис. 8. Характерные кривые сверхпроводникового топологического генератора постоянного тока при питании сверхпроводящей нагрузки

- 1, 2, 3 – изменение тока в сверхпроводящей нагрузке, в том числе во время перехода сверхпроводящей нагрузки в нормальное состояние при достижении критического тока;
- 4 – постоянное напряжение.

ФОРМУЛА ОТКРЫТИЯ

Открытие фундаментального явления электромагнитной индукции постоянного тока в веществах, обладающих магниторезистивным эффектом, прежде всего в сверхпроводниках и полупроводниках, создание нового класса сверхпроводниковых топологических электрических машин и трансформаторов постоянного тока, разработка и внедрение сверхпроводниковых топологических генераторов постоянного тока с рекордными значениями номинальных параметров – ток 10 кА (в мультитактном исполнении - до 100 кА), удельная токовая нагрузка 1 кА/кг.

РАДИКАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

При питании сверхпроводящей нагрузки, располагающейся в криогенной зоне криостата, от традиционных источников постоянного тока, находящихся вне криостата в теплой зоне, требуются резистивные токовводы, которые являются тепловыми мостами из окружающей среды в криостат и таким образом вносят тепло в криостат, что энергетически невыгодно. Сверхпроводниковый топологический генератор постоянного тока располагается в криостате в непосредственной близости от сверхпроводящей нагрузки и поэтому не вносит тепло извне в криогенную зону. При использовании традиционных теплых источников постоянного тока вместе с резистивными токовводами трудно обеспечить режим “незатухающего тока”, в то время как сверхпроводниковый топологический генератор постоянного тока в пассивном режиме (в выключенном состоянии) шунтирует сверхпроводящую нагрузку, переводя ее в режим “незатухающего тока” с возможностью регулирования тока, в том числе прецизионного регулирования тока 1 мкА/с, которое технически трудно обеспечить с помощью теплых источников постоянного тока.

Явление электромагнитной индукции постоянного тока, обусловленное направленным движением квантованных нитей магнитного потока, позволяет осуществлять парциальную “накачку” магнитного потока в сверхпроводящий контур и поэтому сверхпроводниковые топологические генераторы постоянного тока могут работать в режиме “насоса магнитного потока”. В связи с этим радикально изменяется технология питания сверхпроводящих магнитных систем различного назначения в стационарных и вращающихся криостатах. Поскольку сверхпроводниковые топологические генераторы постоянного тока имеют относительно малые массо-габаритные показатели и в режиме “насоса магнитного потока” требуют для своего привода низковольтные электродвигатели небольшой мощности традиционного исполнения, они

эффективно могут применяться на летательных аппаратах, в том числе космического назначения [3].

СФЕРА НАУЧНОГО И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Явление электромагнитной индукции постоянного тока применяется в:

а) новом классе сверхпроводниковых топологических электрических машин и трансформаторов постоянного тока с высокими значениями номинальных параметров – ток 10 кА (в мультиякорном исполнении - до 100 кА), удельная токовая нагрузка 1 кА/кг (рис. 9, 10);

б) бесщеточных системах возбуждения турбогенераторов и ветрогенераторов со сверхпроводящей обмоткой возбуждения; поскольку сверхпроводниковые топологические генераторы постоянного тока являются высокотокowymi – 10-100 кА, но низковольтными – до 1 В электрическими машинами, то с их помощью обеспечивается режим начального заведения тока, регулирование, поддержание заданного значения без затухания тока, штатный вывод тока, однако невозможна форсировка тока возбуждения, требующая высокого напряжения до 10 кВ, что, впрочем, на практике не требуется, поскольку существуют ограничения по скорости изменения тока в сверхпроводящей обмотке возбуждения турбогенератора или ветрогенератора [8];

в) автоматизированной системе автономного питания сверхпроводниковых магнитов каналов частиц (единичная запасенная энергия магнита 1 МДж) Ускорительно-накопительного комплекса на энергию 2x7 ТэВ;

г) источниках питания сверхпроводящих обмоток, в том числе тороидальной обмотки на токи до 100 кА, термоядерных реакторов;

д) источниках питания сверхпроводниковой электрофизической аппаратуры, особенно для проведения длительных экспериментов при высоких требованиях к стабильности магнитного поля;

е) источниках питания сверхпроводниковых ЯМР, в том числе МРТ с высокой разрешающей способностью для медицинской диагностики;

ж) источниках питания для сверхпроводящих приборов и техники эксперимента наземных лабораторий и в особенности лабораторий космического базирования;

з) чувствительном диагностическом устройстве для измерения критических параметров сверхпроводниковых обмоточных материалов и контактных соединений.

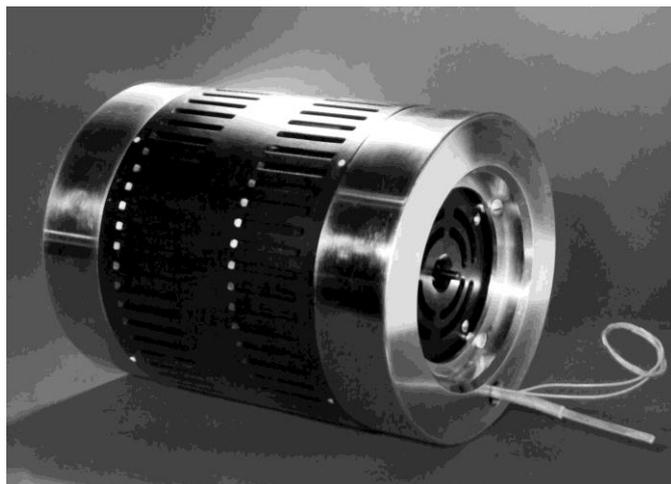


Рис. 9. Головной образец серийной продукции



Рис. 10. Многофункциональный экспериментальный стенд для исследований сверхпроводниковых топологических электрических машин и трансформаторов постоянного тока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе феноменологической теории сверхпроводимости и экспериментальных данных намагничивания низкотемпературных сверхпроводников I и II рода, а также высокотемпературных сверхпроводников второго поколения, визуализации структуры и динамики промежуточного и смешанного состояния сверхпроводниковых образцов с отличным от нуля магнитометрическим коэффициентом размагничивания открыто явление электромагнитной индукции постоянного тока в веществах, обладающих магниторезистивными свойствами, сформулирован закон электромагнитной индукции постоянного тока, разработана адекватная математическая теория с использованием понятий и методов фрактальной геометрии и функционального анализа (топологических пространств), создан новый класс сверхпроводниковых топологических электрических машин и трансформаторов постоянного тока, изготовлена и испытана в штатных режимах эксплуатации серия многофункциональных сверхпроводниковых топологических генераторов с рекордными значениями номинальных параметров – ток (10–100) кА, удельная токовая нагрузка 1 кА/кг, на базе сверхпроводниковых топологических генераторов постоянного тока разработаны и внедрены бесщеточные системы возбуждения турбогенераторов и ветрогенераторов со сверхпроводящей обмоткой возбуждения мощностью 20–300 МВт, автономные источники питания 200 сверхпроводниковых отклоняющих магнитов каналов частиц суперколлайдера – ускорительно-накопительного комплекса на энергию частиц 2×7 ТэВ (единичная запасенная электромагнитная энергия сверхпроводниковых отклоняющих магнитов 1 МДж), прецизионный источник питания сверхпроводникового МРТ для медицинской диагностики с высокой разрешающей способностью, встроенный в сверхпроводящий соленоид источник питания сверхпроводниковой электрофизической аппаратуры для медико-биологических исследований в условиях космического базирования.

Автор заявляет, что:

1. У него нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Список литературы / References

1. Faraday M. *Experimental Researches of Electricity*. London: Richard Taylor and William Francis, 1855. 588 p.



2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 620 с. [Landau LD, Lifshits EM. *Ehlektrodinamika sploshnyh sred*. Moscow: Nauka, 1982. 620 p. (In Russ.)].
3. Рудин У. Функциональный анализ. – М.–Л.: Мир, 1975. – 443 с. [Rudin U. *Funkcional'nyj analiz*. Moscow-Leningrad: Mir, 1975. 443 p. (In Russ.)].
4. Гиавер И. Туннелирование электронов и сверхпроводимость // Успехи физических наук. – 1975. – №11. – С. 585–595. [Giaver I. Tunnelirovanie ehlektronov i sverhprovodimost'. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1975;(11):585-595 (In Russ.)].
5. Мандельброт Б.М. Фрактальная геометрия природы. – М.: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002. – 656 с. [Mandel'brot BM. *Fraktal'naya geometriya prirody*. Moscow: Izd-vo Instituta komp'yuternyh issledovaniy, 2002. 656 p. (In Russ.)].
6. Träuble H, Essmann U. Die Beobachtung magnetischer Strukturen von Supraleitern zweiter Art. *Physica Status Solidi*. 1967;20:95-111.
7. Данилевич Я.Б., Антонов Ю.Ф. Топологический генератор с магниторезистивным коммутатором из висмута // Электричество. – 1997. – № 11. – С. 41–46. [Danilevich YaB., Antonov YuF. Topologicheskij generator s magnitorezistivnym kommutatorom iz vismuta. *Ehlektritchestvo*. 1997;(11):41-46. (In Russ.)].
8. Антонов Ю.Ф., Данилевич Я.Б. Криотурбогенератор КТГ-20: опыт создания и проблемы сверхпроводникового электромашиностроения. – М.: Физматлит, 2003 – 600 с. [Antonov YuF, Danilevich YaB. *Krioturbogenerator KTG-20: opyt sozdaniya i problemy sverhprovodnikovogo ehlektromashinostroeniya*. Moscow: Fizmatlit, 2003 600 p. (In Russ.)].
9. Антонов Ю.Ф., Данилевич Я.Б. Сверхпроводниковые топологические электрические машины. – М.: Физматлит, 2009. – 368 с. [Antonov YuF, Danilevich YaB. *Sverhprovodnikovye topologicheskije ehlekticheskie mashiny*. Moscow: Fizmatlit, 2009. 368 p. (In Russ.)].

Сведения об авторе

Антонов Юрий Федорович, д.т.н., профессор кафедры «Теоретические основы электротехники»

SPIN-код: 2335-5765; ORCID: 0000-0002-6910-1622;

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Information about author:

Yuri F. Antonov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Theoretical Foundations of Electrical Engineering"

PIN-код: 2335-5765; ORCID: 0000-0002-6910-1622;

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Цитировать:

Антонов Ю.Ф. Природа электрического напряжения в сверхпроводниках с динамическим промежуточно-смешанным состоянием // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 54–73. doi: 10.17816/transsyst20195154-73

To cite this article:

Antonov YuF. The Nature of Voltage in Superconductors with Dynamic Intermediate-Mixed State. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):54-73. doi: 10.17816/transsyst20195154-73

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.47

DOI 10.17816/transsyst20195174-88

© В. П. Третьяк¹, М. А. Лякина², Е. М. Волкова²

¹Российский университет транспорта (РУТ)

(Москва, Россия)

²Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ИНСТИТУАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

Революция 4.0 предполагает переход от индустриальной организации производства к господству постиндустриальных технологических укладов. Магнитная левитация относится к перспективным транспортным технологиям.

Цель: обосновать выбор институциональных форм, стимулирующих продвижение инновационных технологий и техники (к которым относятся магнитолевитационные технологии), в реальном секторе экономики России.

Методы: для достижения поставленной цели были использованы такие общенаучные методы исследования, как аналогия, сравнительный анализ, обобщение, гипотетический метод, исторический метод, системный подход.

Результаты: обоснована целесообразность проведения фундаментального *Форсайта* по определению перспектив использования магнитолевитационных систем в отечественной экономике. Предложено для интенсивного *продвижения* инновационных образцов магнитолевитационных систем создание специального фонда по их внедрению в реальные сектора отечественной экономики по линии гражданских институтов, рассматриваются варианты в отдельных случаях разработки целевых программ со стороны властных структур.

Заключение: в результате реализации предложенных мер по линии гражданских институтов и властных структур будут определены долгосрочные перспективы развития рынка магнитолевитационных технологий. Форсайт-проект позволит активизировать общество по вопросу развития магнитолевитационных систем с учетом различия партикулярных интересов заинтересованных групп и сформировать пиксельные сценарии приближения будущего в части применения магнитолевитационных технологий как продукта Революции 4.0 и перехода к господству постиндустриальных технологических укладов.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, технологические уклады, Форсайт, магнитолевитационные технологии, фонд инновационного развития, целевые программы.

© V. P. Tretyak¹, M. A. Lyakina², E. M. Volkova²,

¹Russian Transport University (RUT)

(Moscow, Russia)

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

Background: Industry 4.0 involves transition from industrial organisation of production to the dominance of post-industrial technological paradigms. Magnetic levitation is one of the promising technologies of transport.

Aim: to justify the choice of institutional forms, which encourage promotion of innovative technologies (including magnetic levitation technologies) in the real economy of Russia.

Methods: to achieve the goal, such general research methods as analogy, comparative analysis, generalisation, hypothetical method, historical method, and system's theory have been used.

Results: the relevance of carrying out fundamental foresight to determine perspectives of using maglev systems in the national economy has been substantiated. It has also been suggested that, in order to intensively *promote* maglev systems innovative projects, a special fund for their introduction into the real sectors of the national economy through civil institutions should be established. Finally, options, and developments in certain cases, of elaboration of target programmes initiated by the authorities are considered.

Conclusion: the realisation of the proposed measures through civil institutions and the authorities will result in determining the longer-term prospects for maglev technologies market development. The foresight project will provide opportunity to actuate the society on the issue of maglev systems development, considering differences between own interests of the groups involved, and to outline pixelated scenarios of the forthcoming future in terms of maglev transport as the product of the Industry 4.0 and transition to post-industrial technological paradigm predominance.

Keywords: Industry 4.0, technological paradigms, foresight, maglev technologies, innovative development fund, target programmes.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитная левитация имеет сравнительно небольшую историю. Значительная часть исследований и разработок была проведена в XX веке. Весомый вклад в разработку системы левитации, в частности левитации в вакуумном пространстве, сделан отечественными учеными. В 60-е годы XX века СССР был одним из мировых лидеров в разработке магнитолевитационных систем.

Известно, что первый поезд на магнитной подушке, т. е. «новшество», превращенное в коммерческое предложение, или «инновацию», перевез группу пассажиров в рамках проходившей в Германии Международной транспортной выставки IVA 1979 г. Но мало кто знает, что в том же году первые метры по испытательной трассе

проехал советский Маглев, модель ТП-01. Советские Маглевы сохранились до наших дней [1]. Между тем уровень использования указанных технологий в отечественной экономике весьма низок как в реальном секторе, так и в сфере прикладных разработок. В других странах кроме продолжения исследований в этой области имеется практика коммерческого использования указанных технологий. Так, в Китае действует Шанхайский маглев, созданный по немецкой технологии Transrapid; в Японии функционирует в режиме городского транспорта линия Линимо; в Южной Корее – линия на основе технологии ECOVEE [2].

Дальнейшие перспективы использования маглева привлекательны своими возможностями быстрого перемещения, применением магнитных подшипников в ключевых узлах механизмов. [3]

Таким образом, создание технологии и коммерческое ее использование настолько же разнятся, насколько понятие «новшество» отличается от термина «инновация». Под «инновацией» понимается *конечный результат* деятельности по осуществлению нововведений, воплощенный в виде нового или усовершенствованного продукта, *внедренного на рынок*, нового или усовершенствованного процесса, используемого в организационной деятельности, нового подхода к решению социальных проблем [4].

В настоящей статье предпринята попытка предложить некие институциональные формы, стимулирующие продвижение магнитолевитационных технологий и их использование в отечественной экономике.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В литературе нет больших расхождений по вопросу, стоит ли проводить научные исследования в области разработки магнитолевитационных технологий. Дискуссия чаще разгорается по другому вопросу: использовать ли их возможности сейчас, как это было сделано в СССР в 1979 г., или время еще не пришло. Не обременяя читателей обзором аргументации сторонников и противников использования магнитолевитационных технологий в отечественной экономике, обратим внимание на то обстоятельство, что промышленное развитие имеет свою логику. Мы исходим из того, что инновационное развитие современной отечественной экономики находится на этапе перехода к господству постиндустриальных технологических укладов [5].

Эволюционный характер смены технологических укладов, по нашему мнению, имеет следующую тенденцию: от кустарного производства, где практически все изделия были уникальными, создавались согласно индивидуальным запросам заказчика; через машинную стадию

производства, обеспечивающую массовое предложение однотипных изделий; к индивидуализированному массовому производству, способному создавать изделия в массовом порядке и удовлетворять индивидуальные запросы покупателей. Простая кооперация и разделение труда, свойственные доиндустриальному, или кустарному технологическому укладу, утрачивают господствующее положение в индустриальной экономике. Индустриальные технологические уклады, в основе которых лежит фабричная организация, несколько позднее – поточное производство, соответствуют третьему и четвертому технологическим укладам. Последние подготавливают основу для возникновения постиндустриальных технологических укладов, использующих жесткие (заводы-автоматы) и гибкие автоматизированные модули, базирующиеся на применении стандартизированных комплектующих изделий и дорогостоящем креативном труде немногочисленных работников.

В любой экономике прослеживается то или иное сочетание технологических укладов. Инновационный процесс проявляется в поступательной смене прежних технологических укладов новыми, роль которых неодинакова. Среди технологических укладов всегда выделяется ведущий, *доминирующий*, или основной уклад. Поэтому модернизация экономики представляется как процесс вытеснения прежних, доминирующих технологических укладов другими, отвечающими в большей степени требованиям сегодняшнего дня. Оценить масштабы технологических укладов можно определив объемы производства продукции, изготавливаемой с помощью технологий различных укладов [6].

Это означает, что подобно тому, как промышленный переворот вытеснил доиндустриальные, кустарные технологические уклады, революция 4.0 приведет к концу господства индустриального этапа в развитии отечественной экономики и положит начало доминированию постиндустриальных технологических укладов [7].

Смена паровой тяги на дизельную, а затем на электрическую – соответствует первым трем промышленным революциям в рамках индустриального технологического уклада. Иные технологии, не базирующиеся на концепции «колесо-рельс» есть технологии постиндустриальных укладов. Продвижение таких технологий соответствует уходу от индустриальных технологий в сторону постиндустриальной организации отечественного производства.

В целом революция 4.0 окажет воздействие на ожидания потребителей, на усовершенствование продуктов и товаров, на темпы инновационного развития и на организационные формы. Власти получают новые возможности для усиления контроля над населением благодаря мощным системам слежения и возможности контролировать цифровую

инфраструктуру. Революция 4.0 изменит не только то, что делает человечество, но и само человечество. Она повлияет на идентичность людей и все, что с ней связано. Профессор Шваб видит три причины, по которым сегодняшние перемены следует считать не простым продолжением третьей промышленной революции, а началом четвертой. Это скорость, с которой происходят перемены, их размах и системный характер последствий [8]. С учетом этой тенденции следует сосредоточить усилия на развитии техники, относящейся к постиндустриальным технологическим укладам. Именно к такой технике относятся магнитолевитационные системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Продвижение – инструмент маркетинга. В едином комплексе маркетинговых мероприятий в сфере продвижения очень велика роль таких составляющих, как *реклама, прямое стимулирование сбыта, персональные продажи*, а также специальных инструментов, например, выставок и ярмарок, но главное – *связи с общественностью*. Первая классическая книга по связям с общественностью (Public Relations, PR) Э. Бернейза, вышедшая в США в 1928 г., носила название Publicity (Пропаганда). Автор рассматривает пропаганду и PR как равноценные инструменты манипулирования общественным сознанием и считает возможным использование в политическом PR методов конкурентной борьбы, принятых в бизнесе. Термин PR означает использование определенных технологий для эффективного внедрения каких-либо тезисов в массовое сознание граждан и в деятельность институтов бизнеса, общества и власти. Согласно определению Э. Бернейза, PR – это «усилия, направленные на то, чтобы *убедить общественность* изменить свой подход или свои действия, а также на гармонизацию деятельности организации в соответствии с интересами общественности и наоборот» [9].

Продвижение постиндустриальных транспортных технологий, в данном случае магнитолевитационных систем, означает стремление убедить общественность в целесообразности их использования в отечественном производстве. Для систематизации этой работы целесообразно использовать возможности либо гражданских институтов, либо мощь структур власти. В качестве *гражданского* инструмента следует создать специальный *инвестиционный фонд* поддержки действующих в экономике магнитолевитационных систем, цель которого не поддержка исследований, не создание опытных образцов - новшеств от магнитной левитации, а технических объектов, введенных в промышленную эксплуатацию. Фонд частично компенсирует затраты компании, которая эксплуатирует технику, в которой используется

постиндустриальная технология. Это первое, что можно предложить в качестве институциональной формы, стимулирующей продвижение магнитолевитационных систем.

В реальной экономике множество приемов для продвижения идей применения магнитолевитационных систем, один из наиболее современных – использование технологии Форсайта (Foresight). Современный Форсайт используется как системный инструмент влияния на формирование будущего и его приближение с учетом возможных изменений во всех сферах общественной деятельности: науке, технологиях, экономике, социальных отношениях, культуре. Форсайт рассматривается как новейшая технология, позволяющая активно участвовать в формировании будущего, самым успешным образом согласовывать партикулярные интересы участников процесса изменений, заглядывать в будущее. Иными словами, на базе полученных коллективных экспертных оценок формируется опережающее отображение грядущих изменений действительности в долгосрочной перспективе. Форсайт [10] отличается почти от всех известных инструментов научного предвидения тем, что он не только предполагает участие многих заинтересованных слоев гражданского общества в формировании картинки предвидения, но и зовет участников к активным действиям по реализации ими же предполагаемых изменений. При этом желательно, чтобы зарождающиеся гражданские инициативы были в какой-то степени согласованы. И хотя Форсайт способствует стремлению к выработке консенсуса активных представителей заинтересованных слоев общества, он не склоняет их к ущемлению собственных партикулярных интересов. Форсайт представляет собой новую технологию предвидения, посредством которой ведется обсуждение предполагаемых изменений. Иначе говоря, осуществляется предвидение новых явлений и процессов, вызревающих в сегодняшней деятельности.

Особенно интенсивно этот инструмент стал распространяться в Европейском союзе с 2000 г., когда была принята *Лиссабонская стратегия* [11], в которой в благожелательной форме высказано предложение всем странам ЕС шире применять инновационный инструмент — технологию Форсайта [12–15].

Опыт применения Форсайта во Франции («Великий Лион», фр. *Grand Lyon*). В декабре 1997 г. мэр Лиона Раймон Барр (французский премьер-министр (1995–2001) запустил проект (первый Форсайт-проект Франции) с упором на устойчивое развитие города. Сейчас Лион – «умный город», в котором сосредоточены крупнейшие инновационные центры страны и идет широкомасштабное строительство с использованием инновационных технологий. Это площадка для изобретательской мысли, здорового роста и гармоничной жизни.

Опыт применения муниципального Форсайта в Великобритании. Манчестер – город и муниципальный район в Северо-Западной Англии. В 2003 г. по инициативе Университета Манчестера было предложено провести Форсайт с целью стратегического обзора научного парка (общее видение будущего развития университетов, разработка дорожной карты). Сейчас Манчестерский университет признан университетом мирового класса, привлекающим иностранные инвестиции транснациональных корпораций и предпринимателей. Его отличает развитая интеллектуальная сеть: фирмы разных размеров и возрастов находятся в постоянном поиске знаний и людей.

Аналогичные результаты дает Форсайт и в сфере технологий. Собственно Форсайт представляет собой относительно новую технологию, посредством которой ведется обсуждение предполагаемых изменений в будущем. Это реализуется путем консолидации усилий активных участников процесса предвидения изменений в выбранном сегменте через выделение явлений и процессов, которые в будущем станут *доминантными*. Форсайт представляет собой, по сути, периодически возобновляемый процесс согласования усилий заинтересованных участников в части формирования грядущего. Подобно тому, как под действием магнитного поля металлические стружки выстраиваются в определенный орнамент, Форсайт способствует согласованию разнонаправленных инициатив различных групп активных участников.

В СССР в 1972 г. под эгидой Госплана, Госстроя и АН СССР был разработан проект Комплексной программы научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий (далее КП НТП). 12 июля 1979 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работ», где предусматривалась разработка КП НТП, рассчитанная на 20 лет. Предполагалось через каждые пять лет продлевать КП на пятилетку и вносить в нее коррективы. Была разработана КП НТП на 1981–2000 гг., 1986–2005 гг. и 1991–2010 гг. [16].

Форсайт-проекты – оригинальное мероприятие. Относительно Форсайт-проекта по определению перспектив развития магнитолевитационных технологий в отечественной экономике можно сказать, что для его реализации должен применяться *тематический* Форсайт, точнее *фундаментальный* Форсайт технологической направленности и, видимо, исходящий сверху.

Первый критерий, по которому разнятся Форсайты, – учет предстоящих изменений в технологиях. Если предвидение строят, вовлекая новые технологии, патенты, новые технические решения, то Форсайт именуется *технологическим*. Это свойственно ранним этапам эволюции

технологии Форсайта. Если при исследовании будущего развития социальных процессов не делается упора на доминирующие технические решения и рассматривается трансформация социальных отношений, то мы имеем дело с *социальным* Форсайтом. Следовательно, по направленности Форсайты делятся на технологические и социальные.

В некоторых проектах инициатива исходит сверху (top-down), а взаимодействию придают мало значения. Чтобы эти проекты были Форсайтом, необходимо, чтобы в них был задействован широкий круг источников данных, которые обрабатывает небольшая экспертная группа. В группу должны входить представители разных интересов – не только специалисты по прогнозированию в исследуемых областях, но и практики (активные бизнесмены или политические деятели).

Группа должна использовать данные или свидетельства, полученные от самых разных участников. Зачастую при этом применяются формальные методы, например метод Дельфи. Возможны открытые обсуждения. Итоговые материалы отражаются в результатах, полученных группой экспертов.

Нередко несколько экспертных групп параллельно работают над разными темами, причем ответственность за сведение полученных результатов лежит на одной группе. Основное отличие такого подхода к Форсайту от более узкой инициативы по прогнозированию состоит в его открытости относительно данных, полученных от многих лиц, и в форме связи с процессом принятия решений.

В тех проектах, где инициатива исходит снизу (bottom-up), большое значение придают взаимодействию участников, в частности учету мнений по поводу того, кто должен участвовать в реализации проекта. Могут приниматься во внимание взгляды на формирование будущего, содержание (т. е. круг изучаемых тем), на то, как адресовать сообщения и каким группам, и т. д.

Можно использовать широкий диапазон методов, чтобы обеспечить выражение мнений: дискуссии на сайтах в Интернете, встречи на местах и со специальными группами, презентации на форумах. Конечно, необходимость координации интересов участников обычно признают, и некоторым комитетам или командам поручают подготовку итоговых деклараций и планов действий. Однако и у «не охваченных» вниманием участников имеются возможности прийти к собственным заключениям, соответствующим их организационным требованиям.

Следует упомянуть о проектах Форсайта, содержащих элементы двух подходов. Те подходы, где инициатива исходит снизу, имеют значительные преимущества: они позволяют собрать весьма обширную информацию из большего числа источников, повышают легитимность деятельности, могут принести значительные выгоды. Такие проекты

требуют времени, тщательного планирования и организации, т. е. их нельзя реализовывать в спешке или без основательной подготовки. Более того, их сложно контролировать, они несут в себе риск появления политизированных взглядов или идей, которые могут возникнуть вследствие реализации проекта Форсайта, его формы или действий его участников, принимающих решения. Естественно, этот недостаток присущ демократии в любых формах, и проекты Форсайта, в которых инициатива исходит снизу, могут рассматриваться как попытка вовлечения большего числа участников в процесс принятия политических решений.

Таким образом, второй критерий типологии Форсайтов – как именно реализуется проект. По типу формирования все Форсайты делятся в зависимости от того, какая именно попытка взглянуть на процесс развития объекта превалирует: сверху или снизу.

Классические, или фундаментальные Форсайт-проекты реализуются в течение продолжительного времени (не менее года), основываются на многочисленных турах опросов различных групп экспертов с использованием ряда методов, в частности метода Дельфи, с широким обсуждением в СМИ, на семинарах и конференциях конечных результатов, подготовкой пилотного доклада.

Порой выполняются быстрые исследования без использования глубинных методов предвидения. Значение таких исследований нельзя приуменьшать, но и фундаментальными их не назовешь. Быстрый Форсайт (Rapid Foresight) – это Форсайт-проект продолжительностью от трех месяцев до полугода без применения метода Дельфи.

Кроме того, проводятся Форсайт-сессии продолжительностью один-два дня. Обычно на Форсайт-сессии имитируется применение технологии Форсайта, которая сводится к проведению одного (к тому же некорректно организованного) мозгового штурма. Таким образом, третий критерий типологии Форсайтов – различия по глубине проработки: фундаментальные и быстрые Форсайты.

Форсайт широко применяется в военной, социальной и политической сферах. Например, такие проекты, как Форсайт национального здравоохранения или Форсайт образования, относят к разряду *тематических*. К тому же разряду можно отнести и проект The Foresight for Transport [17], поддержанный Европейской комиссией в рамках программы Competitive and Sustainable Growth Programme (1998–2002).

Кроме того, распространены *корпоративные* Форсайты, менее освещенные в литературе. И это понятно, поскольку в документах, раскрывающих суть данных проектов, содержатся стратегические планы развития, которые составят в перспективе ключевые конкурентные преимущества компаний. Однако некоторые отличительные черты подобных Форсайт-исследований можно выделить. Особенности

корпоративного Форсайта и его отличие от общего технологического Форсайта изложены в работе П. Беккера [18].

Если инициаторы проведения Форсайта заинтересовались состоянием своей компании в будущем, то они задумываются о том, какова конкурентная позиция компании, какие изменения будут происходить в производстве товаров и услуг высокого качества, что может снизить конкурентоспособность и устойчивость компании. Следовательно, инициаторы Форсайта желают оценить конкурентоспособность и устойчивость компании в долгосрочной перспективе, наметить отправные пункты корпоративной стратегии компании. Цель Форсайт-проекта – совместный поиск путей повышения конкурентоспособности компании и ее инвестиционной привлекательности в долгосрочной перспективе относительно новых продуктов и услуг, применения новых технологий, подготовки кадров. Такой Форсайт-проект, ориентированный на предсказание судьбы компании, получил название корпоративного Форсайта.

Отметим, что Форсайт проводят на национальном, региональном уровнях и уровне корпораций. В Великобритании был, например, проведен Форсайт для малого и среднего бизнеса, а также «молодежный» Форсайт, направленный на привлечение молодежи к научно-техническому творчеству. Если в Западной Европе чаще используют Форсайт на национальном и региональном уровнях, то в США большее распространение получил Форсайт на уровне корпораций [19].

Территориальные Форсайты достаточно широко известны и представляют собой видение развития экономики отдельного государства, района или нескольких государств. Территориальные Форсайты могут дифференцироваться (по охвату территории) на межрегиональные, национальные и региональные. В межрегиональных Форсайтах, как правило, предпринимается попытка выявить ключевые тенденции развития экономики в нескольких странах.

Четвертый критерий типологии Форсайта – субъект рассмотрения, по отношению к которому принято решение о формировании Форсайта: тематический, территориальный и корпоративный.

Итак, выделены четыре критерия типологии Форсайта, между тем «чистых» Форсайтов проведено немного. Чаще всего они осуществляются как социально-технологические, регионально-тематические, технологострановые. В каждом из них некоторые фрагменты представляют собой смешение приемов, характерных для разных разновидностей Форсайта.

Форсайт-проект по определению перспектив развития магнитолевитационных технологий должен быть фундаментальным, реализуемым в течение продолжительного времени (не менее года), основывающимся на многочисленных турах опросов различных групп

экспертов с использованием ряда методов, в частности метода Дельфи, с широким обсуждением в СМИ, на ряде семинаров и конференций его конечных результатов, подготовкой пилотного доклада. Форсайт-проект магнитолевитационных систем – тематический Форсайт. Он предполагает определение долгосрочных перспектив развития определенного сектора экономики или рынка, точнее рынка магнитолевитационных технологий. Этот проект будет проводиться сверху, поскольку массового развития эти технологии пока не получили, как и постиндустриальные технологические уклады на транспорте.

Таким образом, наше предложение по развитию институциональных форм, стимулирующих продвижение магнитолевитационных систем, сводится к проведению Форсайт-проекта по определению перспектив развития магнитолевитационных технологий в отечественной экономике.

Старт Форсайт-проекта дают люди или организации, заинтересованные в его проведении. С момента утверждения технического задания на проведение Форсайта управляющим комитетом для рабочей группы (Project team) завершается стадия пред-форсайт (Pre-foresight stage) и начинается собственно проведение Форсайта.

На стадии проведения Форсайта (Foresight stage) задействованы все его участники, работают эксперты, ведутся исследования и готовятся итоговые документы. Для каждого Форсайт-проекта набор методов индивидуален.

В пилотных докладах, которыми завершается Форсайт-проект, рассматриваются вероятные сценарные варианты решений и возможные пути корректировок тенденций, обозначенных прогнозом. Итоговый пилотный доклад – обычно закрытый документ, предназначенный для конфиденциального пользования. Как правило, к публикации готовится выжимка из итогового пилотного доклада и делается сокращенная презентация. В итоговом пилотном докладе есть рубрики «Outputs¹ and Outcomes²», в которых фиксируются результаты видения будущего в области Форсайт-проекта и ожидаемые сдвиги в исследуемой области. Именно по этим результатам Форсайта осуществляется мониторинг формирования будущего.

Пост-форсайт (Post-foresight stage) — стадия оценки результативности проведенного Форсайта, это самая важная и наиболее закрытая процедура. Мониторинг «Outputs and Outcomes», в которых фиксируются результаты видения будущего в области форсайт-проекта и ожидаемые сдвиги в процессе, происходящем в исследуемой области.

¹ **Outputs** - дословно «продукты», в терминологии Форсайта - это существующие сейчас формы, содержащие «слабые сигналы», которые в будущем могут доминировать над традиционными явлениями

² **Outcomes** - дословно «результаты», в терминологии Форсайта - это степень распространения форм, содержащих «слабые сигналы», и оценка динамики их развития

Именно по этим параметрам Форсайта осуществляется мониторинг процесса формирования будущего. Сканирование фиксирует начинающиеся в процессе Форсайта изменения, ожидаемые события (трансформации) верифицируются вследствие действия принимаемых законов. Форсайт гражданского общества послужит ориентиром для науки, бизнеса, региональной власти, поведения потребителей и гражданских институтов. Наряду с законопослушностью не менее достойным станет соблюдение норм гражданского общения, в основе которых лежат нравственные устои, выработанные в пределах гражданских институтов. Систематическая работа по проведению Форсайта станет важным фактором развития постиндустриальных технологических укладов, в первую очередь, в плане стимулирования продвижения магнитолевитационных систем в отечественной экономике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая характер революции 4.0, следует сосредоточить усилия на развитии техники, относящейся к постиндустриальным технологическим укладам. Именно к таким технологиям относятся магнитолевитационные. Поэтому необходимо убедить общественность в целесообразности их использования в отечественном производстве. Для систематизации этой работы целесообразно создать гражданский институт или властную структуру. Это первое, что можно предложить в качестве институциональной формы, стимулирующей продвижение магнитолевитационных технологий.

В качестве *гражданского* инструмента следует создать специальный *инвестиционный фонд* поддержки развития магнитолевитационных систем. Вначале источниками финансирования такого фонда могут быть спонсорские пожертвования, поступления от страховых компаний и от производителей магнитолевитационных систем, а также бюджетные средства в соответствии с проводимой инновационной политикой государства. Аккумулированные средства фонда можно использовать для поддержки участников рынка, стремящихся к использованию магнитолевитационной технологии. Властные структуры могут использовать такой инструмент как целевые программы.

В качестве второй институциональной формы, стимулирующей продвижение магнитолевитационных систем, предлагается проведение Форсайт-проекта по определению перспектив развития магнитолевитационных систем в отечественной экономике. Форсайт способен «приближать» наступление будущего [20].

Финансирование организации Форсайта может быть государственным, частным и смешанным в форме финансовых проектов.

Государственное финансирование осуществляется национальными, региональными и областными органами управления (на практике выделяющими наибольшие объемы финансирования); некоторыми наиболее заинтересованными муниципальными образованиями, вовлеченными в проект, университетами, крупными НИИ и инновационными центрами. Кроме того, часто средства выделяют организации, занимающиеся внедрением инновационных технологий, фонды по анализу и изучению развития социально-экономических процессов. Возможно и частное финансирование.

Как свидетельствует имеющийся опыт, в Великобритании, Германии, Венгрии, Франции Испании информационное обеспечение Форсайта оплачивает правительство, в Швеции, Италии и Португалии его иницируют деловые круги. В нашем случае, видимо, следует отдавать предпочтение скорее институту, занимающемуся внедрением инновационных технологий, например Международному совету по магнитной левитации (The International Maglev Board).

Использование возможностей, которые предоставляют выявленные институциональные формы позволит интенсифицировать применение магнитолевитационных технологий и ускорить переход отечественной экономики к постиндустриальным технологическим укладам.

Автор(ы) 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. Скоренко Т. Советский маглев: 25 лет под целлофаном. Доступно по: <https://www.popmech.ru/technologies/58629-sovetskiy-maglev-25-let-pod-tsellofanom/#part0>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Skorenko T. Sovetskij maglev: 25 let pod cellofanom. [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <https://www.popmech.ru/technologies/58629-sovetskiy-maglev-25-let-pod-tsellofanom/#part0>. (In Russ.)].
2. Магнитолевитационная транспортная система для пассажирских перевозок. Доступно по: <http://rusmaglev.com/wp-content/uploads/2017/10/MLTS-pass.pdf>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Magnitolevitacionnaya transportnaya sistema dlya passazhirskih perevozok. [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <http://rusmaglev.com/wp-content/uploads/2017/10/MLTS-pass.pdf>. (In Russ.)].
3. Левитация магнитная: описание, особенности и примеры. Доступно по: <http://fb.ru/article/270375/levitatsiya-magnitnaya-opisanie-osobennosti-i-primeryi>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Levitaciya magnitnaya: opisanie, osobennosti i primery. [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <http://fb.ru/article/270375/levitatsiya-magnitnaya-opisanie-osobennosti-i-primeryi>. (In Russ.)].



4. Дорофеев В.Д., Дресвянников В.А. Инновационный менеджмент: учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 189 с. [Dorofeev VD, Dresvyannikov VA. *Innovacionnyj menedzhment*. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta; 2003. 189 p. (In Russ.)]
5. Зайцев А.А., Ефанов А.Н., Третьяк В.П. Вехи перемен в развитии железнодорожного транспорта: в 2 т. Том 2. – М.: Парус, 1998. – С. 244–247. [Zajcev AA, Efanov AN, Tretyak VP. *Vekhi peremen v razvitii zheleznodorozhnogo transporta*. Т. 2. Moscow: Parus Publ.; 1998. p. 244-247. (In Russ.)].
6. Tretyak VP, Anichkina OA, Abazieva KG. Instruments for the implementation of import substitution strategy in the agro-industrial complex. Managing Service, Education and Knowledge Management in the Knowledge Economic Era [Internet]. CRC Press/Balkema is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business; 2017;3:33-36. doi: 10.1201/9781315269146-8.
7. Хель И. Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция? Доступно по: <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-cto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Hel I. *Industriya 4.0: chto takoe chetvertaya promyshlennaya revolyuciya?* [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-cto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html>. (In Russ.)].
8. Мануков С. 4-я промышленная революция в Давосе. Доступно по: <http://expert.ru/2016/01/21/chetvertaya-promyshlennaya-revolyutsiya/>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Manukov S. *4-ya promyshlennaya revolyuciya v Davose*. [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <http://expert.ru/2016/01/21/chetvertaya-promyshlennaya-revolyutsiya/> (In Russ.)].
9. Чумиков А.Н. Связи с общественностью. – М.: Дело, 2000. – 272 с. – С. 12. [Chumikov A.N. *Svyazi s obshchestvennostyu*. Moscow: Delo Publ.; 2000. p. 12. (In Russ.)].
10. Словари и энциклопедии на Академике. Доступно по: <http://dic.academic.ru/>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Slovari i ehnciklopedii na Akademike. [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <http://dic.academic.ru/> (In Russ.)].
11. Thinking, Debating & Shaping the Future Foresight for Europe [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/257943032_Thinking_debating_and_shaping_the_future_Foresight_for_Europe.
12. UNIDO Technology Foresight Manual [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: http://www.foresight.pl/assets/downloads/publications/UNIDO-Technology-Foresight-Manual_vol2.pdf.
13. A Practical Guide to Regional Foresight [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: http://foresight.jrc.ec.europa.eu/documents/eur20128_en.pdf.
14. Handbook of Knowledge Society Foresight [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_files/pubdocs/2003/50/en/1/ef0350en.pdf.
15. Futures Research Methodology. Version 3.0 [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: http://futures.research.southwales.ac.uk/media/files/documents/2009-07-29/Futures_Seminar_-_Jerome_Glenn.pdf.
16. Совпрогноз: обзор истории советского прогнозирования. Доступно по: <http://rtd2.pbworks.com/w/page/5476420/Совпрогноз>. Ссылка активна на 01.02.2019. [Sovprognoz: obzor istorii sovetskogo prognozirovaniya, [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: <http://rtd2.pbworks.com/w/page/5476420/Совпрогноз> (In Russ.)].

17. Competitive and Sustainable Growth Programme [Internet]. [cited 2019 February 01]. Available from: http://www.ris.eu/docs/File/386/compris_deliverable_12_1_socio_economic_assessment_final.pdf.
18. Becker P. Corporate Foresight in Europe: A First Overview. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2003. p. 25.
19. Шелюбская Н. Форсайт – новый механизм определения приоритетов государственной научно – технической политики // Проблемы теории и практики управления. – 2004. – № 2. – С. 75–80. [Shelyubskaya N. Forsajt – novyj mekhanizm opredeleniya prioritetov gosudarstvennoj nauchno – tekhnicheskoy politiki. *International Journal Theoretical and Practical Aspects of Management*. 2004;(2):75-80 (In Russ.)].
20. Третьяк В.П. Территориальные Форсайты: опыт проведения, ожидания граждан и власти. – М.: Знание, 2015. – 200 с. [Tretyak VP. *Territorialnye Forsajty: opyt provedeniya, ozhidaniya grazhdan i vlasti*. Moscow: Znanie; 2015. 200 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Третьяк Владимир Петрович, доктор экономических наук, профессор;

eLibrary SPIN: 8014-3261; ORCID: 0000-0002-9387-3358;

E-mail: v_tretyak@inbox.ru

Лякина Мария Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент;

eLibrary SPIN: 9966-6756; ORCID: 0000-0002-1003-5210;

E-mail: malyakina@mail.ru

Волкова Елена Михайловна, кандидат экономических наук;

eLibrary SPIN: 6886-5796; ORCID: 0000-0003-0620-463X;

E-mail: moonlight34@ya.ru

Information about authors:

Vladimir Tretyak, Doctor of Economic Sciences, professor

eLibrary SPIN: 8014-3261; ORCID: : 0000-0002-9387-3358;

E-mail: v_tretyak@inbox.ru

Maria Lyakina, Candidate of Economic Sciences, associate professor;

eLibrary SPIN: 9966-6756; ORCID: 0000-0002-1003-5210;

E-mail: malyakina@mail.ru

Elena Volkova, Candidate of Economic Sciences;

eLibrary SPIN: 6886-5796; ORCID: 0000-0003-0620-463X;

E-mail: moonlight34@ya.ru

Цитировать:

Третьяк В. П., Лякина М. А., Волкова Е. М. Институальные формы продвижения магнитолевитационных технологий и их использование в российской экономике // *Транспортные системы и технологии*. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 74–88. doi: 10.17816/transsyst20195174-88

To cite this article:

Tretyak VP, Lyakina MA, Volkova EM. Institutional Forms of Promotion of Magnetic Levitation Technologies and Their Implementation in the Economy of the Russian Federation. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):74-88. doi: 10.17816/transsyst20195174-88



Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 656.078

DOI 10.17816/transsyst20195189-102

© Н. А. Журавлева

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ ОТ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Новая экономика формирует новую ценность транспортной услуги, в которой стоимость времени становится важнейшим показателем в обосновании инвестиционных решений.

Цель: формирование методологической базы и процедур экономического обоснования инновационного транспорта на основе магнитолевитационных технологий.

Методы: Исследование построено на базе экономических законов (сохранение интеграции и высокой прибыли), описывающих новый экономический уклад, методах анализа причинно-следственных связей скорости и предельной доходности. Выводы построены на репрезентативной выборке данных об инвестиционных, эксплуатационных и организационных затратах действующих и проектируемых ВСМ.

Результаты: создание двумерной матрицы сочетания магнитолевитационных технологий с модульной интермодальной конфигурацией, позволяющей строить схему экономического обоснования по правилам модульной инновации в сочетании с архитектурной инновацией. Как следствие, формируется процесс оценки создания стоимости перевозки с позиций предельной доходности товаропроизводителей и должном уровне мобильности населения.

Ключевые слова: экономическое описание проекта, магнитолевитационный транспорт, создание стоимости, сравнительный анализ затрат, ценность.

© N. A. Zhuravleva

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

CONCEPTUAL BASIS FOR ASSESSMENT OF EFFECTS OF MAGNETIC LEVITATION-BASED HIGH-SPEED TRANSPORT SYSTEMS PROJECTS DEVELOPMENT

New economy forms a new value of transport service, in which the cost of time is becoming the most important factor in substantiation of investment decisions.

Aim: the aim of the work is to form the methodological basis and procedures of economic substantiation of magnetic levitation based transport.

Methods: the research builds on economic laws (keeping integration and high revenues) describing a new economic paradigm, methods of analysis of reason-and-consequence relation between speed and maximum revenue. The conclusions are based on representative summary of data about investment, operational and organisational costs of existing and designed high-speed lines.

Results: design of a two-dimensional matrix of combination of maglev technologies with modular intermodal configuration, which enables building a scheme of economic assessment using rules of modular and architectural innovations' combination. Consequently, the assessment process for transportation pricing from the point of view of maximum revenues for manufacturers and due mobility for population.

Keywords: project's economic description, maglev transport, pricing, comparative analysis of expenditures, value.

1. ВВЕДЕНИЕ

Трансформация транспортных систем, происходящая одновременно с изменением всего экономического пространства мира под воздействием цифровизации в новом технологическом укладе, обеспечивается, прежде всего, высокой скоростью производства и потребления. Изменение поведения потребителя транспортных услуг – пассажира и грузоотправителя связано с ростом ценности времени как экономической категории. Товарные рынки и товаропроизводители становятся конкурентоспособными, когда их товары и услуги отвечают требованию потребителя: «сейчас и в нужном качестве». Стоимость времени, в случае его роста на перевозку, ведет к увеличению финансового цикла организации-грузопроизводителя, превращаясь в дополнительные расходы и, даже возможные потери объемов рынка сбыта, а у пассажира – ведет к снижению мобильности, что влияет на доходы домашних хозяйств.

Данная статья является результатом исследования эффективности влияния высокоскоростного транспорта, в данном случае, проекта создания принципиально нового высоко-скоростного транспорта на основе магнитолевитационных технологий (ВСТ МЛТ) на национальную экономику, экономику организаций–товаропроизводителей и мобильность населения. Поставленная цель исследования – формирование методологической базы и процедур экономического обоснования инновационного ВСТ МЛТ, реализована применительно к проектам высокоскоростных магистралей (ВСМ) нового технологического уклада, обеспечивающим скорость перемещения свыше 500 км/час. Проекты внедрения высоко-скоростного транспорта на основе магнитолевитационной технологии являются объектом исследования и, далее, мы описываем под обозначением ВСТ МЛТ именно их.

Предметом исследования являются динамические процедуры формирования расходов на проектирование и строительство ВСМ, а также

взвешивание зависимостей прогнозных доходов от роста скорости перевозки у грузоотправителей и домашних хозяйств.

Теоретической основой исследования является теория транспортных систем, как часть общей теории систем. Ее эволюция с 30-х годов XX века привела к пониманию «открытых систем» – систем, постоянно обменивающихся веществом и энергией с внешней средой. Это важное замечание, применительно к нашему исследованию, поскольку мы имеем логико-концептуальный, кибернетический и математический аппарат системных исследований развития систем в новом технологическом укладе. Рост значимости категории времени принципиально меняет сущность перевозки. В этом смысле мы говорим о «транспортных системам высоких скоростей» [1]. Процедуры оценки эффектов ВСМ построены на новых направлениях развития экономической теории: теории дестабилизации, теории ресурсов, процедур и ценностей, теории цепочек создания стоимости.

Информационная основа исследования опирается на репрезентативную выборку данных об инвестиционных, эксплуатационных и организационных затратах высокоскоростных магистралей в Европе, Китае и России. Исследованы зависимые (гомоморфные) и независимые (единичные) данные о параметрах «расходы – эффекты» различных ВСМ в соответствии с временными, стоимостными и техническими параметрами их реализации.

Методы исследования построены на анализе причинно-следственных связей скорости и эффектов ее роста, динамическом моделировании оценки влияния скорости перевозки на доходность товаропроизводителей (грузоотправителей) и мобильности населения.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ СКОРОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В основе любого исследования лежит теория, которая создается в ходе циклического процесса, включающего этапы наблюдения, классификации, предсказания и подтверждения. Теория транспортных систем позволяет описать причинно-следственные связи, формирующие в каждом новом технологическом укладе новые транспортные системы. На этой основе, с учетом конкретных ситуаций, формируется методология, методы исследования и анализа, а также инструментарий принятия решений реализации новых проектов [2, 3]. Сегодня очевидно, что реализация проектов ВСМ скоростью свыше 1000 км\час обсуждается чрезвычайно широко, при этом, принятие конкретных решений о строительстве не находит ни политического, ни финансового завершения. Это связано со следующими обстоятельствами, требующими пояснений:

1. Неоднозначность оценки доминирования в ближайшем будущем появляющихся дестабилизирующих (прорывных) технологий, к которым следует отнести магнитную левитацию.
2. Разрушение «ценностных предложений» (принципиально иная скорость перевозки) доминирующих на рынке транспортных компаний, а также изменение структуры потребления ресурсов и процедур перевозки.
3. Изменение пространственной организации перевозки в условиях развития новых цепочек создания стоимости.

Исследуемые проекты развития ВСМ на базе магнитолевитационной технологии (МЛТ) входят в новую сущность, которую обозначают как «цифровая экономика». В ней, транспортные организации могут выходить за пределы ограничений аналогового века и должны будут обслуживать оборот цифровых товаров и сервисов, что потребует применения новых концепций и инструментов стратегического видения. Следует учитывать развитие процессов дестабилизации или различных видов асимметричных угроз, которые мгновенно ухудшают положение существующих транспортных компаний и разрушают их ценностное предложение. Заметим, что сегодняшнее ценностное предложение развития транспорта – это скорость 450 км\час (предел технологии «колесо-рельс»). Следовательно, необходимо развитие методологии, которая отличает обычную конкуренцию от дестабилизации (прорывных технологий), процесс оценки потенциально дестабилизирующих угроз, а также методологию, позволяющую сформировать методы оценки эффектов дестабилизирующих (прорывных) проектов.

В основе теории дестабилизации лежат процессы разрушения старых экономических систем и отраслей путем «созидательного разрушения» и создание новых [4]. Основателю данной теории – Шумпетеру принадлежит утверждение, что дестабилизация отраслей является неотъемлемой чертой развития общества: последовательные циклы инноваций создают новые отрасли, при этом разрушая старые. В развитие теории появляется понятие «дестабилизирующие инновации» и понимание, каким образом стабильные компании и отрасли проигрывают конкурентам-дестабилизаторам [5, 6]. Это понимание полностью соотносится с процессом внедрения проектов ВСМ и связано, прежде всего, с изменениями в отношении предпочтения клиентов. В нашем случае – это рост требований грузоотправителей и пассажиров к росту скорости перевозки. Инновационный вид перевозки, создаваемый на базе магнитной левитации, пока проигрывает проектам традиционных перевозок по большинству параметров, которые предлагают существующие на рынке транспортные организации, но при этом только он соответствует требованиям новой экономики. Существующие компании предсказуемо игнорируют новатора, так как их собственные клиенты не

хотят менять или слишком медленно меняют свои предпочтения. Однако со временем инновационный продукт существенно улучшает свои характеристики, при этом его цена и доступность остаются на прежнем уровне. В момент критического накопления времени продукт компании новатора догоняет по характеристикам продукты традиционных компаний и становится выгодной альтернативой для их клиентов. Клиенты видят лучшее предложение и массово уходят на продукты новой компании. В развитых экономиках бывшие лидеры обнаруживают, что их бизнес-модели и продукты устарели, и оказываются не в состоянии конкурировать с дестабилизатором. Эта теория подтверждается и проверяется во множестве случаев из различных отраслей. И самый очевидный пример демонстрируют высокоскоростные перевозки на транспорте. Сегодня очевидно, что скорость генерирует рост маржинальности (предельной доходности) грузоотправителей и рост мобильности населения, которые обнаруживают выгоду в росте доходов домашних хозяйств [7].

Теория ресурсов, процедур и ценностей объясняет, почему утвердившиеся на рынке перевозок транспортные компании с таким трудом осваивают «подрывные» инновационные технологии [8]. Именно ресурсы (то, что сегодня находится в распоряжении транспортных компаний, прежде всего энергия, обеспечивающая движение), процедуры (сложившиеся схемы работы компании), и ценности (то, к чему компания стремится) в общем определяют преимущества, недостатки, а также «слепые зоны» ее стратегического развития. Компания может успешно воспользоваться прорывными технологиями только тогда, когда у нее имеются необходимые ресурсы (источники и генерация магнитной энергии), когда процедуры способствуют, а не препятствуют необходимым действиям; и когда корпоративные ценности, а именно, рост капитализации бизнеса, его доходности и увеличение рыночной доли, предлагаемой услуги, позволяют сделать перспективный проект приоритетным.

Изменение ценности транспортной услуги обусловлено двумя составляющими. Первая – это время или скорость перевозки как таковой. Второе – это время заказа, оформления, расчетов по перевозке, и всего, что составляет сервис от «двери до двери». *Общая стоимость владения* ценностью «перевозка» обеспечивается в том случае, когда долговременная кривая средних издержек транспортной системы приобретает нисходящий характер. В случае с железнодорожными транспортными системами это возможно, когда проекты высокоскоростного движения подтверждают *эффект роста доходности, обусловленного увеличением плотности сети и скоростью перемещения*. Удельные издержки снижаются по мере увеличения производительности железнодорожной линии, поскольку фиксированная стоимость

предоставления рельсовых путей распределяется на все большее число единиц перевозок. Для обнаружения эффекта скорости железнодорожной сети требуется высокая степень использования инфраструктуры при росте скорости перевозки: чем выше степень использования, тем лучше экономика инфраструктуры, тем большая доходность может быть обеспечена ее владельцу и пользователю.

Внедрение проекта ВСМ на основе МЛТ связано с выбором транспортной компании его организации: интеграции всего производства новой транспортной услуги на своей базе или сосредоточиться только на строго определенных видах производства. В последнем случае появляется цепочка создания стоимости, в которую, в дальнейшем, будут включены все сервисы интермодальности, поскольку грузоотправителю и пассажиру важно целостное время перевозки [9, 10]. Проблема заключается в том, что компания должна держать под контролем все виды деятельности (или их комбинации) в цепочке создания стоимости, которые непосредственно влияют на зависимость клиента от скорости (времени потребления транспортной услуги). Прямой контроль или интеграция с другими компаниями, обеспечивающими интермодальный сервис, всегда сложный выбор в силу огромного количества причин. Прежде всего интегрированная архитектура становится менее гибкой по сравнению с другими видами архитектур. В какой-то момент может оказаться, что эффект от взаимодействия с другими компаниями совершенно непредсказуем. Однако, следует помнить, что основные эффекты от любой ВСМ можно обнаружить только в интермодальности всех сервисов, обеспечивающих перевозку от «двери до двери». Выходом являются модульные архитектуры, которые упрощают дезинтеграцию, уступая по части технических характеристик, но позволяют компании более гибко реагировать на требования потребителей. В соответствии с основным правилом теории цепочек создания стоимости: интеграция должна затрагивать те зоны, которые наиболее нуждаются в совершенствовании (контейнерные и пассажирские перевозки), так перевозчик может обеспечить себе прибыль в будущем долгосрочном периоде.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТОВ ВСМ «КОЛЕСО-РЕЛЬС» И ВСМ МЛТ

3.1. Результаты сравнительного анализа инвестиционных затрат на ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ.

Развитие новых технологий движения, изменяющих скорость перевозки, в последние 20 лет демонстрирует качественный скачок от поступательного изменения с зарегистрированным рекордом «TGV» -

574,8 км/час (экспериментально подготовленного поезда) к скорости 1000, 1200 км/час. Такой переход обусловлен появлением принципиально новых технологий и возможностей их реализации. Мнения экспертов подтверждают, что движение по принципу «колесо-рельс» с электрическим приводом имеет предел разумного, экономически обоснованного уровня скоростей. Оно реализуется на специализированных, построенных исключительно под определенный вид движения магистралях. Эффекты движения ВСМ по принципу «колесо-рельс» с пределами скоростей пока удовлетворяют интересам инвесторов, а, следовательно, имеют гарантированный оплаченный спрос. Все существующие и проектируемые ВСМ «колесо-рельс» реализуются преимущественно с поддержкой государства или на базе межгосударственных соглашений, заинтересованность в которых чаще всего обосновывается через мультипликативные эффекты смешанных перевозок. Но, к сожалению, кривая доходности данных проектов имеет тенденцию к понижению.

Экономика нового технологического уклада демонстрирует идеальное сочетание роста ценности времени (скорости) и ожидания роста доходности транспортных систем на принципиально новых технологических решениях. Наиболее интересными с позиций экономики инвестиций и эксплуатации высокоскоростных транспортных систем становится технология с использованием эффекта магнитной левитации (magnetic levitation) с линейным тяговым двигателем. Данная технология преодолевает следующие ограничения всех предыдущих технологий перевозки:

- a. в основе движения лежит транспортная технология «вакуумной транспортной трубы» и транспортные средства в процессе движения *не касаются путевого полотна*;
- b. транспортное средство, представляющее собой капсулу в виде герметичного модуля небольшой вместимости, обладающая левитационными качествами, разгоняется с помощью линейного синхронного двигателя до номинальной скорости и далее передвигается в трубе на заданное расстояние *без дополнительных затрат мощности*.
- c. технология, преодолевающая допустимый коэффициент сцепления колеса с рельсом требует *иной инфраструктуры и вида энергии*;
- d. с появлением технологий распределенного реестра и блок-чейн существенно сокращаются затраты на организацию и управление перевозкой.

Приведенные характеристики существенно меняют структуру и объемы инвестиционных затрат проекта ВСМ МЛТ, что отличает их от затрат на существующих ВСМ «колесо-рельс» и по объему, и по структуре.

Процесс создания любой транспортной системы, а ВСМ в большей мере, требует осуществления масштабных инвестиций. При этом стоимость строительства ВСМ индивидуальна для каждого проекта, государства и зависит от множества факторов. Ниже приведены обобщенные факторы, определяющие стоимость ВСМ любой скорости, в частности:

- a. климатогеографические и инженерно-геологические условия территории прохождения ВСМ, что определяет различия в правилах и требованиях к проектированию и строительству объектов высокоскоростной железнодорожной инфраструктуры;
- b. планируемой скорости движения поездов (например, до 300 км/ч, до 350 км/ч, до 400 км/ч, свыше 400 км/ч (ВСМ «колесо-рельс»), свыше 500 км/ч (ВСМ МЛТ), поскольку с увеличением скорости повышаются технические требования к инфраструктуре, подвижному составу и организации перевозки;
- c. выбранной модели организации ВСМ, что предполагает либо новое строительство высокоскоростных магистралей, либо реконструкцию и модернизацию существующих железнодорожных линий и модели эксплуатации – выделенное или смешанное движение.

3.2. рассмотрение эффектов ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ.

Методологически, рассмотрение эффектов традиционных ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ целесообразно проводить на базе анализа основных денежных потоков сравниваемых проектов в разрезе следующих составляющих:

- a. капитальные затраты на инфраструктуру, транспортные средства, организацию, строительство и управление проектом;
- b. эксплуатационные расходы, связанные с содержанием объектов инфраструктуры, организацией и управлением перевозками;
- c. доходы от перевозок и предоставления дополнительных услуг.

3.3. Результаты сравнительного анализа инвестиционных затрат ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ.

Анализ средних капитальных затрат по действующим ВСМ «колесо-рельс» и проектным ВСМ МЛТ в разрезе отдельных статей затрат может быть построен только по экспертным оценкам.

Таблица 1. Сравнительная характеристика состава и доли капитальных затрат (фрагменты затрат), действующих ВСМ

Типы затрат (фрагменты затрат)	Доля в общих капитальных затратах по классификации Международного союза железных дорог (UIC) затраты на строительство высокоскоростных магистралей, % ВСМ	Доля в общих капитальных затратах по данным Консорциума «Transrapid International GmbH», % МЛТ
Затраты на планирование и приобретение земли, которые включают затраты на технико-экономическое обоснование, техническое проектирование, приобретение земли и другие расходы, например, юридические и административные сборы, получение лицензий, разрешений и т.д.	До 10 %	6 %
Затраты на строительство объектов инфраструктуры, включая все затраты, связанные с подготовкой местности и выполнением строительных работ.	До 25 %	До 60 %
Затраты на выполнение дополнительных работ по строительству элементов таких, как сигнальные системы, механизмы электрификации, коммуникации, безопасности и т.п.	Каждый из данных элементов обычно составляет 5 % - 10 % от общего объема инвестиций (всего до 50 %).	15 %
Прочие	15 %	19 %

Рассчитано по данным: [11, 12]

По данным проведенного UIC исследования, стоимость строительства 1 км ВСМ при анализе выборки, состоящей из 45 проектов, варьируется от 6 до 45 млн. евро, при этом среднее значение составляет 17,5 млн. евро. При ограничении выборки до 24 проектов диапазон значений варьируется от 9 до 39 млн. евро, при среднем значении – 18 млн. евро [11]. Исключение составляют проекты создания ВСМ в странах Азии (Китай, Япония, Тайвань, Южная Корея), где стоимость строительства

значительно превышает среднеевропейские показатели, в том числе по геологическим причинам.

Что касается российских проектов создания высокоскоростных магистралей, то проект строительства участка «Москва-Казань» ВСМ «Москва-Казань-Екатеринбург» по состоянию на февраль 2017 года оценивается в 24,5 млн. евро/км, что превышает среднеевропейские показатели [13].

При этом в оценке проекта строительства МЛТ Санкт-Петербург – Москва стоимость трассы оценивалась в размере 18,75 млн. евро/км с крейсерской скоростью 500 км/час и временем в пути 1 час 19 минут.

3.4. Результаты сравнительного анализа эксплуатационных затрат на ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ.

С момента начала функционирования любой ВСМ возникают эксплуатационные расходы, которые включают в себя два основных вида:

- a. расходы, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава;
- b. расходы, связанные с организацией и предоставлением услуг по перевозке с использованием железнодорожной инфраструктуры.

Порядок формирования и распределения данных затрат в каждой стране может различаться в зависимости от степени вертикальной интеграции между владельцем инфраструктуры и перевозчиком. В рамках настоящего исследования данные особенности не рассматриваются.

3.5. В Табл. 2 представлены усредненные данные по величине затрат на обслуживание ВСМ «колесо-рельс» и ВСМ МЛТ в четырех европейских странах. При этом мы не анализируем расходы, связанные с организацией и предоставлением услуг по перевозке грузов и пассажиров.

Таблица 2. Укрупненные эксплуатационные расходы проектов ВСМ

Эксплуатационные расходы	ВСМ «колесо-рельс», евро/км	ВСМ МЛТ, евро/км
Инфраструктура	0,48	0,19
Подвижной состав	1,29	0,37
Система в целом	1,77	0,56

Составлено по: [11, 12].

Еще большие расхождения можно обнаружить в структуре и объемах эксплуатационных расходов ВСМ и МЛТ. Эта часть анализа является важнейшим фактором снижения себестоимости перевозок, а, следовательно, роста инвестиционной привлекательности проекта.

Анализируя динамику изменения эксплуатационных расходов в зависимости от изменения скорости движения поездов следует отметить,

нелинейность и многоуровневость связи скорости и эксплуатационных расходов. В частности, с увеличением скорости ускоряется оборот высокоскоростного подвижного состава и ускоряется объем работы. При этом отметим, что увеличение скорости рельсового транспорта приводит к росту основного сопротивления движению вагонов и соответствующим дополнительным затратам топлива и электроэнергии на тягу поездов, чего не происходит в магнитолевитационном движении. Величина маржинальной доходности у грузоотправителя – товаропроизводителя является одним из важнейших параметров модели оценки прямых эффектов транспортных систем. В первую очередь она зависит от цены на высокоскоростные перевозки и формируется посредством установления тарифа, который учитывает потребительский спрос, затраты на перевозку и прочие, влияющие на итоговый размер прибыли факторы. Тарифы на высокоскоростные поезда в зависимости от спроса в Европе колеблются от 120 до 200 % по сравнению с обычными пассажирскими поездами.

Это обусловлено как необходимостью обеспечения окупаемости высокоскоростных перевозок, так и преимуществами данного вида перевозок, для которых характерны экономия времени грузоотправителя и пассажира, затрачиваемого на перевозку и проезд и высокий уровень сервиса. Двойной рост тарифа уже сегодня оправдывает особую ценность управления собственным временем, его экономией. Наши исследования показывают, что в случае роста скорости до 1000 км/час потребитель транспортной услуги будет готов заплатить максимальную стоимость к цене, т.е. условная доходность перевозки может составлять до 300 % в зависимости от направления перевозки и спроса на нее, разумеется с учетом оптимальной интермодальности, обеспечивающей конечное потребление перевозки. Это утверждение строится на анализе роста предельной доходности грузопроизводителя в зависимости от времени сокращения финансового цикла производства товара.

4. РАЗВИТИЕ ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЭФФЕКТОВ И ОЦЕНКИ ДОХОДНОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ВСТ МЛТ)

В отличие от других отраслей экономики транспортные системы не способны к быстрым изменениям. При переходе к услуге по перевозке нового качества транспортным организациям требуется интеграция по всем контактным зонам в цепочке создания стоимости, которые будут подвержены изменениям. Чтобы придать такому продукту как МЛТ максимум потребительских свойств и надежности, требуется особый тип организации компании и особый тип интеграции. Именно интеграция

способна обеспечить необходимые для грузоотправителя и пассажира потребительские свойства транспортной услуги и снизить на нее цену. В мире отмечается следующая тенденция: доходы компаний, которые занимаются сборкой модульной услуги, падают (например, традиционные компании железнодорожного транспорта), а доходы фирм, производящих особо важные подсистемы, например, высокоскоростной транспорт, растут. Компаниям, осуществляющим интеграцию, не только не стоит опасаться развития модульных структур, но и напротив, способствовать их развитию.

Из этого следует, что действие двух экономических законов, описывающих поведение организации в новом технологическом укладе, имеет непосредственное отношение к развитию транспортных систем и их понимание может служить основой экономического описания ВСТ МЛТ.

Прежде всего, «закон сохранения интеграции», из которого следует, что если на одной стадии создания стоимости требуется взаимозависимая архитектура (поскольку нужно оптимизировать технические характеристики услуги), то архитектура продуктов или услуг на соседних стадиях должна быть модульной и совместимой, и только в этом случае удастся повысить уровень технических характеристик [14, 15]. И, далее, «закон сохранения высокой прибыли», подтверждающий, что компания получает самую высокую прибыль тогда, когда находит решения сложных высокотехнологичных проблем в виде высокоинтегрированных систем.

Иными словами, экономическое описание проектов ВСТ МЛТ должно строиться на модульной структуре, которая обеспечит инвестору при падении прибыли на одной стадии создания стоимости рост прибыли за счет новой модульной архитектуры. В эту архитектуру должна входить и внерыночная среда, например, поведение потребителей транспортной услуги, возможность встраивания которого могут обеспечить нейронные сети.

Основным результатом данного исследования является создание двумерной матрицы сочетания магнитолевитационных технологий с модульной интермодальной конфигурацией. В общем виде она представляет собой два измерения, где по вертикали располагается технологическое изменение (новое против старого), а по горизонтали – измерение архитектуры и конфигурации (новое против старого). И далее есть два варианта решений сочетания технологий ВСТ МЛТ с новизной архитектурной конфигурации.

Первое – рассматривать магнитную левитацию как радикальную инновацию с прежней архитектурой. Таким образом, схему экономического обоснования строить по правилам модульной инновации.

Второе – технологические инновации (магнитолевитационные технологии) сочетать с архитектурной инновацией. В этом случае весь

процесс создания стоимости перевозки оценивать с позиций предельной доходности грузопроизводителей и должном уровне мобильности населения.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методология оценки экономической эффективности высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации должна соответствовать новым направлениям развития экономической теории, адекватно описывающей новый технологический уклад и позволяющей достоверно описать экономику транспортных систем, соответствующих этому укладу. Принципиальное изменение в оценке времени (скорости) формирует новую ценность транспортной услуги, которую не может обеспечить действующая технология перевозки грузов и пассажиров. Неубедительность современного методологического обеспечения обоснования принципиально новых технологических решений, существенно осложняет их внедрение, особенно на транспорте. Стратегические возможности деятельности транспортных компаний следует оценивать с позиций происходящих и будущих перемен в экономике. В данном случае, предложенная методология экономического обоснования проектов ВСТ МЛТ на базе модульной интермодальной конфигурации, позволяет сформировать методы и процедуры экономической оценки данных проектов.

Автор(ы) 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. Журавлева Н.А., Панычев А.Ю. Проблемы экономической оценки скорости в транспортно-логистических системах в новом технологическом укладе // Транспортные системы и технологии – 2017. – № 3(4) – С. 150–178. [Zhuravleva NA, Panichev AY. Problems of economic assessment of speed in transport and logistical systems in the new technological paradigm. *Economics of transport*, 2017;3(4):150-178. (In Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst201734150-178
2. Kuhn TS, Hawkins D. The Structure of Scientific Revolutions. *American Journal of Physics*. American Association of Physics Teachers (AAPT); 1963;31(7):554-555. doi: 10.1119/1.1969660
3. Popper K. *The logic of scientific discovery*. New York: Basic Books, 1959. doi: 10.1063/1.3060577
4. Cunningham S, Joseph A. Schumpeter, Capitalism, socialism, and democracy. *International Journal of Cultural Policy* [Internet]. Informa UK Limited; 2010;16(1):20-22. doi: 10.1080/10286630902807278

5. Birnbaum R, Christensen CM, Raynor ME. The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail *Academe*. 2005;91(1):80. doi: 10.2307/40252749
6. Роджерс Д.Л. Цифровая трансформация. Практическое пособие / Пер. с англ. – М.: Издательская группа «Точка», 2017. [Rogers DL. *The digital transformation playbook: Rethink your business for the digital age*, US: Columbia Business School Publishing, 2016. 344 p. (In Engl., Russ.)].
7. Jonson MW, Christensen CM, Kadermann H. Reinventing your business model. *Harvard Business Review*. 2008;12:86.
8. Christensen CM, Overdorf M. Meeting the challenge of disruptive change. *Harvard Business Review*. March-April, 2000:66-76.
9. Allee V. *The future of knowledge: Increasing prosperity through value networks*. Butterworth-Heinemann: Oxford, 2003.
10. Parolloni C. *The value net: A tool for competitive strategy*. New York: Willey, 1999.
11. De Rus G. editor *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*. Madrid: Fundación BBVA. 2012:24-26.
12. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA, Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya. Moscow: Fizmatlit; 2014. 476 p. (In Russ)].
13. Стоимость строительства ВСМ Москва - Казань сейчас оценивается в 1,3 трлн. руб. Режим доступа: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/smi/783.html>. Дата обращения: 01.03.2019. [Stoimost stroitelstva VSM Moskva-Kazan sechas otsenivaetsya v 13 trln rub. [Internet]. [cited 2019 March 1]. Available to: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/smi/783.html>].
14. Sharkey WW. *The theory of natural monopoly*. New York: Cambridge University Press, 1982. doi: 10.1017/CBO9780511571817
15. Christensen CM, Raynor ME. *The innovator's solution*. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

Сведения об авторе:

Журавлева Наталья Александровна, доктор экономических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 8599-5636; ORCID: 0000-0003-3566-9225;
E-mail: zhuravleva_na@mail.ru

Information about the author:

Natalya A. Zhuravleva, Doctor of Economics, Professor;
eLibrary SPIN: 8599-5636; ORCID: 0000-0003-3566-9225;
E-mail: zhuravleva_na@mail.ru

Цитировать:

Журавлева Н.А. Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации // *Транспортные системы и технологии*. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 89–102. doi: 10.17816/transsyst20195189-102

To cite this article:

Zhuravleva NA. Conceptual Basis for Assessment of Effects of Magnetic Levitation-Based High-Speed Transport Systems Projects Development. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(1):89-102. doi: 10.17816/transsyst20195189-102

