Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ
Направление – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

https://doi.org/10.17816/transsyst683382

Труды III конференции с международным участием «Проблемы безопасности и эффективности технических систем», посвященной 205-й годовщине начала научно-педагогической деятельности Бенуа Поля Эмиля Клапейрона в Институте Корпуса инженеров путей сообщения

© М.Ю. Изварин
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

СПЕЦИФИКА РОСТА ПРОТЯЖЕННОСТИ ВСМ В МИРЕ НА ПРИМЕРЕ ЯПОНИИ

Обоснование. Одним из основных путей повышения эффективности работы железнодорожного транспорта является повышение скорости движения. При увеличении скорости сокращаются расходы на оплату труда персонала, уменьшается время оборота, за счет чего растут доходы. В области пассажирских перевозок наибольшую эффективность имеют высокоскоростные железные дороги, которые в России принято называть высокоскоростные магистрали (ВСМ). В последние 60 лет сеть ВСМ активно развивается в различных странах мира, что позволяет анализировать статистические данные об их строительстве и эксплуатации.

Цель. Выявить закономерности развития ВСМ, которые позволят оптимизировать технические решения в области высокоскоростного движения как при сооружении первой в России ВСМ Санкт-Петербург – Москва, а также при дальнейшем развитии сети ВСМ в России.

Материалы и методы. Статистика Международного союза железных дорог (МСЖД), Статистика национальных железнодорожных компаний. Математические методы – Метод наименьших квадратов, Метод ковариации, Метод корреляции Пирсона

Результат. Получено математическое описание роста протяженности ВСМ на примере Японии.

Заключение. Результат можно использовать для оценки развития ВСМ в различных странах мира.

Ключевые слова: высокоскоростные железные дороги (ВСМ); перспективы высокоскоростного транспорта; темпы строительства; эксплуатационная длина; страны-лидеры высокоскоростного движения.

Как цитировать:
Изварин М.Ю. Специфика роста протяженности ВСМ в мире на примере Японии // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 2. С. 186–201. doi: 10.17816/transsyst683382

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**

Section 1. TECHNOLOGY AND PROJECTS
Subject – Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport

© M.Yu. Izvarin
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university
(St. Petersburg, Russia)

SPECIAL ASPECTS OF EXPANSION OF GLOBAL HIGH-SPEED RAILWAYS: A STUDY OF JAPAN

BACKGROUND. The main way to improve the performance of railway systems is to increase the speed. When increasing speed, we reduce labor costs, turnaround time and increase profit. In passenger transportation, the most efficient are high-speed railways (HSR, or *высокоскоростные магистрали* in Russian). Over the past 60 years, the high-speed railway network has been actively developing in various countries of the world, allowing to analyze statistics on their construction and operation.

AIM. To identify the patterns of high-speed railway development that will allow optimizing high-speed transportation solutions both during the construction of the first Russian HSR (St. Petersburg–Moscow) and further development of the HSR network in Russia.

MATERIALS AND METHODS. Statistics of the International Union of Railways (UIC); statistics of national railway companies. Mathematical methods include least square method, covariance method, and Pearson correlation analysis.

RESULTS. A mathematical description of HSR expansion was developed based on a case study of Japan.

CONCLUSION. The study may be used to assess the global development of HSRs.

Keywords: high-speed railways (HSR); high-speed transportation prospects; construction rates; operational length; leading countries in high-speed transportation.

To cite this paper:
Izvarin MYu. Special Aspects of Expansion of Global High-Speed Railways: A Study of Japan. *Modern Transportation Systems and Technolgies.* 2025;11(2):186–201. doi: 10.17816/transsyst683382

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых эффективных видов транспорта является железнодорожный, который осуществляет как грузовые, так и пассажирские перевозки. Изначально пассажирские перевозки развивались такими же темпами, как и грузовые, причем даже несколько опережали последние.

Однако, с развитием других видов транспорта, прежде всего автомобильного и авиационного, пассажирские перевозки по железной дороге стали постепенно сокращаться. При этом существует одна область пассажирских перевозок, в которой протяженность линий и пассажирооборот неуклонно растет от года к году. Когда в 60-х гг. XX века перед железнодорожными компаниями встал вопрос о снижении экономической эффективности перевозок пассажиров, железнодорожные компании рассматривали 2 возможных сценария развития:

– первый из них состоял в сокращении пассажирской инфраструктуры, связанных с этим расходов и перевод железных дорог исключительно на прибыльные перевозки грузов. По такому пути пошли железнодорожные компании США, Канады, Австралии и ряда других государств. В этих странах перевозки пассажиров практически прекратились в 1970-х гг. и сейчас пассажирооборот составляет менее 1% от грузооборота, удерживаясь на постоянном низком уровне (остались пригородные перевозки и крайне ограниченно – перевозки пассажиров в дальнем сообщении).
– второй заключался в кардинальном изменении железнодорожных перевозок с увеличением скоростей в разы, с целью создать конкурентные преимущества по сравнению с авиационным и автомобильным транспортом. Этот путь выбрали Япония, Франция, Германия, чуть позже – Испания. В последующем, в 80-х – 90-х гг. XX века к странам, развивающим пассажирские перевозки высокой скоростью, добавились ряд государств Европы, а с начала 2000-х годов еще и Китай.

В данной статье не рассматриваются физические и технические аспекты использования высокоскоростных поездов, возможность осуществления перевозок пассажиров со скоростями до 350–400 км/ч считается доказанной. Речь идет исключительно об тенденциях развития протяженности сети ВСМ в различных странах.

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

РАЗВИТИЕ ВСМ В МИРЕ

Пионером в развитии высокоскоростных перевозок выступает Япония, развивающая сеть Синкансен с 1964 года. Автор данной статьи длительное время собирал данные о строительстве ВСМ и наращивании протяженности сети, что позволило выявить ряд закономерностей по теме настоящего исследования. Если считать началом высокоскоростного движения на железных дорогах мира открытие линии «Синкансен» в Японии в 1964 г., то в 2024 году высокоскоростным линиям исполнилось 60 лет. К юбилею протяженность высокоскоростных линий выросла более, чем в 200 раз – с 285 км до более, чем 59 000. Однако в разных странах высокоскоростные линии строятся по-разному, протяженность и пассажирооборот растут неравномерно.

В соответствии с классификацией международного союза железных дорог (МСЖД) высокоскоростными называются железнодорожные линии, предназначенных для движения поездов со скоростями 250 км/ч и выше. В мире такие линии принято называть High Speed Lines. Во Франции для обозначения подобных линий используется обозначение LGV (Lignes à Grande Vitesse). В России в настоящее время подобных линий не существует, однако планируемые к постройке принято называть ВСМ.

Статистику протяженности линий ВСМ ведет ряд международных ассоциаций. К таковым относятся: Международный союз железных дорог (МСЖД) [1], Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) и ряд других. Несмотря на то, что первой страной, построившей ВСМ, была Япония, в настоящее время темпы прироста высокоскоростных линий в этой стране существенно уступают Китаю [2] (Рис. 1). Разница настолько очевидна, что на графике по оси ординат приходится использовать логарифмическую шкалу, иначе невозможно визуально оценить прирост в остальных странах. По предварительным данным, протяженность ВСМ в Китае достигла к 2024 г. 48000 км.

Исследования, проведенные автором, показали, что несмотря на различные условия в разных странах существуют общие тенденции развития, позволяющие спрогнозировать перспективы развития ВСМ в той или иной стране. В то же время протяженность сети ВСМ в развитых странах подошла к своему пределу и дальнейшее наращивание протяженности (эксплуатационной длины) пока не происходит. Пока все причины этого явления не ясны окончательно, однако уже сейчас понятно, что это связано, прежде всего, с экономическими соображениями. Строительство ВСМ – крайне затратное мероприятие, обычно средняя стоимость одного

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

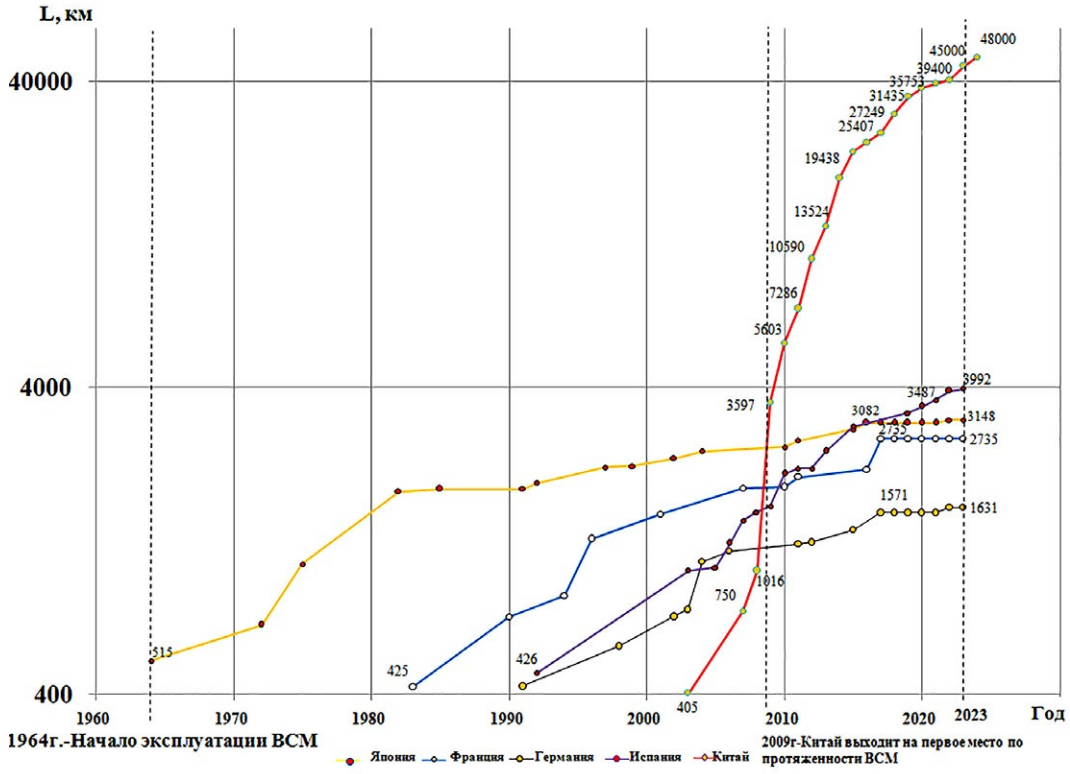

Рис. 1. Рост протяженности ВСМ в мире

Fig. 1. Increase in the length of high-speed railways

километра линии составляет от 4,5 до 25 млн Евро, в зависимости от технических условий и рельефа местности. Однако стоимость постройки ВСМ стремительно растет, итоговая цена за последние годы выросла в разы. Например, агентство CNNоценивает стоимость одной мили новой линии ВСМ HS2 в Великобритании между Лондоном и Бирмингемом в 416 млн долл. (258 млн долл. за км) при первоначальной цене 109 млн долл./км [5]. Экономическая эффективность перевозки пассажиров с высокой скоростью не только повышает конкурентоспособность железнодорожного транспорта по сравнению с другими видами, но и сама по себе имеет высокую экономическую эффективность за счет большой маршрутной скорости. Высокая скорость снижает время оборота, за счет чего количество рейсов за одно и то же время увеличивается, а вместе с ними растут доходы. Растет провозная способность участка, уменьшаются рабочие часы сотрудников локомотивной и поездной бригады. Однако, по сравнению с авиатранспортом, который нуждается в инфраструктурных объектах только в пунктах отправления и прибытия, а на притяжении маршрута – только в объектах аэронавигации, ВСМ

Received: 07.05.2025
Поступил: 07.05.2025
Revised: 30.05.2025
Одобрена: 30.05.2025
Accepted: 30.06.2025
Принята: 30.06.2025

имеет большое количество высокозатратных инфраструктурных объектов не только на конечных станциях, но и на всем пути следования. Основную часть затрат составляют расходы на строительство объектов и пути, но и после окончания строительства, в отличия от воздушного транспорта, инфраструктура требует определенных затрат – необходима охрана объектов, контактную сеть нужно держать под напряжением даже при отсутствии поездов, что вызывает потери энергии. Также значительную часть расходов составляют затраты на оплаты труда дежурного персонала (диспетчера, дежурные по станциям, работники пассажирского комплекса). Поэтому ВСМ показывают хорошую экономическую эффективность только при некотором минимальном объеме движения. Если данный объем не обеспечить (что определяется спросом населения на перевозки по ВСМ), авиатранспорт становится эффективнее. В каждой стране экономическая ситуация различна, поэтому протяженность сети ВСМ также отличается. Первые опыты по движению электропоездов (точнее электровагонов, или мотрисс) с высокой скоростью проводились в Германии в первой половине XX века, на участке Мариенфельд – Цоссен, однако регулярное движение высокоскоростных поездов началось позднее – во второй половине XX века. В данной статье производится анализ роста протяженности ВСМ в странах, которые начали строить и вводить ВСМ первыми: Япония (с 1964 г.), Франция (с 1981 г.) и Германия (с 1991 г.) а также в Китае и Испании, подробно закономерности роста рассмотрены на примере Японии.

ДИНАМИКА РОСТА ПРОТЯЖЕННОСТИ ВСМ

Определить темпы роста можно, продифференцировав по времени кривые на Рис. 1. Так как строительство ВСМ процесс длительный, и линии в большинстве стран вводится не каждый год, для оценки темпов роста протяженности ВСМ нужно определить прирост за промежутки по10 лет. При этом годовой прирост определяется делением полученной величины на число лет, за которые этот прирост учитывается (10), чтобы получить среднее арифметическое значение, либо использовать медианное значение.

Годовой прирост протяженности линий ВСМ представлены на Рис. 2.

Из Рис. 3 ясно, что кривые содержат значительные выбросы, связанные с неравномерностью ввода ВСМ в эксплуатацию, скрываемые за счет использования логарифмического масштаба. Чтобы оценить среднее значение прироста протяженности вводимых линий с высокоскоростным движением, данные представлены в виде гистограммы на Рис. 3.

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

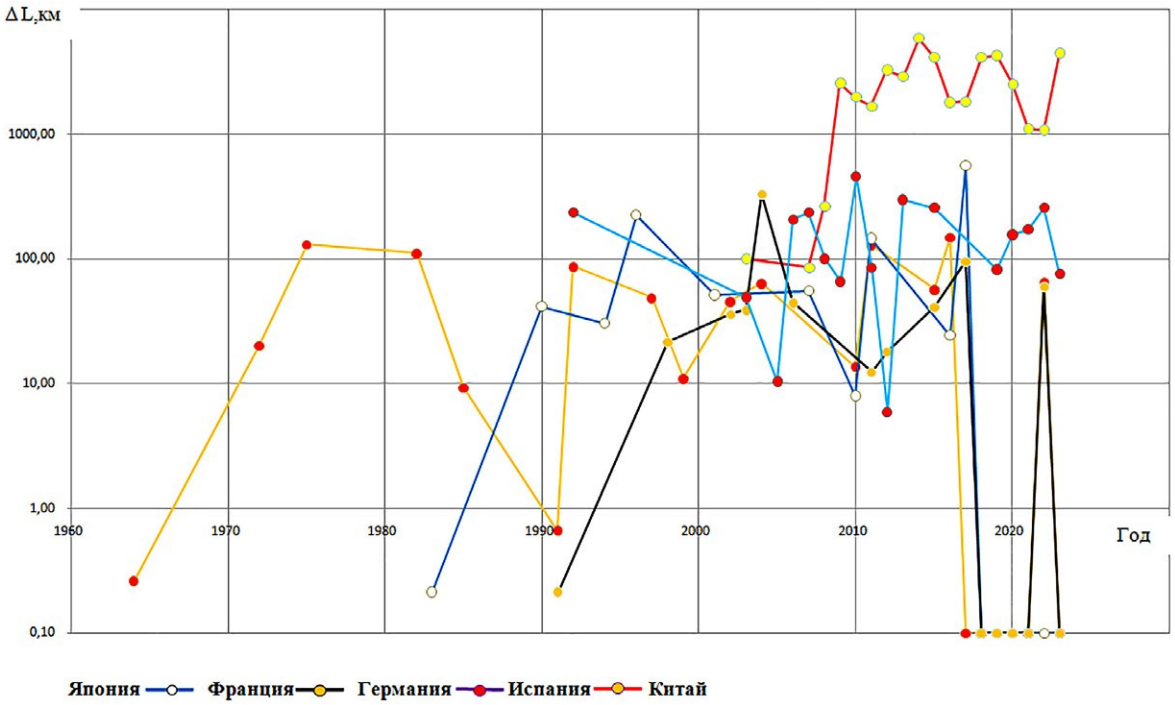

Рис. 2. Прирост протяженности ВСМ в логарифмических координатах

Fig. 2. Annual growth of the length of the high-speed railways in logarithmic coordinates

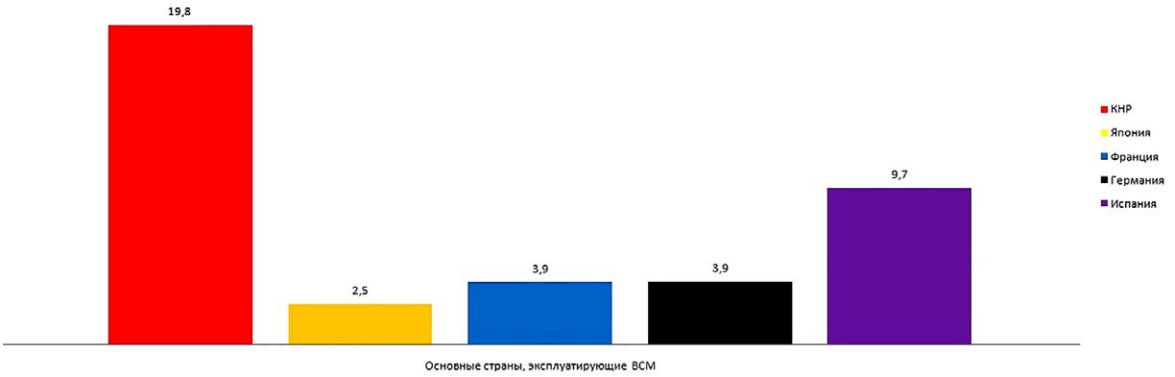

Рис. 3. Гистограмма среднего значения темпов роста ВСМ в странах, имеющих наибольшую протяженность ВСМ

Fig. 3. Average value of growth of the length of HSR in countries, most actively developing the HSR network

Анализируя Рис. 2 и Рис. 3, становится понятно, что в странах, которые начали строить ВСМ раньше других, скорость строительства в последние годы сильно снизилась, а в ряде стран упала до нуля (например, в Германии). Абсолютным лидером среди стран-лидеров по развитию ВСМ, по темпам прироста протяженности несомненно является Китай,

Received: 07.05.2025
Поступил: 07.05.2025
Revised: 30.05.2025
Одобрена: 30.05.2025
Accepted: 30.06.2025
Принята: 30.06.2025

причем к 2014 г. прирост остается примерно постоянным и составляет от 3000 до 4500 км/год, или 19,8% ежегодно в среднем.

Замедление можно отследить по диаграмме на Рис. 4, построенной по данным, приведенным в [1].

Из них видно, что расширение сети ВСМ во многих странах даже не планируется, например, в Германии строится всего 74 км, и запланировано еще 84, и то на долгосрочную перспективу без указания срока (участок Франкфурт – Мангейм), и нет никаких гарантий, что этот участок будет построен. Ряд стран так и не приступил к строительству ВСМ. К таким странам относятся США [6–8]. До сих пор в США имеется всего одна линия на востоке страны, остальная сеть развивается крайне медленно, окончательно не решен вопрос с финансированием.

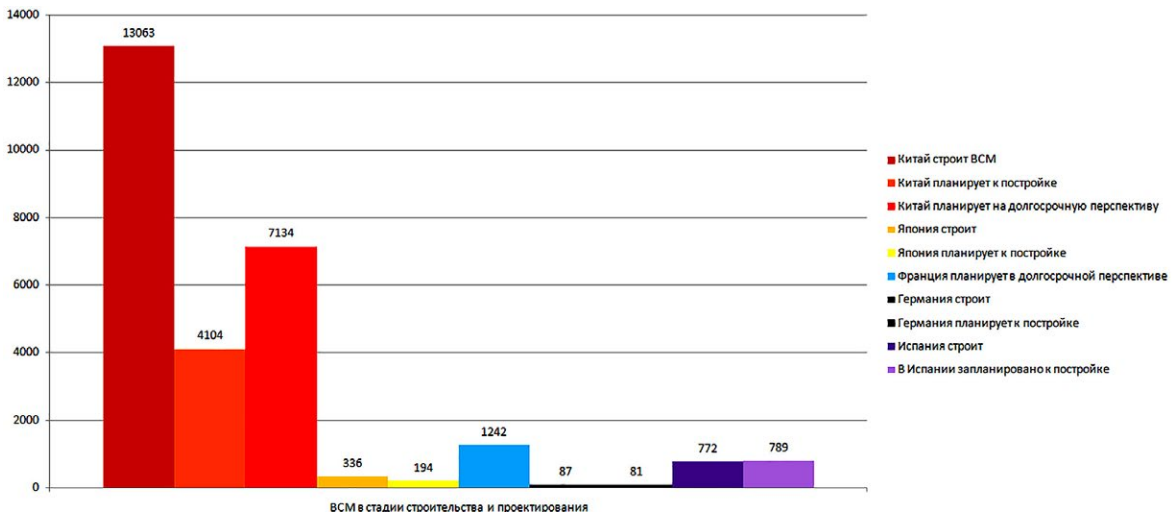

Рис. 4. Гистограмма планируемых к постройке линий ВСМ

Fig. 4. Histogram of planned high-speed railway lines

РАЗВИТИЕ ВСМ В ЯПОНИИ

Япония приступила к строительству линий «Синкансен» в 1959 г. и ввела в эксплуатацию тестовый участок Токио – Осака в 1964 г. [9, 10].

С этого момента протяженность линий ВСМ в Японии росла каждые несколько лет, вводились новые участки, пока не сформировалась сеть протяженностью 3146 км к 2023 г. Однако, после 2010 г. увеличение протяженности сети замедлилось (развитие переключилось на другие направления – обновление парка подвижного состава, повышение скорости, создание сети скоростного движения «Мини Синкансен» [9]). Причем

Received: 07.05.2025
Поступил: 07.05.2025
Revised: 30.05.2025
Одобрена: 30.05.2025
Accepted: 30.06.2025
Принята: 30.06.2025

замедление роста протяженности произошло несмотря на то, что еще с 1970 гг. было запланировано почти в 3 раза большая протяженность линий, чем построено сейчас. Динамика увеличения протяженности ВСМ в Японии приведена в виде графика на Рис. 5. График построен по данным статистики, опубликованным Международным союзом железных дорог (МСЖД) [1].

В то время как участки ВСМ вводились в строй дискретно (ступенчато), на Рис. 1 зависимость протяженности представлена в виде плавной кривой $l=f(t)$ с целью упрощения аппроксимации, для получения математического описания зависимости (протяженности ВСМ) от t (года от начала постройки), что позволит выполнить прогноз. Сплошной линией на Рис. 5 изображена протяженность действующих (эксплуатируемых) линий, частыми штрихами – протяженность линий на этапе строительства, редкими штрихами – запланированные к постройке на долгосрочную перспективу [1, 11, 12].

Для того, чтобы сделать прогноз или выполнить сравнение роста протяженности ВСМ в различных странах, необходимо найти аналитическое описание (функцию) в виде зависимости l от t.

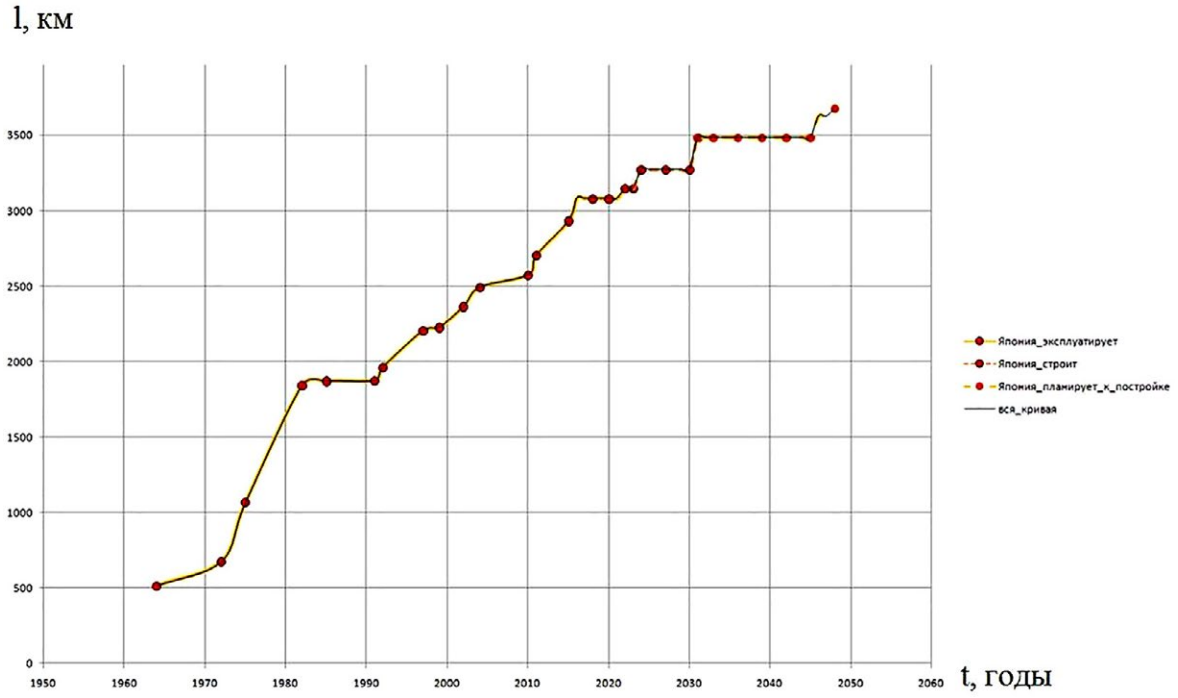

Рис. 5. Протяженность ВСМ в Японии

Fig. 5. Length of HSR lines in Japan

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**

Известно много различных методов для оценки статистических данных, которые называются методами регрессионного анализа, например, метод наименьших квадратов (МНК) и проч. с последующей корреляцией. В настоящее время корреляция может выполняться на ЭВМ (компьютерах). Так, программа Microsoft Exel дает возможность определять параметры аппроксимирующей функции и сразу строить линию тренда, можно использовать как линейную, так и полиноминальную зависимости, степенную или логарифмическую функцию. Эту же зависимость можно получить с использованием САПР Math Cad компании Math Soft.

После построения линии тренда необходимо определить квадрат коэффициента корреляции чтобы оценить достоверность аппроксимации функцией.

Из Рис. 5 видно, что темпы роста протяженности ВСМ снижаются. К примеру, в 60-х –70-х гг. XX века они составляли от 100 до 200 км ежегодно, или около 2,5 %, а к началу 20-х гг. XXI века составляют всего в среднем 10-15 км ежегодно и продолжают снижаться. Можно высказать гипотезу, что функция протяженности линий ВСМ от времени имеет некоторый предел при определенном значении t, определяемый спросом на услуги только ВСМ и не связанный с протяженностью традиционных железных дорог. Для того, чтобы найти данный предел и постоянную времени роста протяженности нужно представить зависимость Рис. 5 в виде аналитического выражения, затем продифференцировать его и определить аргумент, при котором производная станет равной нулю.

АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ РОСТА ПРОТЯЖЕННОСТИ ВСМ В ЯПОНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ФУНКЦИЕЙ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Для поиска непрерывной функции, позволяющей наиболее точно рассчитать изменение какой-либо величины по статистическим данным, можно использовать различные математические методы.

Одним из способов аппроксимации, т.е. функции, имеющей максимального приближения к исходным данным, является использование полиномов [12]. Одним из таких полиномов (многочленов) является полином Лагранжа, однако не смотря на его преимущества, он лучше подходит для интерполяции. В нашем конкретном случае необходима экстраполяция, с выходом за границы области определения. Поэтому, если предполагать в соответствии с высказанной выше гипотезой, что протяженность линий стремится к максимальному значению

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

(экстремуму), лучше использовать полином второй степени. В программе Microsoft Exel имеется несколько способов аппроксимации: построение линии тренда на графике с использованием различных функций и использование регрессии по методу наименьших квадратов. Такой же метод можно использовать и с использованием пакета прикладных программ Math Cad.

На Рис. 6, 7 представлена аппроксимация зависимости роста протяженности ВСМ в Японии полиномом второй степени и экспонентой соответственно.

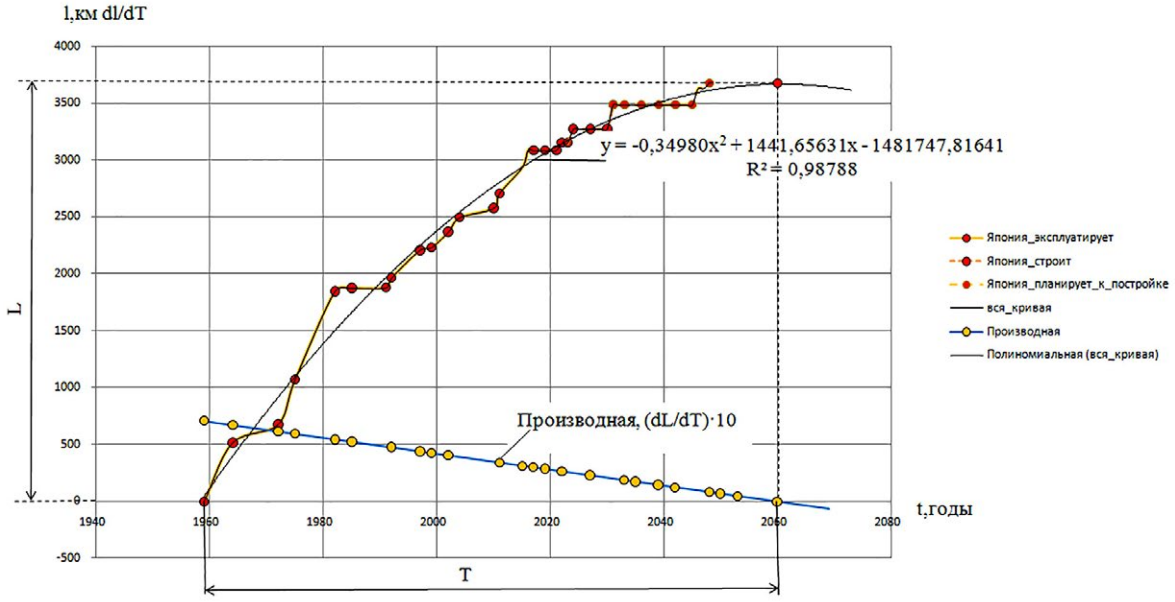

Рис. 6. Аппроксимация зависимости роста протяженности ВСМ в Японии от времени полиномом второй степени

Fig. 6. Approximation of the dependence of the growth of the length of the high-speed railway in Japan on time by a square polynomial function

Наибольшее значение коэффициента квадрата коэффициента корреляции R^2 достигается при использовании полинома второй степени. Кроме того, полиноминальная функция имеет явно выраженный максимум (экстремум) и легко дифференцируется понижением степени, что позволяет легко определить координаты этого экстремума (Рис. 6). Такой метод хорош для интерполяции значений. Однако, после достижения экстремума полиноминальная функция начинает убывать, что совершенно нехарактерно для общих тенденций развития ВСМ.

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

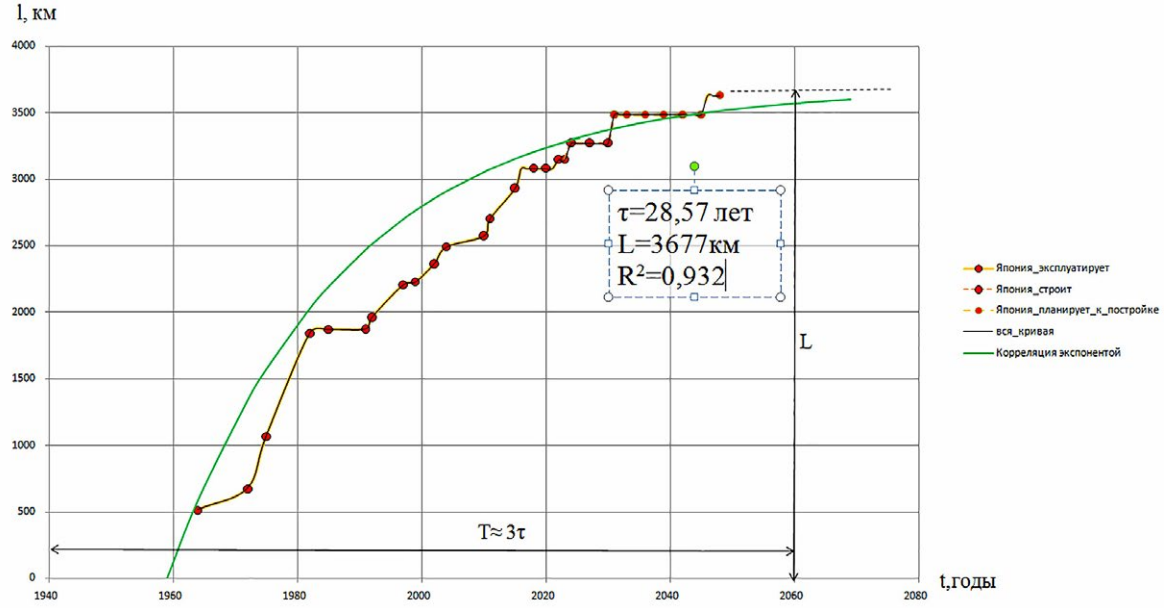

Рис. 7. Аппроксимация роста протяженности (эксплуатационной длины) ВСМ в Японии экспоненциальной зависимостью

Fig. 7. Approximation of the growth of the length of the high-speed railway in Japan by exponent

Так как целью настоящей работы является прогноз развития ВСМ, для чего предполагается выполнение экстраполяции, лучшим решением является использование экспоненциальной зависимости, а исследование полинома использовать как промежуточный этап для определения коэффициентов при экспоненте.

Тогда рост протяженности ВСМ можно определить по формуле:

$$l = L \cdot (1 - e^{-\frac{t-T_0}{\tau_J}}) \quad (1)$$

где l – протяженность ВСМ на год t; L– предельное значение протяженности ВСМ при t→∞ (эксплуатационная длина сети ВСМ); T_0 – год начала строительства ВСМ в стране; τ_J – постоянная времени строительства ВСМ в отдельно взятой стране, к примеру, в Японии в годах; t – текущий год.

Для определения величины τ можно использовать результаты аппроксимации полиномом:

$$l = -0,3498t^2 + 1441,656t - 1481747 \quad (2)$$

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

и производной этой функции:

$$dl / dt = -0,6996t + 1441,656 \quad (3)$$

где t – текущий год.

Решив уравнение (3) для dl/dt=0, можно принять абсциссу этой точки за год окончания формирования сети (Рис. 6), полагая при этом:

$$T = t_e - T_0 \quad (4)$$

где T – время формирования сети ВСМ; t_e – год формирования сети; T_0 – год начала строительства сети ВСМ.

Известно, что функция, описываемая выражением (1) достигает установившегося значения за 3÷5 τ.

Поэтому, приняв за

$$\tau = T / 3 \quad (5)$$

можно записать выражение (1), выполнив подстановку L и τ (L определяется как ордината функции l(t) по Рис. 6 для точки dl/dt=0. После этого можно скорректировать параметры функции, описанной формулой (1) таким образом, чтобы значение квадрата коэффициента корреляции R^2 было максимальным [13].

Тогда выражение, описывающее формирование сети ВСМ в Японии выглядит как:

$$l = 3667 \cdot (1 - e^{-\frac{t-T_0}{28,5}}) \quad (6)$$

Аналогично можно проанализировать и формирование сети ВСМ в других странах, однако это не входит в рамки данной статьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа статистических данных, относящихся к росту национальных систем ВСМ были получены следующие выводы:

1. Среди стран, строящих ВСМ, первое место по протяженности линий занимает Китай, он же лидирует и по динамике роста сети.
2. В странах, строящих ВСМ на протяжении значительного времени (Япония, Франция, Германия), наблюдается снижение

Received: 07.05.2025 Revised: 30.05.2025 Accepted: 30.06.2025
Поступил: 07.05.2025 Одобрена: 30.05.2025 Принята: 30.06.2025

динамики, что говорит о формировании сети ВСМ с неизменной протяженностью.

3. Данные по развитию ВСМ поддаются аппроксимацией непрерывной экспоненциальной функцией, с высоким коэффициентом корреляции (R^2=0,932).
4. Формирование сети ВСМ в разных странах составляет около 60 лет, на примере Японии;
5. Чем позже страна начала строить сеть ВСМ, тем быстрее она ее строит;
6. В Японии сеть ВСМ полностью сформируется к 2040–2050 гг.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.
The author state that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. High Speed Lines in the World. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://uic.org/IMG/pdf/20231001_high_speed_lines_in_the_world.pdf
2. Китай остается мировым лидером по темпам строительства ВСМ // Железные дороги мира. 2024. №3. С. 27-32. EDN: XTPRDS
3. Гринемайер А.А., Аникин И.Б., Парфененко Р.Е., Изварин М.Ю. Перспективы развития сети высокоскоростных железных дорог в мире на ближайшее десятилетие // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. Т. 19, Вып. 2. С. 259-265. doi: 10.20295/1815-588X-2022-2-259-265
4. Изварин М.Ю., Евстафьев А.М., Евстафьева М.В. Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта // Электроника и электрооборудование транспорта. 2015. № 5-6. С. 21-23. doi: 10.20295/1815-588X-2022-19-2-259-265
5. Britain is building one of the world’s most expensive railways. Many people now thinkit’s pointless. Агентство CNN от 18.10.2024 Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://edition.cnn.com/travel/hs2-britain-expensive-high-speed-railway/index.html
6. California Governor’s Budget Provides Steady Funding for High-Speed Rail. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://www.hsrail.org/blog/newsletter-5-16-25-steady-funding-for-california-high-speed-rail/
7. A high-speed rail bill just dropped in Congress. Here’swhyit’ sabigdeal Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://www.hsrail.org/blog/205b-american-high-speed-rail-act-introduced/
8. Vision for high-speed rail in America. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://railroads.dot.gov/elibrary/vision-high-speed-rail-america

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**

9. Yoshitaka Murono, Norikazu Tanaka, Tetsuo Santo, et al. Special Roundtable to Commemorate the 60th Anniversary of the Shinkansen's Inauguration // Toward Railway Innovation Ascent. Railway Technical Research Institute. 2025. № 16. P. 3-16. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://www.rtri.or.jp/eng/publish/ascent/u0ps1q0000000m3u-att/ascent16-all_0328.pdf
10. Japan's Shinkansen turns 60/The world's first high-speed line has had lasting impact on the evolution of passenger rail worldwide // International Railway Journal. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/japans-shinkansen-turns-60/
11. Shinkansen (Bullettrain) routemap. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: http://www.trainfrontview.net/sinkansen_map.htm
12. Аппроксимация функций: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Информатика». Волгоград: Волг ГАСУ, 2012. Дата обращения: 01.05.2025. Режим доступа: https://vgasu.ru/attachments/aproximacia.pdf
13. Пальма И.С., Эльгорт Л.Г. Применение метода корреляции в строительстве. М.: Статистика, 1971.

REFERENCES

1. High Speed Lines in the World. Accessed: 01.05.2025. Available from: https://uic.org/IMG/pdf/20231001_high_speed_lines_in_the_world.pdf
2. China remains the world leader in the pace of high-speed rail construction. *World Railways.* 2024. №3. С. 27-32. (In Russ.) EDN: XTPRDS
3. Greenemeier AA, Anikin IB, Parfenenko RE, Izvarin MYu. Prospects for the development of the high-speed railway network in the world for the next decade. *Bulletin of the St. Petersburg University of Railway Engineering.* 2022;19(2):259-265. (In Russ.) doi: 10.20295/1815-588X-2022-2-259-265
4. Izvarin MYu, Evstafiev AM, Evstafieva MV. Assessment of energy efficiency of high-speed and high-speed rail transport. *Electronics and electrical equipment of transport.* 2015;5-6:21-23. (In Russ.) doi: 10.20295/1815-588X-2022-19-2-259-265
5. Britain is building one of the world's most expensive railways. Many people now thinkit's pointless. CNN 18.10.2024 Accessed: 01.05.2025. Available from: https://edition.cnn.com/travel/hs2-britain-expensive-high-speed-railway/index.html
6. California Governor's Budget Provides Steady Funding for High-Speed Rail. Accessed: 01.05.2025. Available from: https://www.hsrail.org/blog/newsletter-5-16-25-steady-funding-for-california-high-speed-rail/
7. A high-speed rail bill just dropped in Congress. Here'swhyit' sabigdeal Accessed: 01.05.2025. Available from: https://www.hsrail.org/blog/205b-american-high-speed-rail-act-introduced/
8. Vision for high-speed rail in America. Accessed: 01.05.2025. Available from: https://railroads.dot.gov/elibrary/vision-high-speed-rail-america
9. Yoshitaka Murono, Norikazu Tanaka, Tetsuo Santo, et al. Special Roundtable to Commemorate the 60th Anniversary of the Shinkansen's Inauguration // Toward Railway Innovation Ascent. Railway Technical Research Institute. 2025. № 16.

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**

P. 3-16. Accessed: 01.05.2025. Available from: https://www.rtri.or.jp/eng/publish/ascent/u0ps1q0000000m3u-att/ascent16-all_0328.pdf

10. Japan's Shinkansen turns 60/The world's first high-speed line has had lasting impact on the evolution of passenger rail worldwide // International Railway Journal. Accessed: 01.05.2025. Available from: https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/japans-shinkansen-turns-60/
11. Shinkansen (Bullettrain) routemap. Accessed: 01.05.2025. Available from: http://www.trainfrontview.net/sinkansen_map.htm
12. *Approximation of functions: guidelines for laboratory work on the discipline "Computer Science".* Volgograd: Volg GASU; 2012. (In Russ.) Accessed: 01.05.2025. Available from: https://vgasu.ru/attachments/aproximacia.pdf
13. Palma IS, Elgort LG. Application of the correlation method in construction. Moscow: Statistika, 1971. (In Russ.)

Сведения об авторе:
Изварин Михаил Юльевич, кандидат технических наук, доцент;
e-Library SPIN: 7753-5243; ORCID: 0009-0002-5638-3867;
E-mail: misha3568723@yandex.ru

Information about the author:
Mikhail Yu. Izvarin, Cand. Sci. (Engineering), Docent;
e-Library SPIN: 7753-5243; ORCID: 0009-0002-5638-3867;
E-mail: misha3568723@yandex.ru

Received: 07.05.2025 **Revised: 30.05.2025** **Accepted: 30.06.2025**
Поступил: 07.05.2025 **Одобрена: 30.05.2025** **Принята: 30.06.2025**