

О моделировании пассажирского потока для высокоскоростных железных дорог

А.С. Мишарин, О.Н. Покусаев, Д.Е. Намиот, Д.В. Катцын

Аннотация— В статье рассматриваются вопросы, связанные с моделированием (прогнозированием) пассажиропотока для высокоскоростных железных дорог. Статья представляет собой обзор исследований, связанных с прогнозированием количества пассажиров для новых высокоскоростных железных дорог. Мы рассматриваем работы, в которых описаны принципы моделирования (предсказания) пассажиропотока для высокоскоростных железных дорог. Они представляют собой регрессионные модели, где в качестве объясняющих переменных используются, в основном, данные об экономическом развитии регионов, примыкающих к железной дороге. В работе обсуждаются недостатки и потенциальные проблемы подобного подхода. Также в статье рассматриваются методы прогнозирования пассажиропотока, использовавшиеся для высокоскоростных железных дорог за рубежом. В них основной упор делается на анализ существующего пассажиропотока по направлению и его возможное перераспределение после ввода высокоскоростной дороги в эксплуатацию.

Ключевые слова—высокоскоростная железная дорога, пассажирский поток, моделирование, прогнозирование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением исследований по транспортной тематике [1,2]. В данной статье рассматриваются вопросы моделирования пассажирского потока для высокоскоростных железных дорог (ВСМ – высокоскоростные магистрали). Вполне обосновано суждение о том, что высокоскоростные железные дороги, являясь довольно дорогостоящими предприятиями в плане строительства и эксплуатации, что, естественно, требует всесторонних расчетов и обоснований. Основой для расчета социально-экономических эффектов от железной дороги [1] является именно информация об ожидаемом трафике (отметим также важность прогноза развития прилегающих к магистрали территорий и вклад в развитие промышленности, что, впрочем, является предметом отдельного обсуждения, поскольку касается еще и грузоперевозок). Моделирование трафика (загрузки) для новой дороги – это всегда первый шаг в

проектировании.

В данной же работе мы хотели остановиться именно на том, как оценивают (моделируют) этот трафик. Статья представляет собой, в первую очередь, обзор источников данных и моделей данных, используемых при оценке (моделировании) трафика на этапе проектирования ВСМ. Идея подготовки этой работы состоит в том, что в части моделирования пассажирских потоков ВСМ, например, уже опубликовано довольно много работ, есть большое количество готовых моделей. Их, безусловно, необходимо знать. Это необходимо хотя бы потому, что количество ВСМ в мире уже достаточно велико и их проектировщики, очевидно, уже многократно смогли проверить (верифицировать) свои модели на реализованных проектах. Соответственно, было бы вполне разумным учитывать их опыт при проектировании ВСМ в России. Вполне возможно, что окажется допустимым использовать какие либо из разработанных моделей (возможно, с модификациями для местных условий). Также естественно, что методы сбора данных (например, анализ перемещений по данным мобильных операторов) чаще всего вполне переносимы и выглядят, очевидно, одинаково во всех странах.

Естественно, что ВСМ – это не только пассажирские перевозки. И в структуре выручки, например, грузовые перевозки будут занимать большую долю. Но в данной работе мы описываем именно модели для пассажирских перевозок. Другое замечание относится к тому факту, что любой реальный проект моделирования всегда будет некоторым компромиссом между доступными (собранными) данными и необходимостью завершения проекта в заданные сроки. А поскольку в работе сравниваются отечественные и зарубежные работы по моделированию, то нужно, конечно, иметь в виду разницу в практической доступности статистических данных. С этой точки зрения разные группы исследователей могут оказаться в разных условиях. Впрочем, доступность статистических данных, создание общедоступных библиотек и т.п. также должно быть предметом отдельного рассмотрения.

Оставшаяся часть работы структурирована следующим образом. В разделе II мы приводим обзор моделей, используемых для пассажирских потоков ВСМ в отечественной практике. В разделе III рассмотрено то, как аналогичные вопросы решаются в других странах.

Статья получена 21 февраля 2018.

А.С. Мишарин – ОАО РЖД (email: info@vsmexpert.ru)

О.Н. Покусаев - Центр цифровых высокоскоростных транспортных систем РУТ (МИИТ) (email: o.pokusaev@rut.digital)

Д.Е. Намиот - МГУ имени М.В. Ломоносова (e-mail: dnamiot@gmail.com).

Д.В. Катцын - ОАО РЖД (email: kattzyn@center.rzd.ru)

II. МОДЕЛИ ПАССАЖИРСКИХ ПОТОКОВ ВСМ В РОССИИ

В литературе доступно, например, описание системы моделирования для ВСМ трассы Москва-Казань. Основные положения этой системы следующие.

Разработчики исходят из предположения о том, что пассажиропоток ВСМ определяется социально-экономическими характеристиками примыкающих к железной дороге регионов.

Параметры, которые используются в модели, включают в себя численность населения, оценки существующего трафика, объем валового продукта и т.д.

Отклик (пассажиропоток) описывается с помощью регрессионной модели.

Модель проверяется на существующих ВСМ (поезда Сапсан на трассе Москва-Санкт-Петербург, вновь организованные маршруты скоростного движения).

Что является (может являться) параметрами (объясняющими переменными) в такой модели? Основой для построения модели миграции (как и для большинства других транспортных задач) является геоинформационная система (ГИС). Во-первых, мы можем рассматривать население в зоне тяготения (примыкания). Это представлено на рисунке 1. По сути – это те, кто и может (потенциально) ездить по данной линии ВСМ. Другой источник трафика – это какой-либо аэропорт (порт/порты), входящие пассажиры которого (туристы, например) продолжают движение по железной дороге.

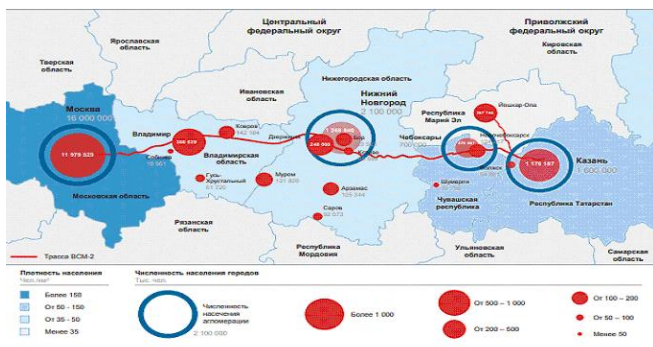


Рис. 1. Население в зоне тяготения [3]

Естественный вопрос, который здесь возникает – а сколько людей из проживающих поблизости реально ездят (в том числе, могут себе это позволить по экономическим причинам)? Не нужно ли здесь еще учитывать возрастной состав и экономическое разделение?

Также, согласно модели, учитываются инвестиционные проекты в зоне тяготения. В частности, на рисунке 2 отмечены и туристические проекты.

Отметим еще раз важность понимания развития разных видов деятельности, которые могут оказывать влияние на пассажирский трафик (в данной статье, как указано выше, мы концентрируемся именно на нем).

Так, например, развитие туристического сектора, которому прямо необходимо привлечение людей, очевидно, будет работать в пользу развития транспортной индустрии вообще и ВСМ в частности.



Рис.2. Инвестиционные проекты [3]

С другой стороны, могут ведь развиваться и проекты цифровой экономики (например, обработка и хранение данных), которые вообще не связаны ни с поездками, ни с перевозками.

На рисунке 3 представлены экономические центры и их капиталоемкость в зоне притяжения дороги. Вопросы по этому показателю точно такие же, как и выше – связь с поездками по высокоскоростной дороге здесь, по крайней мере, непрямая. Возможно, все-таки, требуется какое-то разделение по видам деятельности (активности).



Рис.3 Экономические центры в зоне притяжения [3]

А вот следующий показатель (рисунок 4) – реально важнейший. Здесь описывается существующий пассажиропоток по направлению и его разделение по видам транспорта. Разделение по видам транспорта важно, поскольку:

а) с вводом ВСМ происходит перераспределение пассажиропотока между видами транспорта и сегментами в их рамках и

б) возникает дополнительный пассажиропоток, который также структурируется по видам транспорта.

Здесь предлагается, в том числе, опираться на зарубежный опыт эксплуатации ВСМ в течение

длительного периода, но при этом возникает задача адаптации зарубежных моделей – учета таких, например, особенностей как традиционные предпочтения пассажиров, меры государственной поддержки транспорта и т.д., принятые в других странах:

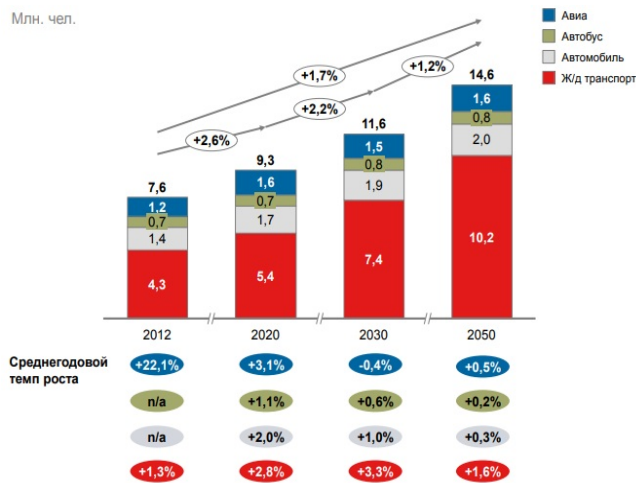


Рис. 4. Пассажиропоток по видам транспорта [3]

В большинстве случаев предполагается, что пассажиры железной дороги, прямо переседут на высокоскоростную магистраль. В отношении остальных – это также прогноз: кто и в какой степени (доле) будет пересаживаться на ВСМ. По европейским данным, например, большая часть пересаживающихся на ВСМ – это авиапассажиры.

Другие работы говорят о более детальных цифрах, учитывающих, в частности, поднятые выше вопросы. Например, согласно [4], в расчетах пассажиропотоков учитывались демографические и социально-экономические факторы, влияющие на подвижность населения и, соответственно, определяющие спрос на передвижение скоростным видом транспорта. Учитывались такие показатели, как численность населения и его демографическая структура в регионах прохождения трассы ВСМ, уровень экономического развития, инвестиции в основной капитал, уровень жизни населения и т. д. Но конкретных деталей, как учитывались, например, демографические факторы – не приводится. Не приводятся в работе и какие-либо исходные данные для расчетов. Присутствуют только финальные цифры пассажиропотока.

Конкретные расчеты есть в работе [5]. Согласно постановке задачи определяется связь между величиной пассажиропотока и социально-экономическими факторами в полигоне, тяготеющем к ВСМ. Задача сводится к определению множественной регрессионной модели, которая определяется уравнением:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon,$$

где Y – зависимая переменная (отклик), характеризующая наблюдаемый объект (пассажиропоток); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – параметры линейной регрессии; X_1, X_2, \dots, X_n – независимые переменные (факторы, объясняющие изменение Y); ε – вектор случайных ошибок наблюдений.

На практике факторов было всего 3. Рассчитанные коэффициенты корреляции приведены на следующем рисунке:

Пассажиропоток железнодорожного транспорта на направлениях	Коэффициенты корреляции		
	Фактор X1	Фактор X2	Фактор X3
	Численность агломерации	Населённость гостиниц	Валовой региональный продукт
Санкт-Петербург - Москва	0.725	0.723	0.720
Москва - Казань	0.638	0.613	0.661
Москва - Адлер	0.836	0.621	0.852

Рис. 5. Факторы и коэффициенты корреляции [5]

А на рисунке 6 приведены полученные уравнения регрессии:

Результаты регрессионного анализа

Направление	Уравнение регрессии
Железнодорожный транспорт	
Санкт-Петербург - Москва	$Y = 6,731 - 0,103 \cdot X_1 + 0,192 \cdot X_2 + 1,66 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$
Москва - Казань	$Y = 31,957 - 1,066 \cdot X_1 + 0,007 \cdot X_2 + 4,46 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$
Москва - Адлер	$Y = 8,824 - 0,128 \cdot X_1 - 0,135 \cdot X_2 + 2,76 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$

Рис. 6. Уравнения регрессии [5]

Некоторые данные по корреляциям с экономическими показателями есть в работе [6]. Кстати, там есть и подтверждение высказанным выше сомнениям в связи экономических показателей и пассажиропотока. В частности, в [6] отмечается, что индикатор «Темп роста объема промышленной продукции» слабо коррелирует с пассажирооборотом.

III. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Хорошей обзорной работой по данной тематике является статья [7]. Отмечается, что основное сравнение для потенциальных пользователей ВСМ идет именно с авиаперевозками. Нижеследующий рисунок из работы [7] отражает разделение рынка между ВСМ и авиаперевозками в зависимости от времени путешествия. Разделение 50/50 соответствует времени поездки в 3.5 – 4 часа. Для более длительных путешествий самолет оказывался более предпочтительным (и наоборот). В этом смысле предпочтения пассажиров в развитой транспортной

системе генерируют «естественное» разделение по сегментам, комплементарность которого обеспечивает суммарный рост пассажиропотока по всем видам транспорта.

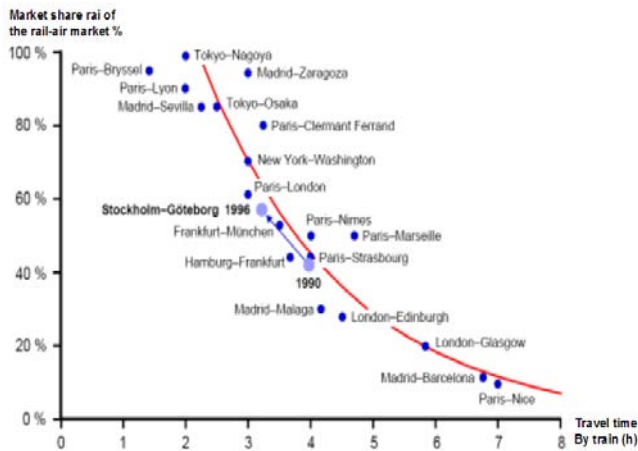


Рис. 7. Разделение предпочтений самолет/ВСМ в зависимости от длины поездки на поезде.

Собственно, прогноз потока для ВСМ рассматривается в разрезе индуцированного развитием транспортной системы роста и перераспределения пассажиропотока (авиа, железнодорожных, автомобильных и, что важно, смешанных, когда одна поездка осуществляется с использованием нескольких видов транспорта).

Учет экономики состоит в том, что отдельно рассматриваются частные поездки и поездки с бизнес-целями. Другой отличительной особенностью является оценка чувствительности пользователей к цене поездки (как будет изменяться выбор транспорта в зависимости от цен на билеты).

Относительно точности прогнозов можно отметить следующее. В широко цитируемой работе [8] отмечается (на базе 27 зарубежных проектов), что в 90% случаев спрос на ВСМ переоценивался. При этом в 67% случаев это была значительная переоценка (на 2/3). С другой стороны, здесь можно упомянуть реально работающий отечественный проект скоростного движения – МЦК, который, наоборот, был очень существенно недооценен в прогнозе. Ожидалось, что на период запуска пассажирского движения потенциальный годовой объем пассажирских перевозок составит около 276 млн. чел. При этом при построении финансовой модели предполагалось, что выйти на данный объем перевозок компания сможет в течение 3-х лет с момента запуска движения.

В реальности, на сегодняшний день, текущий пассажиропоток МЦК уже превышает пассажиропоток метро на некоторых направлениях, и уже сейчас соответствует объему в 130 млн. человек в год. Поскольку роста населения за такой короткий период после запуска не произошло, то можно предположить, что существовал скрытый спрос (то, что не учитывалось

в используемых транспортных данных – это были потенциальные пассажиры, которые не ездили или пользовались автотранспортом). Это еще раз подчеркивает важность изучения именно миграции, а не только регистрируемых поездов.

Также в работе [8] есть список переменных, использовавшихся в регрессионной модели предсказания пассажиропотока (Рис.8)

Variable selection

- Intercity activities

- Commuting trip
- Business trip
- Tourism
- Going back to hometown / visiting family members or relatives

- Effects of changing mobility conditions

- GDP
- Employed population
- Car ownership
- Travel time (average travel time – minimum travel time)
- Travel cost (average travel cost – minimum travel cost)
- Residential population
- Aging population
- Tourism market

Рис.8. Переменные модели [8].

Отметим, что перемещения (существующий поток) также делятся по типам (частные цели и бизнес цели), из экономических показателей есть только Валовой Внутренний Продукт (GDP) и население.

В работе [9] отмечается необходимость определения шаблонов перемещения между пунктами на ВСМ. Может так оказаться, например, что поток между несколькими пунктами маршрута имеет определенные временные ограничения, что, в свою очередь, будет ограничивать выбор средства перемещения. В [9] для выявления таких шаблонов использовались сайты покупки билетов.

В работе [10] приводится интересный анализ спроса, который инициируется новыми скоростными линиями и отмечается важность интеграции ВСМ с другими видами транспорта. Опять-таки, с точки зрения прогноза все основано на существующих потоках пассажиров, перемещающихся вдоль трассы ВСМ, перераспределении этих потоков после ввода ВСМ в эксплуатацию и возможном новом спросе, порожденном вводом ВСМ в эксплуатацию.

В обзорном исследовании [11] отмечается, что ВСМ имеют смысл только на маршрутах с большим спросом, и важным моментом в использовании является легкость доступа к станциям. Поэтому, например, станции должны быть в месте наибольшей концентрации потенциальных пассажиров (в центре города, например). Эта же работа содержит подробный анализ факторов, участвующих в определении социально-экономических эффектов ВСМ.

Суммируя эти работы, можно сказать, что прогноз ВСМ базируется, в основном, на глубоком анализе

существующих пассажирских потоков. В этом основное отличие от описанных моделей для отечественных ВСМ. Нам представляется, что научные работы в этом направлении (анализ миграции, существующие поездки и разделение между видами транспорта, цели поездок и т.п.) являются очень перспективной областью для исследования в области развития ВСМ в России.

На рисунке 9 изображена типичная методология [12] оценки спроса на ВСМ. В основе, как видно матрицы, описывающие перемещения между узлами (OD: origin – destination, в отечественной литературе чаще всего называется матрицей корреспонденции) и разделение потоков между различными видами транспорта. Экономика, как и в других работах, присутствует только в виде показателя ВВП. Представляется, что ВВП здесь выступает как интегрированный показатель достатка потенциальных пассажиров (наличие у них средств на поездки).

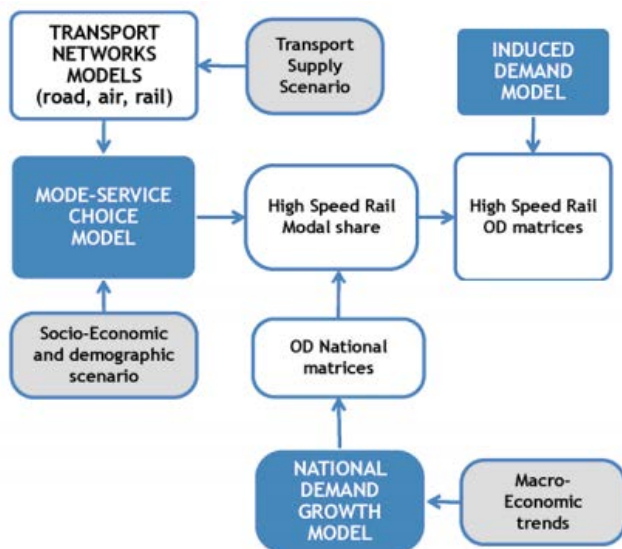


Рис. 9. Методология оценки спроса на ВСМ [12]

Для точных оценок, как видно из зарубежных работ, нужно не только разделение пассажиропотока по видам транспорта, но разделение поездок по типу

частные/деловые, а также анализ демографических показателей для сообщества потенциальных пассажиров. Демография важна и по другой причине. ВСМ могут быть использованы для запуска скоростных пригородных поездов (деловые поездки, трудовая миграция). Естественно, что в оценке этой составляющей демография (численность трудоспособного населения) очень важна.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Namiot D. et al. On the assessment of socio-economic effects of the city railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 1. – С. 92-103.
- [2] Namiot D., Pokusaev O., Lazutkina V. On passenger flow data models for urban railways //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 3. – С. 9-14.
- [3] Проект строительства участка «Москва — Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Казань – Екатеринбург» <https://www.oprf.ru/files/MemoMoscow-KazanRU.pdf> Retrieved: Mar, 2017
- [4] Высокоскоростные прогнозы <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/vysokoskorostnye-prognozy/> Retrieved: Mar, 2018
- [5] Миненко Д. О. Оценка перспектив организации скоростного и высокоскоростного движения поездов в России //Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №. 1-1.
- [6] Гонзалез-Лучинин Г. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПАССАЖИРОПОТОКА НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРОВ РАЗВИТИЯ РЫНКА ПАССАЖИРСКИХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК //Наука и техника транспорта. – 2016. – №. 1. – С. 53-58.
- [7] Börjesson M. Forecasting demand for high speed rail //Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2014. – Т. 70. – С. 81-92.
- [8] Hsu Y. T. et al. Forecasting High-speed Rail Ridership Using Aggregate Data: A case Revisit of High speed Rail in Taiwan //TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers. – 2015.
- [9] Wei S. et al. Exploring the potential of open big data from ticketing websites to characterize travel patterns within the Chinese high-speed rail system //PloS one. – 2017. – Т. 12. – №. 6. – С. e0178023.
- [10] Cheng Y. H. High-speed rail in Taiwan: New experience and issues for future development //Transport policy. – 2010. – Т. 17. – №. 2. – С. 51-63.
- [11] Givoni M. Development and impact of the modern high-speed train: A review //Transport reviews. – 2006. – Т. 26. – №. 5. – С. 593-611.
- [12] Ben-Akiva M. et al. High speed rail demand forecasting in a competitive market: the Italian case study //Proceedings of the World Conference of Transportation Research (WCTR), Lisbon, Portugal. – 2010.

On passenger flow modeling for high-speed railways

Alexander Misharin, Oleg Pokusaev, Dmitry Namiot, Dmitry Katzin

Abstract— The article deals with issues related to the modeling (forecasting) of passenger traffic for high-speed railways. The article is a survey of research related to forecasting the number of passengers for new high-speed railways. We consider work in which the principles of modeling (predicting) passenger traffic for high-speed railways in Russia are described. They are regression models, where explanatory variables are mainly based on data for the economic development of regions adjacent to the railway. The paper discusses the shortcomings and potential problems of this approach. Also, in the article methods of forecasting passenger traffic, used for high-speed railroads abroad are considered. They focus on the analysis of existing passenger traffic in the direction and its possible redistribution after the introduction of a high-speed railway into operation.

Keywords— high-speed railway, passenger flow, modeling, forecasting.