

УДК 625.1

О прогнозировании пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок

В. А. Анисимов, А. С. Григорьева

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Анисимов В. А., Григорьева А. С. О прогнозировании пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 576–589. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-576-589

Аннотация

Цель: Изучение проблемы прогнозирования пассажиропотоков для высокоскоростных железнодорожных магистралей с учетом особенностей регионального развития и конкуренции на рынке пассажирских перевозок в условиях Российской Федерации. Влияние большого количества различных факторов на формирование объема пассажирских перевозок является основной причиной сложности получения надежных прогнозов пассажиропотоков на долгосрочную перспективу. На основе анализа российских и зарубежных научных работ, посвященных исследуемой проблеме, из множества факторов были выделены наиболее значимые: численность населения, среднедушевой доход, валовой внутренний и региональный продукты. Анализ показал, что ученые неоднозначно оценивают влияние валового регионального продукта на размеры пассажиропотоков. Авторы исследовали зависимости между объемами пассажирских перевозок и валовым региональным продуктом на направлениях проектируемых высокоскоростных железнодорожных магистралей Москва — Санкт-Петербург и Москва — Казань. В результате были выявлены разделы валового регионального продукта с наибольшей степенью влияния на пассажиропоток. Также в современных условиях значительно возросла конкуренция на рынке пассажирских перевозок, которая в основном и определяет распределение пассажиропотока по видам транспорта. **Методы:** Системного анализа, корреляционно-регрессионного анализа, анализа временных рядов. **Результаты:** Полученные результаты показали, что в рыночных условиях из-за динамичности и неопределенности спроса населения на транспортные услуги, который обусловлен выбором пассажира способа перемещения в зависимости от времени в пути, стоимости и комфортности перевозки, возросла сложность прогнозирования пассажиропотоков. Предложены два варианта методики прогнозирования пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок. **Практическая значимость:** Применение математической модели прогнозирования пассажиропотоков, учитывающей особенности развития регионов Российской Федерации и конкуренцию между разными видами пассажирского транспорта, позволит получить надежную оценку перспективных объемов пассажирских перевозок, что обеспечит снижение рисков инвестирования в строительство и эксплуатацию капиталоемких высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Ключевые слова: Пассажирские перевозки, прогнозирование, моделирование, пассажиропоток, валовой региональный продукт, конкурентоспособность, стоимость, скорость доставки, комфорт, индуцированный спрос, параметры пассажирских сообщений.

Введение

Протяженность высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) в мире растет стремительными темпами. Наибольшее развитие высокоскоростных железнодорожных пассажирских перевозок наблюдается в развитых странах Европы и Юго-Восточной Азии. Китай достиг максимального в мире привлечения пассажиров на ВСМ, построив за десять с небольшим лет около 30 000 км высокоскоростных магистралей. Инвестиционные проекты ВСМ реализуются также в Индии, Индонезии, Малазии, Марокко, Саудовской Аравии, Таиланде и даже в таких странах, как Мьянма и Лаос [1].

Опыт эксплуатации ВСМ в странах Европы и Юго-Восточной Азии показал, что данный вид транспорта имеет ряд существенных преимуществ по экологичности, энергоэффективности, пропускной способности, долговечности и безопасности. Кроме этого, примеры из мировой практики [1] подтверждают, что при правильном стратегическом планировании развития городов, тяготеющих к ВСМ, высокоскоростные железнодорожные пассажирские перевозки способствуют созданию агломерационных эффектов, стимулируя деловую активность и инновационную деятельность населения, повышая эффективность производства и торговли, ускоряя социально-экономическое развитие регионов. Для не охваченных авиатранспортом средних и малых городов, через которые или вблизи которых пройдет ВСМ, появляются новые образовательные, трудовые, предпринимательские и рекреационные возможности, повышающие качество жизни проживающего в них населения [1].

Эффективность ВСМ складывается из операционной рентабельности, мультипликативных эффектов на этапе строительства магистрали, в первую очередь в таких отраслях экономики, как строительство и машиностроение, и косвенных социально-экономических эффектов.

К косвенным эффектам можно отнести агломерационные эффекты (повышение мобильности населения, его деловой активности, расширение рынков труда, товаров, услуг и т. п.), о которых кратко упомянуто в предыдущем абзаце, а также индуцированный спрос на пассажирские высокоскоростные перевозки, который определяется новыми транспортными возможностями и конкурентоспособностью ВСМ по показателям стоимости, скорости доставки и комфорта.

Операционная рентабельность ВСМ зависит от численности и плотности населения, его пространственного распределения [2]. Развитую сеть ВСМ имеют страны с высокой численностью и плотностью населения и значительными техническими и финансовыми ресурсами для реализации дорогих и сложных инфраструктурных проектов. Во многих странах существуют районы, уровень развития и размещение населения которых позволяют реализовать экономически эффективные проекты ВСМ [3]. В странах, где основным собственником инфраструктуры высокоскоростного транспорта и инвестором в ее развитие является государство, использование высокоскоростного транспорта обеспечивает существенный экономический результат за счет косвенных эффектов, возникающих на территориях, по которым проходит ВСМ [4]. Например, в результате появления для потенциальных потребителей транспортных услуг нового сообщения, позволяющего добраться до места назначения существенно быстрее, возникает индуцированный спрос для ВСМ. И если для пассажира стоимость поездки будет дешевле или сопоставима с его затратами на поездку по маршруту, включающему в себя авиaperевозку, то в этом случае ВСМ будет иметь перед пассажирским авиатранспортом серьезное конкурентное преимущество, которое позволит не только создать индуцированный спрос, но и переключить на себя значительную часть пассажиропотоков.

В России продолжительное время обсуждается развитие высокоскоростного транспорта [1]. В Транспортной стратегии Российской Федерации [5] одним из основных направлений развития транспортного комплекса страны обозначено создание сети высокоскоростного железнодорожного сообщения. Уже давно анонсированы проекты ВСМ Москва — Санкт-Петербург и Москва — Казань. В актуализированной «Программе организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации» заявлены проекты ВСМ «Евразия»: Москва — Казань — Екатеринбург; Екатеринбург — Челябинск — граница с Казахстаном и Москва — Смоленск — граница с Белоруссией [1]. Также в различных информационно-аналитических документах упоминается ВСМ Москва — Тула — Воронеж — Ростов-на-Дону — Адлер [1, 6].

О проблеме прогнозирования пассажиропотоков

Высокоскоростная железнодорожная магистраль — это самый сложный комплекс инженерно-технических сооружений и высокотехнологичных систем, включающий в себя дорогостоящие объекты строительства. Одним из важных условий инвестиционной привлекательности проекта ВСМ и государственного участия в его реализации является обеспечение его операционной эффективности [1]. Для ее обоснования необходимо иметь надежную прогнозную оценку объемов перевозок на долгосрочную перспективу. Ошибки в прогнозах обходятся очень дорого.

На формирование объема пассажирских перевозок оказывает влияние большое количество различных факторов. Проанализировав работы российских и зарубежных ученых, посвященных исследуемой проблеме, из множества факторов были выделены наиболее значимые: численность населения, среднедушевой доход, валовой внутренний и региональный продукты (ВВП и ВРП) [7, 8].

При этом в отношении влияния ВРП на размеры пассажиропотоков среди ученых имеются неоднозначные оценки. Это связано, во-первых, со сложностью расчета ВРП из-за открытого характера экономик регионов, что затрудняет определение границ производства для оценки размеров добавленной стоимости, создаваемой в результате межрегиональной деятельности предприятий и корпораций. Кроме этого, при расчете ВРП не учитывают производство услуг потребления, оказываемых обществу в целом за счет средств федерального бюджета, а также экономические операции финансовых посредников, которые не ограничиваются рамками отдельных регионов. Во-вторых, не все виды экономической деятельности, включенные в структуру ВРП, влияют на размеры пассажиропотоков. ВРП является своеобразным экономическим срезом человеческой жизнедеятельности (ЧЖД). В результате ЧЖД у человека возникает потребность в физических пространственных перемещениях пешком или с помощью транспорта, который предоставляет населению соответствующие возможности для перевозок пассажиров.

Рассмотрим причинно-следственные связи между ЧЖД, пассажирскими перевозками и ВРП (см. рис. 1), используя принципы и методы системного анализа и метод корреляционно-регрессионного анализа.

Центральными процессами ЧЖД являются: 1) обучение (познание окружающего мира и своих возможностей), 2) работа, 3) рекреация (восстановление сил человеческого организма [9], потраченных на первые два процесса). Они генерируют основной спрос на пассажирские перевозки, связанный с деловой активностью населения (деловые поездки в командировки, от мест проживания до работы и обратно), обучением (поездки от мест проживания до образовательных учреждений и обратно) и рекреацией (поездки к местам отдыха, санаторно-курортного лечения и т. п., туристические поездки).

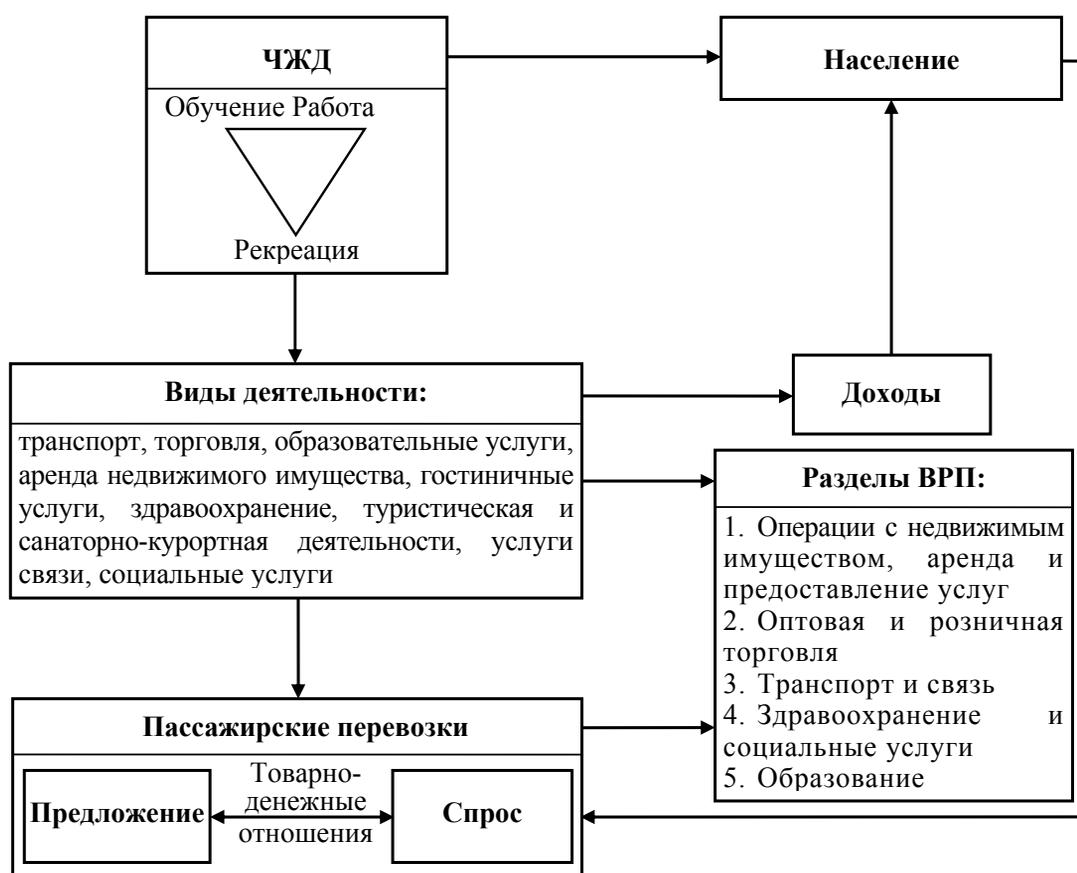


Рис. 1. Причинно-следственные связи между ЧЖД, пассажирскими перевозками и ВРП

Для дальнейшего анализа рассмотрим только региональные и межрегиональные пассажиропотоки [10], которые могут быть привлечены на ВСМ за счет ее конкурентных преимуществ. В данном случае следует учесть, что регулярное пассажирское железнодорожное сообщение со скоростями движения выше 250 км/ч может эффективно конкурировать с автомобильным и авиационным транспортом на направлениях с высоким пассажиропотоком при расстояниях от 200 до 800 км (максимальная конкурентоспособность может быть обеспечена на расстоянии 400–500 км) [2, 10–12].

Практически во всех регионах России для региональных и межрегиональных пассажирских перевозок наблюдается следующая внутригодовая динамика пассажиропотока [2, 10]. Мини-

мальная активность отмечается в феврале, с марта по июнь происходит плавный рост объемов пассажирских перевозок, в июле и августе наблюдаются их максимальные значения, и с сентября по февраль идет постепенное снижение пассажиропотока до минимального уровня. Такая динамика в большей степени объясняется, во-первых, сезонностью, которая определяет наиболее благоприятные периоды времени для рекреации (период массовых отпусков), во-вторых, завершением (июнь) и началом (сентябрь) учебного года в образовательных учреждениях. И здесь следует отметить, что основным фактором, от которого зависит минимальный уровень пассажиропотока, является деловая активность населения.

К видам региональной деятельности, от которых зависят объемы перевозок пассажиров и которые

Коэффициенты корреляции между разделами ВРП и размерами пассажиропотока на направлении Москва — Казань

Пассажиропоток, млн чел. в год	Разделы ВРП				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Y_1 — железнодорожного транспорта	0,202	0,726	0,565	0,824	0,819
Y_2 — авиационного транспорта	-0,208	0,822	0,946	0,753	0,837
Y_3 — суммарный пассажиропоток	-0,005	0,868	0,849	0,884	0,929

определяют деловую активность населения, относятся [13]: транспортные услуги, торговля, аренда недвижимого имущества, гостиничные услуги, здравоохранение, туристическая и санаторно-курортная деятельности, услуги связи. Они же вместе со сферой социальных услуг обеспечивают рекреацию. В обучении же в основном востребованы образовательные услуги, транспорт, связь, аренда недвижимого имущества, гостиничные услуги.

Исходя из приведенного анализа, в структуре ВРП были выделены следующие разделы:

1. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг.
2. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования.
3. Транспорт и связь.
4. Здравоохранение и предоставление социальных услуг.
5. Образование.

Зависимости между данными разделами ВРП и объемами пассажирских перевозок железнодорожного и авиационного транспорта были исследованы на направлениях проектируемых высокоскоростных железнодорожных магистралей Москва — Санкт-Петербург и Москва — Казань [7, 8]. Учитывая достоинства и недостатки методов прогнозирования [7], количество и качество статистических данных, для исследования был применен метод корреляционно-регрессионного анализа в связи с простотой его вычислительных алгоритмов и наглядным представлением результатов.

Полученные для направления Москва — Санкт-Петербург значения коэффициентов кор-

реляции показали по используемым шкалам их оценки [14–16] сильную корреляционную связь между рассматриваемыми разделами ВРП и размерами суммарного пассажиропотока и пассажиропотоков, выделенных отдельно по железнодорожному и авиационному транспорту.

Значения коэффициентов корреляции (таблица), рассчитанные для направления Москва — Казань, показали:

- 1) очень слабую корреляционную связь между статистическими данными раздела ВРП X_1 — «Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг» и перевозками пассажиров;
- 2) сильную корреляционную связь между данными разделов ВРП X_2 , X_3 , X_4 и X_5 и размерами пассажиропотоков, кроме пары — раздел X_3 и пассажиропоток железнодорожного транспорта, где оценка связи средняя (0,565).

Кроме этого, коэффициенты корреляции для пассажиропотоков по железнодорожному транспорту оказались меньше значений коэффициентов, рассчитанных для суммарного пассажиропотока, а также для пассажиропотока по авиационному транспорту, кроме раздела ВРП X_4 . Такой результат, на наш взгляд, можно объяснить недостаточной конкурентоспособностью железнодорожных пассажирских перевозок на данном направлении в сравнении с направлением Москва — Санкт-Петербург, где высокоскоростные поезда «Сапсан» успешно конкурируют с авиационным транспортом [17] по стоимости, скорости доставки и комфорту.

Анализ стоимости железнодорожных и авиационных пассажирских перевозок и времени в пути

между Москвой и Казанью, выполненный авто-рами в [7], данное предположение подтвердил.

В современных рыночных условиях роль конкуренции в распределении пассажиропотока по видам транспорта значительно возросла. Исследования, выполненные в [10], показали, что на объем железнодорожных пассажирских перевозок существенное влияние оказывают конкурентные предложения авиационного и автомобильного транспорта. Авиационные перевозки имеют значительное преимущество в скорости на расстояниях от 800 км, а до 600 км стоимость проезда междугородным автобусом ниже цен на железнодорожные билеты.

Чтобы обеспечить конкурентоспособность железнодорожных пассажирских перевозок, они должны по потребительским характеристикам превосходить услуги авиационного и автомобильного транспорта. Когда пассажиру — потребителю транспортной услуги предлагаются варианты перемещения в пространстве, то он сравнивает их основные параметры (время в пути, комфортность и стоимость) и ищет компромисс, который заключается в следующем: чем быстрее и комфортнее, тем больше цена перевозки (транспортный тариф).

Тариф на перевозку для обеспечения конкурентоспособности перевозчика на рынке транспортных услуг устанавливается исходя из соотношения спроса и предложения на пассажирские перевозки с учетом цен конкурентов, при условии, что будет обеспечена его операционная эффективность. Общие затраты времени на перевозку, комфортность транспортного обслуживания в пунктах отправления, прибытия и в пути следования, удобное расписание отправления и прибытия, безопасность перемещения определяют качество транспортной услуги [18].

Общие затраты времени пассажира при междугородных автобусных, железнодорожных и авиационных перевозках делятся на время пере-

мещения до и от пункта отправления (вокзала или аэропорта) T_1 , время на ожидание отправления транспортного средства T_2 и время нахождения пассажира в автобусе, поезде или самолете T_3 . Пассажиры в основном предпочитают соотношение $T_2 \ll T_1 \ll T_3$, которое необходимо учитывать при повышении качества транспортной услуги.

Кроме этого, время как ресурс для большинства пассажиров оказывается существеннее дополнительной платы за высокую скорость и платежеспособный потребитель транспортных услуг готов платить больше за скорость перевозки.

Подводя итог нашим рассуждениям о конкуренции на рынке пассажирских перевозок, отметим, что цена и качество транспортной услуги оказывают решающее влияние на конкурентоспособность перевозчика [18], которая, в свою очередь, является очень значимым фактором, определяющим распределение пассажиропотоков между перевозчиками [19].

Для высокоскоростных железнодорожных пассажирских перевозок сокращение общих затрат времени пассажира на перевозку и повышение качества транспортной услуги должно сочетаться с разумной ценовой политикой, обеспечивающей конкурентоспособность и операционную эффективность перевозчика.

Методики прогнозирования пассажиропотоков для ВСМ

В настоящее время при решении задач прогнозирования пассажиропотоков широкое применение получили методы анализа временных рядов, машинного обучения, регрессионные, гравитационные и энтропийные модели [19–21].

К методам анализа временных рядов относятся корреляционный и спектральный анализ, методы сглаживания и фильтрации, модели авто-регрессии и скользящего среднего, модель Грея [19–21]. Они используются для математического

описания временных рядов данных и вычисления их прогнозных значений [22].

Методы машинного обучения применяются для прогностического моделирования функции преобразования входных переменных в целевую переменную, т. е. получения такой целевой функции $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, которая предсказывает выходные значения Y для входных значений X .

С помощью регрессионных моделей получают математические зависимости целевого показателя от влияющих на него факторов. Гравитационные и энтропийные модели применяют для распределения пассажиропотоков по маршрутам в виде матрицы транспортных корреспонденций.

В методиках прогнозирования пассажиропотоков на долгосрочную перспективу, как правило, используются несколько методов [19]. В обобщенном виде данные методики могут быть представлены тремя основными этапами:

1. Сбор, анализ и подготовка исходных данных (ретроспективные данные о размерах пассажирских перевозок, социально-экономических и демографических параметрах пунктов зарождения и погашения пассажиропотоков).

2. Прогноз общего пассажиропотока.

3. Распределение общего пассажиропотока по видам транспорта и маршрутам.

При обосновании новых видов и маршрутов пассажирских сообщений или изменения параметров существующих в отдельные этапы выделяют:

- прогнозирование переключений пассажиропотока между сообщениями;

- прогнозирование индуцированного спроса на пассажирские перевозки, вызванного новыми транспортными возможностями.

На данных этапах может быть применен метод баланса обобщенных транспортных издержек. В SNCF (Национальная компания французских железных дорог) с помощью данного метода прогнозируют переключения на вновь вводимые в эксплуатацию высокоскоростные магистрали [23].

В обобщенных транспортных издержках учитываются стоимости и время основной и вспомогательных поездок, а также стоимость времени пассажиров, для определения которой используются данные о доходах платежеспособной категории населения [19]. На новую ВСМ переключаются пассажиры, для которых она будет наиболее выгодным видом транспорта по критерию обобщенных издержек.

В методике прогнозирования пассажиропотоков, предложенной в [19], метод баланса обобщенных транспортных издержек используется для прогноза индуцированного спроса.

В [24] для прогноза переключения пассажиропотоков на скоростные поезда была применена модель дискретного выбора. Данная модель определяет долю переключаемых пассажиров в процессе ее обучения по ретроспективным изменениям пассажиропотока и параметров сообщения (времени в пути, стоимости проезда, частоте сообщения и комфортности) [19].

Обобщая результаты анализа научных работ и проведенных исследований [7, 8], рассмотрим два варианта методики прогнозирования пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок.

Первый вариант методики представлен в виде блок-схемы на рис. 2. Его отличие от применяемых методик прогнозирования пассажиропотоков заключается в следующем:

- 1) в математической модели общего пассажиропотока $N_{п.пасс}$ вместо всего ВРП учитываются только те разделы, которые оказывают влияние на размеры пассажирских перевозок [7, 8];

- 2) индуцированный спрос определяется в зависимости от параметров конкурентоспособности ВСМ для уточнения прогноза общего пассажиропотока, который затем распределяется по видам и маршрутам пассажирских сообщений с учетом общих затрат пассажиров на перевозку и качества транспортных услуг.

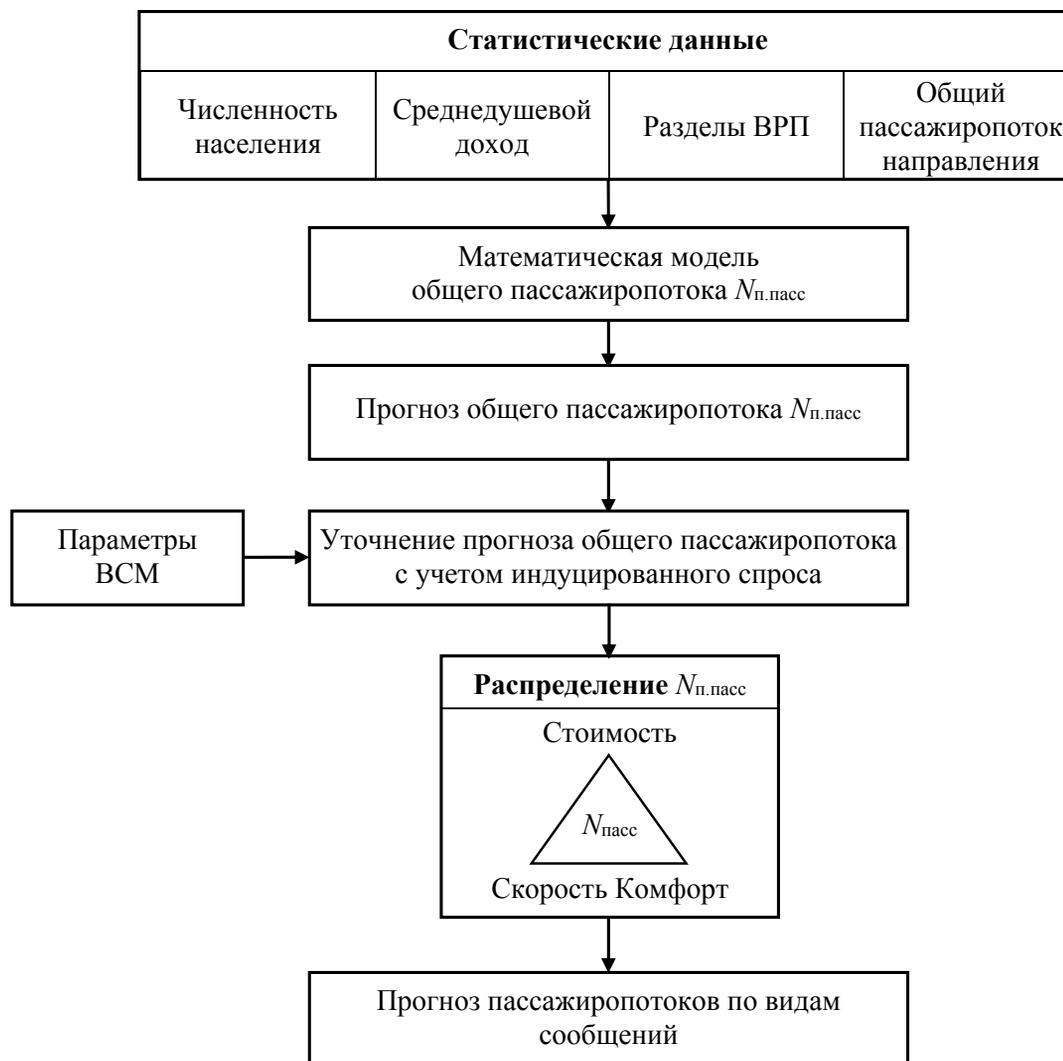


Рис. 2. Блок-схема методики прогнозирования пассажиропотоков с учетом индуцированного спроса

Во втором варианте методики (рис. 3) математическую зависимость общего пассажиропотока $N_{п.пасс}$ предлагается определять от трех основных факторов (численность населения, среднедушевой доход, разделы ВРП), а также следующих параметров пассажирских сообщений:

- суммарной провозной способности пассажирских сообщений — максимального возможного количества пассажиров в год, которое может быть пропущено по всем сообщениям;
- средневзвешенной скорости пассажира по всем сообщениям;

– средневзвешенных общих затрат пассажиров на перевозку между пунктами зарождения и погашения пассажиропотоков.

При расчетах средневзвешенной скорости и средневзвешенных общих затрат пассажира маршруты делятся на три участка:

- 1) от места отбытия пассажира до пункта отправления основного транспортного средства (поезд, самолет или междугородний автобус);
- 2) между пунктами отправления и прибытия основного транспортного средства (вокзалы,



Рис. 3. Блок-схема методики прогнозирования пассажиропотоков с учетом параметров пассажирских сообщений

аэропорты или транспортно-пересадочные узлы (ТПУ));

3) от пункта прибытия (вокзала, аэропорты или ТПУ) до конечного места прибытия пассажира.

По данным участкам определяются стоимость и время поездок пассажиров, которые используются для расчета по каждому маршруту средней скорости и общих затрат пассажира.

Во втором варианте методики математическая модель общего пассажиропотока $N_{п.пасс}$ позволит учесть соотношение спроса и предложения на транспортные услуги, включая индуцированный спрос на пассажирские перевозки.

Следует отметить, что под спросом на транспорте понимается платежеспособная потреб-

ность в транспортных услугах, а предложение транспорта характеризуется его производительной силой (провозной и пропускной способностью) [18].

Заключение

В современных условиях из-за возросшей конкуренции на рынке пассажирских перевозок, а также динамичности и неопределенности спроса населения на транспортные услуги, который обусловлен платежеспособностью пассажира и его выбором способа перемещения в зависимости от времени в пути, стоимости и комфортности перевозки, возросла сложность прогнозирования пассажиропотоков. Разработка методики прогнозирования пассажиропотоков для высокоско-

ростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок требует дальнейших исследований. Авторами предлагаются два варианта методики, которые позволят учесть особенности развития регионов Российской Федерации и конкуренцию между разными видами пассажирского транспорта и получить надежную оценку перспективных объемов пассажирских перевозок, что обеспечит снижение рисков инвестирования в строительство и эксплуатацию капиталоемких высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Первый вариант представляет собой модернизацию применяемых методик прогнозирования пассажиропотоков, второй — новую экспериментальную методику, для разработки которой еще требуется исследовать математические зависимости общего пассажиропотока от параметров пассажирских сообщений, демографических и социально-экономических факторов, определяющих соотношение спроса и предложения на транспортные услуги в условиях конкуренции на рынке пассажирских перевозок.

Библиографический список

1. Высокоскоростные магистрали // Эксперт. — 2019. — № 23(1122). — С. 32–57.
2. Мартыненко А. В. Влияние особенностей размещения населения на развитие ВСМ в Европе / А. В. Мартыненко, М. Б. Петров // Мир транспорта. — 2018. — № 1(74). — С. 118–135. — ISSN 1992-3252.
3. High speed lines in the world (Summary) // International Union of Railways. — URL: https://uic.org/IMG/pdf/20210601_high_speed_lines_in_the_world.pdf (дата обращения: 27.09.2021).
4. Мартыненко А. В. Макроанализ развития высокоскоростного транспорта в странах Западной Европы и Восточной Азии / А. В. Мартыненко, М. Б. Петров // Транспорт Урала. — 2018. — № 4(59). — С. 13–18. — ISSN 1815-9400.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г.: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
6. Интегрированная транспортная система / Центр экономики инфраструктуры. — М., 2018. — 278 с.
7. Арсенова А. С. О влиянии структуры валового регионального продукта на величину пассажиропотока / А. С. Арсенова, В. А. Анисимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т. 63. — № 3. — С. 98–106. — DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).98-106.
8. Григорьева А. С. О проблемах математического моделирования прогнозирования пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей / А. С. Григорьева, В. А. Анисимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — № 4(68). — С. 230–239. — DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).230-239.
9. Райзберг Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. — 2-е изд., испр. — М.: ИНФРА-М, 1999. — 479 с.
10. Муктепавел С. В. Экономическое обоснование способов освоения железнодорожных пассажирских перевозок в регионах: дис. ... канд. техн. наук / С. В. Муктепавел. — М., 2018. — 212 с.
11. Поликарпов А. А. О конкуренции железнодорожного транспорта с авиацией и автобусами / А. А. Поликарпов // Экономика железных дорог. — М.: Прометей, 2015. — № 9. — С. 15–17.
12. Шульман Д. О. Обоснование этапности формирования перспективной сети ВСМ: дисс. канд. техн. наук / Д. О. Шульман. — СПб., 2015. — 147 с.
13. Широкова Д. А. Оценка деловой активности в регионе / Д. А. Широкова, М. Н. Лисогор, Н. Ю. Лукьянова // Вопросы экономики и управления. — 2016. — № 3.1(5.1). — С. 49–52.
14. Баврина А. П. Современные правила применения корреляционного анализа / А. П. Баврина, И. Б. Борисов // Медицинский альманах. — 2021. — № 3(68). — С. 70–79.

15. Унгурияну Т. Н. Корреляционный анализ с использованием пакета статистических программ STATA / Т. Н. Унгурияну, А. М. Гржибовский // Экология человека. — 2014. — № 9. — С. 60–64.
16. Котеров А. Н. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции / А. Н. Котеров, Л. Н. Ушенкова, Э. С. Зубенкова и др. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2019. — Т. 64. — № 6. — С. 12–24.
17. Бушуев Н. С. Анализ динамики пассажиропотока поездов «Сапсан» и авиационного транспорта на линии «Москва — Санкт-Петербург» до 2025 г. / Н. С. Бушуев, Д. О. Шульман, К. М. Сагайдак // Бюллетень результатов научных исследований. — 2019. — № 1. — С. 5–14.
18. Управление маркетинговой деятельностью на транспорте: монография / Под ред. В. Г. Галабурды и Ю. И. Соколова. — М.: РУТ (МИИТ), 2018. — 300 с.
19. Макуцкий Н. А. Сравнение методик прогнозирования междугородних пассажиропотоков на различных видах транспорта / Н. А. Макуцкий, М. С. Фадеев, П. А. Чистяков // Мир транспорта. — 2020. — № 18(1). — С. 74–92. — DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-74-92.
20. Butyrkin A. Y. Models for predicting passenger traffic in rail and air transport / A. Y. Butyrkin et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2020. — Vol. 918. — № 1. — P. 012057.
21. Тарникова Е. Актуальные методы прогнозирования пассажиропотоков / Е. Тарникова // Институт развития транспортных систем. — URL: <https://irts.su/2022/02/16/current-forecasting-methods/> (дата обращения: 11.08.2022).
22. Дегтярева Н. А. Модели анализа и прогнозирования на основе временных рядов: монография / Н. А. Дегтярева. — Челябинск: Изд-во ЗАО «Библиотека А. Миллера», 2018. — 160 с.
23. Бонсалл П. У. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе / П. У. Бонсалл, А. Ф. Чемперноун, А. К. Мейсон и др.; пер. с англ. Е. М. Шлафштейна. — М.: Транспорт, 1982. — 207 с.
24. Янков К. В. Опыт прогнозирования пассажиропотоков и социально-экономических эффектов при ускорении железнодорожного сообщения в Самаро-Тольяттинской агломерации / К. В. Янков, П. А. Лавриненко, М. С. Фадеев // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. — 2016. — № 1. — С. 622–647.

Дата поступления: 04.08.2022

Решение о публикации: 29.08.2022

Контактная информация:

АНИСИМОВ Владимир Александрович — д-р техн. наук, доц.; anisvl@mail.ru

ГРИГОРЬЕВА Александра Сергеевна — аспирант; alexandra.arsyonova@yandex.ru

On Passenger Traffic Forecasting for High-Speed Highways Given Competition in Passenger Transportation Market

V. A. Anisimov, A. S. Grigorieva

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Anisimov V. A., Grigorieva A. S. On Passenger Traffic Forecasting for High-Speed Highways Given Competition in the Passenger Transportation Market // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 3, pp. 576–589. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-576-589

Summary

Purpose: The study of the problem of passenger traffic forecasting for high-speed railways given peculiarities of regional development and competition in passenger transportation market in Russian Federation conditions. The influence of a large number of different factors on passenger traffic volume formation is the main reason for the difficulty of obtaining reliable forecasts of passenger traffic in the long term. Based on the analysis of Russian and foreign scientific papers, devoted to the problem under study, the most significant factors were identified from ones' variety: population, per capita income, gross domestic and regional products. The analysis showed that scientists ambiguously assess the impact of gross regional product on passenger traffic volume. The authors investigated the relationship between the volumes of passenger traffic and gross regional product on directions of being projected high-speed railways Moscow - St. Petersburg and Moscow — Kazan. As a result, the sections of gross regional product with the greatest degree of influence on passenger traffic were identified. Also, in modern conditions, concurrence in passenger transportation market has significantly increased which mainly determines the distribution of passenger traffic by transport kinds. **Methods:** System analysis, correlation and regression analysis, time series analysis. **Results:** The obtained results showed that in market conditions, because of the dynamism and uncertainty of population's demand for transport services which is caused by a passenger's choice of traffic method depending on transportation travel time, cost and comfort; the complexity of forecasting passenger traffic has increased. Two variants of passenger traffic forecasting methodology for high-speed highways are proposed in view of competition in the passenger transportation market. **Practical significance:** The application of a mathematical model for forecasting passenger traffic, taking into account the peculiarities of Russian Federation regions development and the competition between different kinds of passenger transport, will allow to obtain a reliable estimate for promising passenger traffic volumes that will provide for the reduction of investment risks in the construction and operation of capital-intensive high-speed railways.

Keywords: Passenger transportation, forecasting, modeling, passenger traffic, gross regional product, competitiveness, cost, speed of delivery, comfort, induced demand, parameters of passenger communications.

References

1. Vysokoskorostnye magistrali [High-speed highways]. *Ekspert* [Expert]. 2019, I. 23 (1122), pp. 32–57. (In Russian)

2. Martynenko A. V., Petrov M. B. Vliyanie osobennostey razmeshcheniya naseleniya na razvitie VSM v Evrope [Influence of peculiarities of population distribution on the

development of high-speed lines in Europe]. *Mir transporta* [World of transport]. 2018, I. 1 (74), pp. 118–135. ISSN 1992-3252. (In Russian)

3. High speed lines in the world (Summary). International Union of Railways. Available at: https://uic.org/IMG/pdf/20210601_high_speed_lines_in_the_world.pdf (accessed: September 27, 2021).

4. Martynenko A. V., Petrov M. B. Makroanaliz razvitiya vysokoskorostnogo transporta v stranakh Zapadnoy Evropy i Vostochnoy Azii [Macroanalysis of the development of high-speed transport in the countries of Western Europe and East Asia]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. I. 4 (59), 2018, pp. 13–18. ISSN 1815-9400. (In Russian)
5. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda: Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r* [Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast for the period up to 2035: Approved by the order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r.]. (In Russian)
6. Integrirovannaya transportnaya Sistema [Integrated Transport System]. *Tsentr ekonomiki infrastruktury* [Center for Infrastructure Economics]. Moscow, 2018. 278 p. (In Russian)
7. Arsenova A. S. O vliyaniy struktury valovogo regional'nogo produkta na velichinu passazhiropotoka [On the influence of the structure of the gross regional product on the value of passenger traffic]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling.]. 2019, vol. 63, I. 3, pp. 98–106. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).98–106. (In Russian)
8. Grigor'eva A. S. O problemakh matematicheskogo modelirovaniya prognozirovaniya passazhiropotokov dlya vysokoskorostnykh magistralei [On the problems of mathematical modeling of forecasting passenger traffic for high-speed highways]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling.]. 2020, I. 4 (68), pp. 230–239. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).230-239. (In Russian)
9. Rayzberg B. A., Lozovskiy L. Sh., Starodubtseva E. B. *Sovremennyy ekonomicheskyy slovar'* [Modern economic dictionary]. Moscow: INFRA-M Publ., 1999. 479 p. (In Russian)
10. Muktepavel S. V. *Ekonomicheskoe obosnovanie sposobov osvoeniya zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozok v regionakh. Kand. Diss* [Economic substantiation of methods for developing railway passenger transportation in the regions. Cand. Diss]. Moscow, 2018. 212 p. (In Russian)
11. Polikarpov A. A. O konkurentsii zheleznodorozhnogo transporta s aviatsiyey i avtobusami [On the competition of railway transport with aviation and buses]. *Ekonomika zheleznikh dorog* [Economics of Railways]. Moscow: Prometey Publ., 2015, pp. 15–17. (In Russian)
12. Shul'man D. O. *Obosnovanie etapnosti formirovaniya perspektivnoy seti VSM. Kand. Diss* [Justification of the stages of formation of a promising high-speed network. Cand. Diss]. Sankt-Peterburg, 2015. 147 p. (In Russian)
13. Shirokova D. A. Otsenka delovoy aktivnosti v regione [Evaluation of business activity in the region]. *Voprosy ekonomiki i upravleniya* [Issues of economics and management]. 2016, I. 3.1 (5.1), pp. 49–52. (In Russian)
14. Bavrina A. P. Sovremennye pravila primeneniya korrelyatsionnogo analiza [Modern rules for the application of correlation analysis]. *Meditinskiy al'manakh* [Medical Almanac]. 2021, I. 3(68), pp. 70–79. (In Russian)
15. Unguryanu T. N., Grzhibovskiy A. M. Korrelyatsionnyy analiz s ispol'zovaniem paketa statisticheskikh programm STATA [Correlation analysis using the STATA statistical software package]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, I. 9, pp. 60–64. (In Russian)
16. Koterov A. N. Sila svyazi. Soobshchenie 2. Gradatsii velichiny [The strength of connection. Message 2. Gradations of the correlation value]. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'* [Medical radiology and radiation safety]. 2019, Vol. 64, I. 6, pp. 12–24. (In Russian)
17. Bushuev N. S. Analiz dinamiki passazhiropotoka poezdov "Sapsan" i aviatsionnogo transporta na linii "Moskva – Sankt-Peterburg" do 2025 g [Analysis of the dynamics of the passenger traffic of trains "Sapsan" and air transport on the line "Moscow – St. Petersburg" until 2025]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of scientific research results]. 2019, I. 1, pp. 5–14. (In Russian)
18. *Upravlenie marketingovoy deyatel'nost'yu na transporte* [Management of marketing activities in transport]. Moscow: RUT (MIIT) Publ., 2018. 300 p. (In Russian)
19. Makutskiy N. A. Sravnenie metodik prognozirovaniya mezhdugorodnykh passazhiropotokov na razlichnykh vidakh

transporta [Comparison of methods for forecasting long-distance passenger traffic on various modes of transport]. *Mir transporta* [The world of transport]. 2020, I. 18(1), pp. 74–92. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-74-92>. (In Russian)

20. Butyrkin A. Y. et al. Models for predicting passenger traffic in rail and air transport. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2020, vol. 918, I. 1, pp. 012–057.

21. Tarnikova E. Aktual'nye metody prognozirovaniya passazhiropotokov [Actual methods of forecasting passenger traffic]. *Institut razvitiya transportnykh sistem* [Institute for the Development of Transport Systems]. Available at: <https://irts.su/2022/02/16/current-forecasting-methods/> (accessed 11 August 2022). (In Russian)

22. Degtyareva N. A. *Modeli analiza i prognozirovaniya na osnove vremennykh ryadov* [Models of analysis and forecasting based on time series]. Chelyabinsk: Biblioteka A. Millera Publ., 2018. 160 p. (In Russian)

23. Bonsall P. U., Chempourn A. F., Meyson A. K. *Modelirovanie passazhiropotokov v transportnoy sisteme*

[Modeling of passenger traffic in the transport system]. Moscow: Transport Publ., 1982. 207 p. (In Russian)

24. Yankov K. V., Lavrinenko P. A., Fadeev M. S. Opyt prognozirovaniya passazhiropotokov i sotsial'no-ekonomicheskikh effektov pri uskorenii zheleznodorozhnogo soobshcheniya v Samaro-Tol'yattinskoy aglomeratsii [Experience in predicting passenger traffic and socio-economic effects in the acceleration of railway communication in the Samara-Togliatti agglomeration]. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN* [Scientific works: Institute of Economic Forecasting RAS.]. 2016, I. 1, pp. 622–647. (In Russian)

Received: August 04, 2022

Accepted: August 29, 2022

Author's information:

Vladimir A. ANISIMOV — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; anisvl@mail.ru

Aleksandra S. GRIGORIEVA — Postgraduate Student; alexandra.arsyonova@yandex.ru