

УДК 656.224

Ю.А. Бердышева, М.Е. Корягин

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск,
email: markkoryagin@yandex.ru

ОЦЕНКА ПАССАЖИРОПОТОКА НА СКОРОСТНОЙ МАГИСТРАЛИ ОМСК–НОВОСИБИРСК В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТНОЙ КОНКУРЕНЦИИ

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, скоростная магистраль, выбор способа передвижения, гравитационная модель, математическое моделирование, конкуренция.

Рассматривается вопрос эксплуатации скоростных поездов между сибирскими городами. Проведен анализ источников по развитию высокоскоростных магистралей. В качестве примера выбран маршрут Омск-Новосибирск. На основе гравитационного подхода построена математическая модель оценки общего потока пассажиров между городами, на основе которой сделан прогноз об увеличении до 4 раз потока пассажиров при введении скоростного сообщения между городами. Построена модель выбора способа передвижения пассажирами с различной оценкой стоимости своего времени, основанная на влиянии тарифов и экономии времени при передвижении на скоростных поездах. Модель показывает высокую чувствительность пассажиров к тарифам. Также разработана модель распределения пассажиропотоков в зависимости от частоты движения поездов. В модели учитывается время передвижения и время ожидания поездов. По результатам расчетов рекомендуется увеличить количество пар поездов на скоростной магистрали до 4.

Yu.A. Berdysheva, M.E. Koryagin

Siberian Transport University, Novosibirsk, email: markkoryagin@yandex.ru

AN EVALUATION OF PASSENGER FLOW ON THE EXPRESSWAY IN A COMPETITIVE ENVIRONMENT

Keywords: railway transport, expressway, travel mode choice, gravity model, mathematical modeling, competition.

The issue of operating high-speed trains between Siberian cities is being considered. An analysis of sources on the development of high-speed lines was carried out. The route Omsk-Novosibirsk was chosen as an example. Based on the gravitational approach, a mathematical model was built to estimate the total flow of passengers between cities, on the basis of which a forecast was made about the increase in flow with the introduction of high-speed communication between cities up to 4 times. A model was constructed for passengers travel mode choice with different estimates of the value of time based on the influence of tariffs and travel time on high-speed trains. The model shows the high sensitivity of passengers to tariffs. The model for the distribution of passenger flows depending on the frequency of trains has also been developed. The model takes into account travel time and waiting time for trains. Based on the calculation results, it is recommended to increase the number of pairs of trains on the expressway to 4.

Железнодорожные пассажирские перевозки в Российской Федерации подошли к новому этапу развития, который требует нового понимания к формированию сервисных услуг. Прежде всего, это связано с возросшей скоростью перемещения. И хотя это выделено в отдельный вид перевозок – высокоскоростные магистрали (ВСМ), все другие железнодорожные перевозки, такие как в поездах дальнего следования или пригородное железнодорожное сообщение вынуждены перестраивать свою работу в направлении обслуживания пассажиров высокоскоростных магистралей.

Основным направлением развития транспортного сектора является обеспечение конкурентоспособности и качества предоставления транспортных услуг населению, что может обеспечить развитие высокоскоростного движения [2].

Первую высокоскоростную магистраль (ВСМ) построили между японскими городами Токио и Осака. В настоящее время мировым лидером по строительству высокоскоростных магистралей в мире [7] является Китай.

Скоростная дорога влияет не только на социально-экономическое состояние

районов и областей страны, но и на мировоззрение людей, пользующихся услугами перевозок ВСМ [3]. Произошло изменение образа жизни многих миллионов людей – ежедневное перемещение на скоростных поездах десятков тысяч людей из Франции, Бельгии, Германии в город Люксембург и обратно.

Экспресс линии можно разделить на три категории [1]: со скоростью выше 160 км/ч до 200 км/ч, со скоростью 200–350 км/ч и со скоростью выше 350 км/ч. Третья, указанная категория, – это сверхскоростные линии, на которых поезда могут развивать скорость 380–400 км/час и выше.

В Российской Федерации имеется высокоскоростная магистраль на маршруте между Санкт-Петербургом и Москвой [9]. В настоящее время осуществляются исключительно скоростные перевозки. Планирование и строительство выделенных ВСМ Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань (с развитием магистрали до Екатеринбурга), Москва – Адлер и Омск – Красноярск будет осуществлено в среднесрочной перспективе [8]. Именно всё ещё отсутствие ВСМ делает чрезвычайно актуальным проведение научных исследований по широкому кругу вопросов связанных с функционированием нового вида железнодорожных перевозок не только с технической точки зрения или под углом экологического воздействия на окружающую среду, но и исследования изменений в сервисе железнодорожных перевозок по всем направлениям.

Особое значение железных дорог определяется также большими расстояниями перевозок, слабым развитием коммуникаций других видов транспорта в регионах Сибири и Дальнего Востока, удаленностью мест производства основных сырьевых ресурсов от пунктов их потребления и морских портов. Преследуя достижение практического результата, исследование было сосредоточено на развитии и проблемах высокоскоростного движения на участке Омск-Новосибирск [3, 7].

Однако более перспективным является строительство скоростных магистралей. Это связано с тем, что мировой опыт показывает экономическую эффек-

тивность ВСМ при пассажиропотоке более 8 миллионов пассажиров в год [7]. С низкой плотностью населения в Сибири пассажиропоток может составить лишь около полумиллиона пассажиров в год [7]. Поэтому, по крайней мере, на первом этапе рекомендуется организовать скоростное движение поездов по реконструированным линиям. Если сравнить затраты на строительство ВСМ и реконструкцию пути для движения со скоростью до 200 км/ч [5, 11], то эти затраты примерно в 30 раз ниже.

Цель исследования

Прогноз повышения эффективности пассажиропотока на участке Омск-Новосибирск при использовании скоростной магистрали путем разработки математических моделей с учетом конкуренции между другими вариантами передвижения.

Материал и методы исследования

На сегодняшний день самыми крупными по населению городами на трассе Омск-Новосибирск являются Татарск, Барабинск и Чулым. На рисунке 1 условные площади городов (станций) изображены пропорционально их населению. При этом со станции Барабинск удобно передвигаться еще и жителям соседнего города Куйбышев.

В настоящее время основные способы передвижения между данными станциями – это поезда и автобусы. Поезда дальнего сообщения – 10 пар поездов в сутки, делают остановки на всех станциях, кроме Чулымской (только половина остановок). Автобусное сообщение связывает Барабинск, Чулым и Новосибирск и осуществляется 2 раза в сутки. Авиационное сообщение между Омском и Новосибирском осуществляется 1 раз в сутки. Пригородные поезда осуществляют перевозки из Омска только до Татарска. Между другими станциями количество поездов варьируется от 1 до 6.

Для расчетов необходимо учитывать существующее время передвижения между станциями.

Также для построения модели используются данные о тарифах для всех способов передвижения для каждой пары станций.



Рис. 1. Станции планируемой скоростной магистрали.

Таблица 1

Время передвижения между станциями, минут

	Омск	Татарск	Барабинск	Чулым	Новосибирск
Омск	0	160	300	420	530
Татарск	160	0	140	260	370
Барабинск	300	140	0	120	230
Чулым	420	260	120	0	110
Новосибирск	530	370	230	110	0

Одним из основных методов для априорной оценки числа поездок является гравитационная модель, которая, как и закон всемирного тяготения, связывает «силу притяжения» между двумя пунктами с размерами этих пунктов и расстоянием между ними [10].

$$\lambda_{i,j} = G \frac{m_i m_j}{r_{i,j}^2}, \quad (1)$$

где $\lambda_{i,j}$ – интенсивность пассажиропотока, m_i – количество жителей в на-

селенном пункте i , $r_{i,j}$ – расстояние (или время передвижения) между пунктами i и j , G – некоторая константа (аналог гравитационной постоянной в механике).

В гравитационной модели, описывающей транспортные потоки, разделяют пункты «источники» пассажиров и пункты «поглотители» пассажиров [6, 10], а также сопротивление транспортной системы, которые в первую очередь учитывают время и финансовые затраты на передвижение:

$$\lambda_{i,j} = A_i B_j O_i D_j f(c_{i,j}), \quad (2)$$

где $c_{i,j}$ – обобщенная цена поездки (обычно используется основной показатель – время передвижения), f – убывающая выпуклая функции (обычно экс-

понента), O_i – количество пассажиров в пункте i , D_j – количество мест притяжения в пункте j , A_i, B_j – константы, для которой существуют простые формулы для расчетов [10]. Формула (1) является частным случаем (2).

Исходя из оценки количества жителей и общего пассажиропотока между железнодорожными станциями (Λ) в данной статье предложено оценивать существующий и перспективные пассажиропотоки на основе (1) по следующей формуле:

$$\lambda_{i,j} = G \frac{m_i m_j}{t_{i,j}^2}, \quad (3)$$

где $t_{i,j}$ – время передвижения между пунктами i и j .

При этом нормировочная константа (3) составит:

$$G = \Lambda \left(\sum_i \sum_{j \neq i} \frac{m_i m_j}{t_{i,j}^2} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Отметим, что при изменении времени передвижения пассажиропоток между станциями также изменяется.

Выбор способа передвижения зависит в первую очередь от времени передвижения и тарифа. Очевидно, что время передвижения на стандартном поезде

t_1 больше, чем на скоростном t_2 , а на самолете скорость еще выше, поэтому время передвижения самое маленькое t_3 . С другой стороны, затраты на тарифы, наоборот, возрастают: $c_1 < c_2 < c_3$. Таким образом, чем выше стоимость времени у пассажира, тем чаще он будет использовать скоростные виды сообщения.

Скоростные поезда выберут люди, у которых стоимость времени x лежит в следующих пределах:

$$\frac{c_2 - c_1}{t_1 - t_2} < x < \frac{c_3 - c_2}{t_2 - t_3} .$$

Тогда доля пассажиров, выбирающих скоростные поезда, составит:

$$\delta_2 = F\left(\frac{c_3 - c_2}{t_2 - t_3}\right) - F\left(\frac{c_2 - c_1}{t_1 - t_2}\right), \quad (5)$$

где $F(x)$ – функция распределения стоимости времени населения.

Один из подходов при оценке стоимости времени это расчет стоимости рабочего времени человека. То есть при оценке стоимости часа пассажира используется среднемесячный доход, деленный на среднемесячное число рабочих часов.

Для Омской области в 2021 году распределение доходов населения выглядит следующим образом (рис. 2).

В качестве теоретического распределения предложено использовать распределение Эрланга с параметром формы $\alpha = 2$ и параметром масштаба $\beta = 90$ (то есть средняя стоимость времени 180 рублей в час).

С другой стороны, для пассажира кроме времени передвижения важна частота движения поездов. То есть пассажир не любит ждать, поэтому выбирает первый подошедший поезд. Тогда доля каждого способа передвижения зависит от его частоты n_k

$$\delta_k = \frac{n_k}{\sum_i n_i}. \quad (6)$$

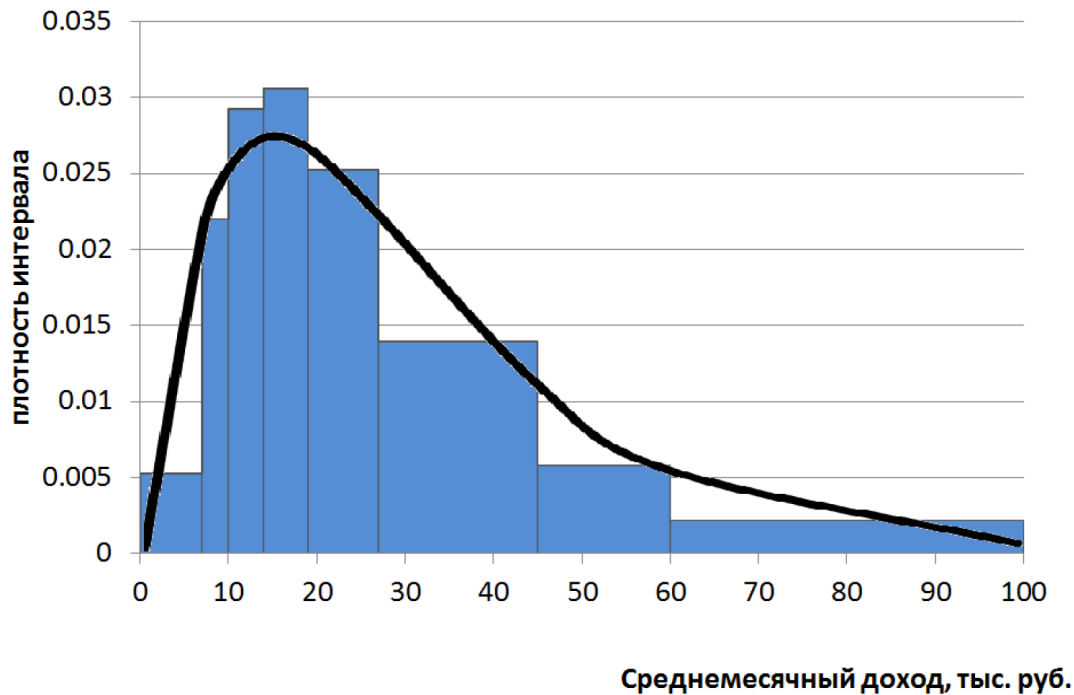


Рис. 2. Распределение населения по уровню доходов в месяци

Таблица 2

Оценка среднесуточного пассажиропотока по гравитационной модели

	Омск	Татарск	Барабинск	Чулым	Новосибирск
Омск	0	27	42	5	559
Татарск	27	0	2	0	17
Барабинск	42	2	0	1	80
Чулым	5	0	1	0	27
Новосибирск	559	17	80	27	0

С другой стороны, если учитывать время передвижения, то доля скоростных поездов будет выше (скоростной поезд, который выйдет чуть позднее, может обогнать обычный).

Пусть τ_1 – интервал движения стандартных поездов, а τ_2 – скоростных. Тогда (6) трансформируется, и доля скоростных поездов составит:

$$\delta_2 = \begin{cases} \frac{t_1 - t_2 + \tau_1}{\tau_2} + \frac{\tau_1}{2\tau_2}, & t_1 + \tau_1 < t_2 + \tau_2 \\ 1 - \frac{(t_2 + \tau_2 - t_1)^2}{2\tau_2\tau_1}, & t_1 < t_2 + \tau_2 < t_1 + \tau_1 \\ 1, & t_2 + \tau_2 < t_1 \end{cases} \quad (7)$$

Формула (7) получена на основе геометрической вероятности при условии, что общее время на передвижение (с учетом времени ожидания) каждым видом транспорта распределено равномерно в интервалах $[t_1, t_1 + \tau_1]$ и $[t_2, t_2 + \tau_2]$.

Результаты исследования и их обсуждение

Учитывая, что $\Lambda = 1520$ пассажиров в сутки [7], построим гравитационную модель, восстанавливающую матрицу корреспонденций между рассматриваемыми станциями (3, 4).

Несмотря на то, что расстояние между Омском и Новосибирском является наибольшим, именно эти города генерируют 74% пассажиров из-за большого количества жителей.

Передвижение между пунктами Татарск, Барабинск и Чулым составляет всего 0,4% общего пассажиропотока.

При увеличении скорости передвижения поездов до 200 км/ч происходит сокращение времени передвижения почти в 2 раза. Таким образом, в гравитационной модели (3) увеличивается «сила притяжения городов» в 4 раза. То есть открытие скоростного сообщения может увеличить пассажиропоток до 4 раз.

Рассмотрим потенциальный пассажиропоток при выборе способа передвижения, который зависит от стоимости времени населения (5). Рассчитаем на примере станций Омск-Новосибирск. Данными являются время (часы) передвижения на обычном $t_1 = 8$ и скоростном поездах $t_2 = 4$ и самолете $t_3 = 2$, а также соответствующие тарифы $c_1 = 2000$, $c_2 = 3000$, $c_3 = 6000$ рублей соответственно.

Подставив в (5) распределение Эрланга, получим

$$\begin{aligned} \delta_2 &= F(1500) - F(250) = \\ &= e^{\frac{250}{90}} \left(1 + \frac{250}{90}\right) e^{\frac{1500}{90}} \left(1 + \frac{1500}{90}\right) = \\ &= 0,235 \end{aligned}$$

При этом доля авиасообщения ничтожно мала. Это связано с тем, что авиасообщение в данном направлении используется для стыковочных рейсов. В других случаях переплата в 3 тысячи рублей даст экономию времени лишь в 2 часа, то есть доход пассажира должен быть $164 \times 1500 = 246000$ рублей в месяц и более на члена семьи. Таких людей не очень много.

Рассчитаем, как изменится потенциальный пассажиропоток в зависимости от уровня тарифов по сравнению со стандартными поездами.

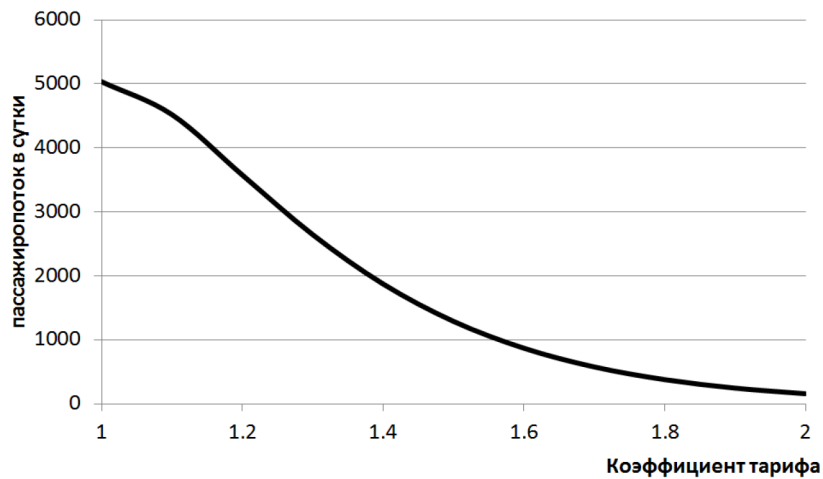


Рис. 3. Пассажиропоток скоростных поездов в зависимости от уровня тарифов

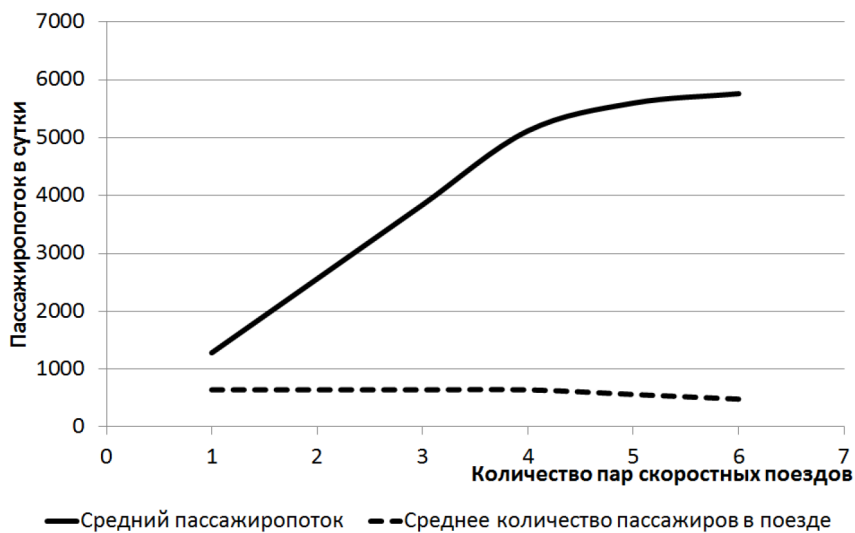


Рис. 4. Пассажиропоток скоростных поездов в зависимости от частоты движения

Отметим, что пассажиропоток очень чувствителен к уровню тарифов (рис. 3). То есть при росте тарифов в 1,5 раза пассажиропоток снижается в 4 раза. Таким образом, тариф не должен быть значительно выше, чем у обычных поездов.

Вторая модель учитывает частоту движения поездов (7). В представленной модели тариф игнорируется, а выбираются лишь поезда, которые могут быстрее доставить пассажира с учетом времени ожидания.

На графике (рис. 4) видно, что при росте количества пар поездов растет и количество перевозимых пассажиров. Очевидно, что при 6 парах поездов никому из пассажиров не выгодно использовать обычный поезд при передвижении между Омском и Новосибирском, так как минимальное время передвижения на обычном поезде 8 часов, а максимальное время передвижения на скоростном тоже 8 часов (4 часа – время в поезде, и интервал между поездами $24 \text{ часа} / 6 = 4 \text{ часа}$). При этом

рационально использовать 4 пары поездов, со средним количеством пассажиров 640 человек в каждом поезде.

Выводы

Развитие скоростных пассажирских перевозок играет важную роль для развития страны. Снижение времени передвижения увеличивает связанность территории нашей большой страны, стимулирует пассажиропотоки между населенными пунктами.

В статье представлена оценка пассажиропотока между населенными пунктами при введении в эксплуатацию скоростных магистралей железнодорожного транспорта. При увеличении средней скорости передвижения транспорта в 2 раза пассажиропоток может увеличиться до 4 раз. Но даже такой рост пассажиропотока не обеспечивает эффективности ВСМ в Сибири. Поэтому рассмотрен вопрос оценки пассажиропотока скоростной магистрали.

В качестве примера рассмотрена железная дорога Омск-Новосибирск с промежуточными станциями Татарская, Барабинская и Чулымская. На основе гравитационной модели сделана оценка пассажиропотоков между этими станциями.

Разработана модель влияния тарифов на поток пассажиров на скоростной магистрали. Модель учитывает распределение

стоимости времени пассажиров, которая рассчитана на основе данных распределения доходов населения Омской области. Таким образом, разность тарифов и времени передвижения определяет распределение потоков между стандартными и скоростными поездами, а также самолетами. Показана высокая чувствительность пассажиропотока к тарифам, то есть тарифы на скоростных поездах не должны значительно превышать тарифы на обычных поездах.

Также построена модель для оценки пассажиропотока в зависимости от количества пар поездов. Модель учитывает разность времени передвижения и интервалы движения поездов. Пассажиры при этом выбирают поезда, которые позволяют быстрее добраться до места назначения с учетом времени ожидания. Показано, что количество пар поездов на скоростной магистрали может составить 4, а 6 пар поездов делает неэффективными стандартные поезда.

Предложенная работа позволяет оценить перспективу использования скоростных поездов в условиях транспортной конкуренции. Дальнейшие исследования направлены на учет одновременно трех факторов: стоимости времени пассажиров, частоты движения транспорта и времени передвижения, что позволит сделать более точный прогноз пассажиропотоков.

Библиографический список

1. Анисимов П.С., Иванов А.А. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда. М: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. 542 с.
2. Беляева Е.Р., Бургат В.В. Подходы к определению эффективности деятельности предприятий железнодорожного транспорта // *Управленческий учет*. 2021. № 2-2. С. 168-176.
3. Бердышева Ю.А. Особенности предоставления транспортных услуг населению на высокоскоростных магистралях // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 1 (60). С. 227-232.
4. Бердышева Ю.А. Оценка экономических и социальных предпосылок развития высокоскоростных магистралей в Сибирском федеральном округе // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2016. № 4 (32). С. 170-176.
5. Васюнина А.А. Экономическая эффективность реконструкции железнодорожных линий для организации скоростного пассажирского движения: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Москва, 2008. 24 с.
6. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М: Московский центр непрерывного математического образования, 2013. 428 с.
7. Климова Е.В. Оценка экономической эффективности способов организации скоростного движения пассажирских поездов: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Новосибирск, 2015. 24 с.

8. Мишарин А.С., Евсеев О. В. Актуализация Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2013. № 2 (45). С. 4-13.

9. Назаров А.С. Опыт запуска в России высокоскоростных поездов «Сапсан» и «Аллегро» // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2013. № 3 (23). С. 62-68.

10. Советов Б.Я., Сикерин А.В. Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2016. № 8. С. 21-25.

11. Харина Е.В. Выбор рациональных мер по повышению скорости движения пассажирских поездов в условиях растущего объема грузовых и пассажирских перевозок: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2004. 168 с.