

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ОРГАНИЗАЦИИ СКОРОСТНОГО И ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В РОССИИ

Миненко Д.О.¹

¹ФГБОУ ВПО ПГУПС "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I", Санкт-Петербург, Россия (190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9), e-mail: dari_777.88@mail.ru

Проведен анализ взаимосвязи социально-экономических факторов и пассажиропотока на железнодорожных направлениях, перспективных для сооружения высокоскоростных магистралей. Была выявлена тесная связь между пассажиропотоком железнодорожного и авиационного видами транспорта и такими показателями, как численность населения, населённость гостиниц и валовой региональный продукт на направлениях Москва - Санкт-Петербург, Москва - Казань, Москва - Адлер. В ходе исследований была разработана математическая модель пассажиропотока и определены уравнения множественной линейной регрессии с учетом рассматриваемых социально-экономических факторов для исследуемых направлений. В результате расчета определены доверительные интервалы и область прогноза, а также получены прогнозные значения пассажиропотоков железнодорожного и авиационного транспорта в рассматриваемом железнодорожном полигоне.

Ключевые слова: высокоскоростная железнодорожная магистраль, анализ, пассажиропоток.

ASSESSMENT OF THE ASPECT OF ORGANIZATION HIGH SPEED OPERATION IN RUSSIA

Minenko D.O.¹

¹Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia (190031, Saint Petersburg, 9 Moskovsky pr.), e-mail: dari_777.88@mail.ru

The analysis of the relation of socio-economic factors and passenger traffic on the railway lines, promising to build high-speed railways. Was found a close relationship between the rail and air passenger traffic modes and factors such as population, the population of hotels and gross regional product on the Moscow - St. Petersburg, Moscow - Kazan, Moscow - Adler lines. The study developed a mathematical model of passenger traffic and identified multiple linear regression equation having regard to socio-economic factors. As a result, the calculation of confidence intervals are defined and the forecast area, as well as the predicted values obtained passenger traffic rail and air transport on the study lines.

Keywords: high speed railways, analysis, passenger traffic.

Согласно "Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года" [9], одним из основных направлений в России сегодня является развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного движения. Предусматривается повышение маршрутных скоростей дальних пассажирских поездов, следующих на расстояния более 700 км, организация скоростного железнодорожного движения со скоростями 200 км/ч, а также строительство выделенных высокоскоростных магистралей со скоростями до 350 км/ч (далее ВСМ). В документе указано, что значительное сокращение времени в пути привлечет на железнодорожный транспорт дополнительный пассажиропоток с авиационного и автомобильного транспорта.

Опыт эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта ряда зарубежных стран свидетельствует о том, что экономически эффективный пассажиропоток,

приходящийся на ВСМ, не должен быть менее 5-6 млн. чел. в год. Очевидно, что анализ реального прогноза социально-экономического развития агломераций, тяготеющих к ВСМ, и ожидаемая величина пассажиропотока на основных направлениях организации высокоскоростного движения поездов, предусмотренных указанной выше Стратегией остаются основными задачами в области исследований по внедрению высокоскоростных железнодорожных магистралей в России.

Метод исследования пассажиропотока

Важно отметить, что величину пассажиропотока любого вида транспорта на конкретном направлении всегда можно рассчитать, зная график движения, вместимость, процент заполняемости и т.д. Очевидно, что для внедрения нового конкурентоспособного вида транспорта этого недостаточно, т.е. необходим более глубокий анализ развития тяготеющих к ВСМ регионов и городов. Особое внимание следует уделять прогнозу пассажиропотока с учетом влияния на него наиболее значимых социально-экономических факторов, характеризующих рассматриваемый полигон [1].

Согласно [3] существуют две группы методов прогнозирования: интуитивные, основанные на суждениях и оценках экспертов, и формализованные, основанные на математических моделях. Важно отметить что именно формализованные методы позволяют смоделировать процесс изменения пассажиропотока, определив математическую зависимость между исследуемым объектом и характеризующими его признаками. Известно, что все формализованные методы подразделяются на модели предметной области и модели временных рядов. Модели предметной области хорошо известны в термодинамике, механике, медицине. А используемые в этом методе математические модели основаны на существующих законах предметной области и известных дифференциальных уравнениях.

В свою очередь, модели временных рядов описывают зависимость между исследуемыми объектами, и на основе полученной зависимости вычисляются прогнозные показатели. Поскольку исследование перспективного пассажиропотока требует изучения характера изменения некоторого множества факторов, одним из наиболее очевидных методов прогнозирования будет являться регрессионный анализ.

Как отмечается в [3], на основе собранных статистических данных [4, 5, 6] можно определить связь между величиной пассажиропотока и социально-экономическими факторами в полигоне, тяготеющем к ВСМ. Задача сводится к определению множественной регрессионной модели, которая определяется уравнением:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon, \quad (1.1)$$

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.

Для нахождения оценок параметров по результатам наблюдений используется метод наименьших квадратов. Поскольку анализ множественной регрессии на основе системы уравнений – это трудоемкий процесс, для расчетов используется аппарат матричной алгебры.

Анализ влияния исследуемых социально-экономических факторов на величину пассажиропотока

Рассмотрим три наиболее обсуждаемых сегодня в области сооружения ВСМ железнодорожных направления в России: Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и Москва – Адлер. Для составления множественной регрессионной модели для каждого направления примем в качестве факторов влияния следующие показатели: данные о численности агломераций (X_1), населённости гостиниц, характеризующие часть туристического потока (X_2) и величины валового регионального продукта, далее ВРП, характеризующие экономическое развитие и деловую активность регионов (X_3) [5, 6].

Предлагается проанализировать как пассажиропоток существующего железнодорожного транспорта, так и пассажиропоток авиасообщения. Согласно источникам статистические данные пассажиропотока железнодорожного и авиационного видов транспорта для маршрута С.-Петербург – Москва взяты за период с 1995 по 2012 годы, для направлений Москва – Казань и Москва – Адлер данные по пассажиропотоку имеются только за период с 2003 по 2012 годы.

С целью установления степени зависимости между рассматриваемыми статистическими данными факторов X_1 , X_2 и X_3 и показателями пассажиропотока железнодорожного и авиационного видов транспорта были рассчитаны коэффициенты корреляции в программе *MS Excel* (см. таблицы 1, 2).

Таблица 1

Коэффициент корреляции для железнодорожного транспорта

Пассажиропоток железнодорожного транспорта на направлениях	Коэффициенты корреляции		
	Фактор X_1	Фактор X_2	Фактор X_3
	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

Коэффициент корреляции для авиационного транспорта

Пассажиропоток авиасообщения на направлениях	Коэффициенты корреляции		
	Фактор X_1	Фактор X_2	Фактор X_3
	Численность агломерации	Населённость гостиниц	Валовой региональный продукт
Санкт-Петербург - Москва	0,768	0,899	0,923
Москва - Казань	0,945	0,986	0,955
Москва - Адлер	0,968	0,934	0,959

Полученные коэффициенты корреляции имеют положительные значения, в основном близкие к единице, что говорит о сильной степени влияния [8] рассматриваемых факторов на величину пассажиропотока железнодорожного и авиационного видов транспорта на всех трех направлениях.

Математическая модель и прогноз пассажиропотока железнодорожного и авиационного видов транспорта

Согласно уравнению (1.1) и набору статистических данных по направлениям спрогнозируем пассажиропоток Y методом оценки множественной регрессии. Общий алгоритм регрессионного анализа [7] для некоторого направления:

1. Составляем матрицу исследуемых факторов – матрицу X и матрицу данных пассажиропотока – матрицу Y .

2. Проверяем определитель матрицы $|X^T \cdot X|$. Для того, чтобы уравнение регрессии имело решение, определитель матрицы не должен быть равен нулю, т.е. матрица должна являться невырожденной [7].

3. Определяем матричным способом неизвестные коэффициенты уравнения по формуле:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (1.2)$$

где B – вектор-столбец коэффициентов уравнения регрессии, X^T – транспонированная матрица X , X – матрица размерности n м строк и $(k+1)$ – столбцов известных факторов влияния X_1 , X_2 и X_3 , Y – вектор-столбец наблюдений размерности n (где n м число наблюдений опыта (период наблюдений для направлений различный; k – количество факторов влияния, равное 3).

4. Записываем полученное уравнение регрессии.

5. Проверяем значимость полученного уравнения регрессии по критерию дисперсионного анализа (F -критерию), а также значимость отдельных коэффициентов регрессии (по критерию Стьюдента).

В ходе исследования было установлено, что на всех направлениях математическая модель не подтверждает значимость полученных коэффициентов регрессии. Была проанализирована корреляционная связь между рассматриваемыми факторами влияния X_1 , X_2 и X_3 и получены результаты их тесной связи на всех рассматриваемых направлениях. Согласно [7], в классической линейной регрессионной модели предполагается, что случайные составляющие не коррелируют друг с другом. Однако, существует метод оценки коэффициентов уравнения регрессии взвешенным методом наименьших квадратов. Рассмотрим частный случай.

Пусть матрица Ω является диагональной с элементами известных дисперсий σ_i^2 .

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

Принимаем, что случайные «ошибки» некоррелированы между собой и имеют разные, но известные дисперсии. Если предположить, что относительная ошибка измерения Y_i постоянна и равна σ_0 , то среднеквадратическое отклонение σ_i будет пропорционально математическому ожиданию $\tilde{y}_i = My_i/x$ этой величины, т.е. $\sigma_i = \sigma_0 \cdot \tilde{y}_i$.

Далее приступаем к двушаговой процедуре решения данной задачи [7]:

1 шаг: классическим методом наименьших квадратов найдем значения оценок уравнения регрессии \hat{Y}_i и определим среднюю относительную ошибку аппроксимации по формуле:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} = \sigma_0 \quad (1.4)$$

2 шаг: предполагая, что оценка среднеквадратического отклонения величины Y_i равна $\hat{\sigma}_i = \sigma_0 \cdot \hat{Y}_i$, найдем матрицу Ω по формуле:

$$\Omega^{\frac{1}{2}} = \sigma_0 \cdot \begin{pmatrix} \hat{Y}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{Y}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{Y}_n \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

Рассчитаем новые коэффициенты уравнения регрессии с учетом матрицы Ω :

$$B = (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot Y \quad (1.6)$$

Проверяем полученную математическую модель на адекватность и значимость коэффициентов уравнения регрессии. При этом определяем оценку ковариационной матрицы S вектор-столбца B по формуле:

$$S = s^2 \cdot (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1} \quad (1.7)$$

Результаты множественного регрессионного анализа пассажиропотока железнодорожного и авиационного видов транспорта для рассматриваемых направлений сведены в таблицу 3.

Таблица 3

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	$Y = 8,824 - 0,128 \cdot X_1 - 0,135 \cdot X_2 + 2,76 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$
Авиасообщение	
Санкт-Петербург - Москва	$Y = -6,857 + 0,312 \cdot X_1 - 0,072 \cdot X_2 + 2,47 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$
Москва - Казань	$Y = -1,996 + 0,06 \cdot X_1 + 0,098 \cdot X_2 + 4,69 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$
Москва - Адлер	$Y = -50,533 + 1,569 \cdot X_1 + 0,393 \cdot X_2 - 2,25 \cdot 10^{-6} \cdot X_3$

Важно отметить, что на распределение величины пассажиропотока влияют многие факторы: социальные, экономические, политические и т.д. Характер влияния этих факторов трудно предсказуем. Очевидно, что рассматриваемые статистические показатели пассажиропотока представляют собой сложный процесс случайного характера. Необходимо правильно определить доверительные интервалы прогноза пассажиропотока.

Согласно [2], область высокой корреляции в автокорреляционной функции позволяет анализировать информацию о том, в какой степени значения процесса в некоторый момент времени влияют на значения процесса в некоторый момент в будущем. Что требуется для определения границ прогноза регрессии.

Полученная оценка автокорреляционной функции показала, что для исследуемого диапазона статистических показателей предел прогноза составляет 5 лет, т.е. прогнозные значения пассажиропотоков железнодорожного и авиационного видов транспорта следует определять до 2018 года. Однако, в рамках рассматриваемого документа [9], также будет

интересен долгосрочный прогноз пассажиропотока для направлений Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и Москва – Адлер, что свидетельствует о значительном снижении достоверности полученных прогнозных данных до 2030 года.

В ходе дальнейших исследований и корректировки количества наблюдений прогноз будет уточняться.

Согласно расчету и полученным уравнениям регрессии (таблица 3) спрогнозируем пассажиропоток на направлениях Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и Москва – Адлер с учетом влияния трёх рассмотренных факторов (см. таблицу 4).

Таблица 4

Показатели суммарного пассажиропотока по направлениям

Направление	Показатели пассажиропотоков, млн. чел.		
	2012 год	2018 год (прогноз)	2030 год (прогноз)
Санкт-Петербург - Москва	9,0	12,0	13,9
Москва - Казань	4,9	6,1	7,3
Москва - Адлер	9,1	10,5	11,9

Заключение

В ходе расчетов исследовано и доказано влияние социально-экономических факторов на изменение и рост пассажиропотока на направлениях Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и Москва – Адлер. К таким факторам относятся, в частности, численность населения, населенность гостиниц, характеризующая часть туристической массы и валовой региональный продукт. Определено уравнение множественной линейной регрессии с учетом рассматриваемых социально-экономических факторов для прогноза пассажиропотоков железнодорожного и авиационного транспорта направлениях Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и Москва – Адлер. Рассчитаны доверительные интервалы и область прогноза для уравнений регрессии с помощью регрессионного и автокорреляционного анализа, а также получены прогнозные значения пассажиропотоков железнодорожного и авиационного транспорта.

Список литературы

1. Алпысова, В.А., Бушуев, Н.С., Миненко Д.О. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов "Сапсан" направления Санкт-Петербург - Москва / В.А. Алпысова, Н.С. Бушуев, Д.О. Миненко / Транспорта Урала. – 2014. – Вып.2 (41). – С. 50-53.

2. Бендат, Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол / Мир, 1971. – 409 с.
3. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel: учебное пособие / Э.А. Вуколов / - 2-е изд. – М., 2014. – 464 с.
4. Данные ОАО Аэропорт «Пулково» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pulkovoairport.ru (дата обращения: 20.09.2014).
5. Данные Федерального агентства по туризму (Ростуризм) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.russiatourism.ru (дата обращения: 10.09.2014).
6. Данные Федеральной службы государственной статистики России (Росстата) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sks.ru (дата обращения: 10.09.2014).
7. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы: Учебник / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин / М. Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
8. Ефимова, М. Р. Практикум по общей теории статистики: учеб. пособие. / М.Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова / 3-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.
9. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (новая редакция от 11.06.2014 г.).

Рецензенты:

Свинцов Е.С., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог», ФГБОУ ВПО ПГУПС "Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I", г. Санкт-Петербург.

Дудкин Е.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса», ФГБОУ ВПО ПГУПС "Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I", г. Санкт-Петербург.