ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Математические методы и модели

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Евгений Сергеевич ОСЕТРОВ

специалист менеджмента организации, Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна, Российская Федерация
esosetrov@gmail.ru

История статьи:
Принята 25.06.2015
Принята в доработанном виде 12.10.2015
Одобрена 27.10.2015

УДК 330.34

Ключевые слова: транспорт, спрос, прогнозирование, математический метод, система

Аннотация

Предмет и тема. Предметом исследования является возможность использования современных подходов к прогнозированию спроса на транспортные услуги, применяемых в мировой практике.

Цели. Разработка наиболее эффективных научно обоснованных подходов и методов прогнозирования спроса пассажиров на транспортные услуги.

Методология. С помощью совместного применения математического, статистических и экономических методов анализа проводится рассмотрение существующих подходов к прогнозированию спроса пассажиров на транспортные услуги, в том числе к переключению спроса пассажиров на различные виды транспорта при введении в эксплуатацию нового транспортного проекта или при изменении параметров транспортного сообщения в существующей инфраструктуре.

Результаты. Рассмотрены условия применения методов и подходов прогнозирования, учитывающих более двух видов транспорта, факторы, влияющие на спрос транспортных услуг. Получено балансовое уравнение удовлетворения спроса на транспортные услуги, с помощью которого определяется численное значение показателя качества прогнозирования транспортного спроса.

Область применения. Результаты исследования применимы в деятельности специалистов транспортной отрасли, осуществляющих прогнозирование растущего спроса населения на транспортные услуги в зависимости от социальных и экономических факторов (валового регионального продукта, численности населения, доходов и т.д.).

Выводы и значимость. Применение балансового уравнения удовлетворения спроса на транспортные услуги с использованием современных математических методов моделирования позволит повысить эффективность управления транспортной отраслью, в том числе на этапе предварительной разработки инвестиционных проектов, обеспечит экономию временных и денежных затрат в транспортной отрасли.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2015

Прогнозирование спроса пассажиров на транспортные услуги является популярной задачей как в академической, так и в прикладной среде во всем мире. При недостаточном уровне качества прогнозирования спроса на транспортные услуги в экономической системе могут возникать эффекты дефицита транспортных услуг (в том числе доступности и качества или их перепроизводства, выражающегося в неэффективной эксплуатации пассажирского транспорта).

Прогнозирование спроса на транспортные услуги в современной практике осуществляется с применением различных теоретических подходов (мультипликативного, распределения ценности времени пассажира, гравитационной модели).

Рассмотрим возможности и ограничения применения некоторых подходов, изложенных в прикладных исследованиях, моделей по прогнозированию спроса пассажиров на транспортные услуги.

При моделировании транспортного спроса на практике часто используются мультипликативные модели прогнозирования.

Мультипликативный подход прогнозирования для вида транспорта предполагает использование следующей функции:

$$T(M)_t = K \cdot ВНП_t^{\text{ВНП}(M)} \cdot P_t^{P(M)},$$

где t – момент времени;

K – константа функции;

$ВНП$ – валовой национальный продукт;

P – численность населения;

индексы ВНП(M), $P(M)$ – коэффициенты эластичности по соответствующему показателю спроса на вид транспорта M.

Этот подход является одним из популярных инструментов долгосрочного (стратегического)

прогнозирования транспортного спроса на период от одного года и более, что позволяет определить тренды и фундаментальные изменения транспортного спроса с использованием исходных данных по регрессорам из открытых источников статистики и социально-экономических прогнозов. Среди недостатков этого подхода – необходимость получения прогнозных значений регрессоров (ВВП, численности населения). Таким образом, точность прогноза спроса на услуги транспорта зависит от точности прогнозов используемых показателей и их эластичности. Подход также не учитывает перераспределение спроса на транспортные услуги между видами транспорта, тарифы (стоимость билета) на перевозку пассажиров, а также изменения транспортного спроса в зависимости от изменения параметров и структуры (например, улучшения) транспортной системы.

Для распределения спроса по видам транспорта при изменении параметров транспортного сообщения по существующей транспортной инфраструктуре могут быть использованы следующие подходы к экономическому моделированию.

Один из них связан с распределением ценности времени, при котором пассажиру безразлично, какой из двух видов транспорта использовать. Для каждого из двух видов транспорта есть собственное выражение обобщенных издержек, так как стоимость и время поездки различны. Тогда найдется такое значение ценности h_0, при котором безразлично, какой транспорт использовать, и тогда обобщенные издержки равны:

$h_0 = (P_1 - P_2) / (T_2 - T_1)$.

Долю пассажиров с ценностью времени $h \le h_0$ (то есть пользующихся тем транспортом, у которого на этом интервале ценности времени меньше обобщенных издержек) можно определить интегрированием функции плотности вероятности логнормального распределения по области $h \in [0, h_0]$, то есть нахождением вероятности, что $h \le h_0$:

$$F\left(h \le h_0\right) = \int_0^{h_0} \frac{1}{\sigma h\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\left(\log\left(h\right) - m\right)^2\right) dh.$$

Доля пассажиров, пользующихся вторым видом транспорта ($h > h_0$), находится вычитанием из единицы найденной выше доли.

Важную роль в прогнозировании транспортного спроса по видам транспорта играет показатель обобщенных издержек, который можно определить следующим образом:

$$Cg = \left(P_j + P_a\right) + h\left(T_j + T_v\right),$$

где Cg – обобщенные издержки;

P_j – стоимость основной поездки;

P_a – стоимость вспомогательных поездок;

h – ценность времени;

T_j – время основной поездки;

T_v – время вспомогательных поездок.

Представленный подход имеет следующие недостатки: ограничен двумя видами транспорта и для случаев, где есть выбор из трех и более видов транспорта, он не подходит; использует логнормальное распределение доходов населения, однако распределение доходов имеет форму сочетаний логнормальных распределений; подход учитывает только переключения, связанные с изменением стоимости и времени поездки, и не позволяет учесть субъективные факторы [1].

Рассмотрим применение функции полезности поездки на транспорте m между городами i и j:

$$u_{ij}^m = e^{\gamma Cg_{ij}^m},$$

где γ – константа модели (фактор дисконтирования);

Cg_{ij}^m – обобщенные издержки поездки на транспорте m между регионами i и j.

Для расчета доли транспорта m среди всех остальных видов транспорта используется следующая функция:

$$S_{ij}^m = \frac{u\left(Cg_{ij}^m\right)}{\sum_{k \in M} u\left(Cg_{ij}^k\right)}.$$

При изменении параметров обобщенных издержек одного или нескольких видов транспорта можно определить их доли и получить изменения долей использования каждого вида транспорта.

Достоинством такого подхода является неограниченное число видов транспорта, а также

функция полезности позволяет учесть субъективные факторы[1].

Помимо переключений с другого вида транспорта необходимо определить экономические модели индуцированного спроса, под которым понимаются такие поездки, осуществление которых невозможно без проведения дополнительных мероприятий (например, улучшения транспортной инфраструктуры или повышения дохода населения).

Для расчета индуцированного спроса применяют классическую гравитационную модель, которая зарекомендовала себя как основной инструмент моделирования индуцированного спроса [2]. В модели используются социальные, экономические, демографические и иные факторы, а также показатели, связанные с затратами на передвижение:

$$PT_{ij} = k\frac{x_i^{\alpha}x_j^{\beta}}{c_{ij}^{\gamma}},$$

где Pt_{ij} – спрос на перемещение из транспортного центра i в транспортный центр j;

k – константа модели (коэффициент пропорциональности);

x_i – транспортный центр, из которого идет пассажиропоток;

x_j –транспортный центр, в который идет пассажиропоток;

α, β, γ – коэффициенты, которые необходимо оценить;

c_{ij} – показатель, связанный с затратами на передвижение.

Преимуществом данного подхода является возможность линеаризации модели (с помощью логарифмирования) и возможность ее оценки с помощью метода наименьших квадратов:

$$\ln(\mathrm{PT}_{ij}) = \ln(k) + \alpha \ln(X_i) + \beta \ln(X_j) - \gamma \ln(c_{ij}) + \varepsilon_{ij},$$

где ε_{ij} – случайная компонента.

Другой подход к прогнозированию индуцированного спроса основан на определении зависимости цели поездки и средней доли обобщенных расходов на поездку в полных общих затратах на действия, связанные с осуществлением поездки. Впервые данный подход был использован в Германии при моделировании прогноза пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте до 2015 г. для федерального плана транспортных магистралей по заказу федерального министерства транспорта, строительства и жилого фонда.

Индуцированный спрос на транспортные услуги в таком подходе определяется по следующей формуле:

$$R_{ind} = \frac{GK_a - GK_p}{\max\{GK_a, GK_p\}}\min\{R_p, R_a\}\ AR,$$

где R_{ind} – индуцированные перевозки по видам транспорта и целям поездки;

GK_a – объем обобщенных расходов на момент проведения анализа или предшествующего этапа прогнозирования;

GK_p – прогноз обобщенных расходов;

R_p – прогноз числа поездок;

R_a – число поездок на момент проведения анализа или предшествующего этапа прогнозирования;

AR – доля обобщенных расходов в полных затратах на поездку.

При прогнозировании спроса на транспортные услуги следует учесть подход для большего числа видов транспорта на основе моделей дискретного выбора. Вариант модели для большего числа видов транспорта предлагался в работе, посвященной прогнозированию спроса на железнодорожный вид транспорта в Гонконге и Шэньчжэне [3]. Авторы предлагают использовать для моделирования выбора железнодорожного транспорта модель, основанную на непрерывном распределении:

$$F = \frac{1}{1+e^{\alpha(GC_n - GC_r)-\beta}},$$

где F – вероятность выбора вида транспорта;

α, β – коэффициенты модели;

GC_n – обобщенные издержки для остальных видов транспорта;

[1] *Орлов А.И.* Организационно-экономическое моделирование. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

GC_r – обобщенные издержки для вида транспорта, на который переключаются пассажиры.

Ключевой фактор принятия решения о выборе вида транспорта – совокупные затраты на поездку, (стоимость билета и потраченного времени), которые могут быть выражены формулой

$Cg = C + h$,

где Cg – совокупные транспортные затраты;

C – стоимость билета;

h – стоимость времени в пути.

Соотношение потребностей на вид транспорта n и на виде транспорта m равно соотношению совокупных затрат:

$$\frac{P_n}{P_m} = \frac{Cg - n}{Cg - m} q,$$

где P_n – пассажиропоток на виде транспорта n;

P_m – пассажиропоток на виде транспорта m;

$Cg - n$ – совокупные затраты одного пассажира на виде транспорта n;

$Cg - m$ – совокупные затраты одного пассажира на виде транспорта m;

q – соотношение совокупных затрат на видах транспорта m и n.

Следовательно, доля пассажиропотока, переключившегося на вид транспорта n с транспорта m, составит

$P_n = q / (q + 1)$.

В качестве примера рассмотрим переключение пассажиропотока по видам транспорта в зависимости от расстояния и стоимости поездки (рис. 1).

Фиксированный удельный тариф определяет более быстрый рост цены билета на высокоскоростные железнодорожные магистрали по мере увеличения дальности поездки по сравнению с другими видами транспорта, а также на дистанциях до 1 тыс. км успешно конкурирует по цене с авиатранспортом, а на расстояниях до 400 км – с купе поезда.

Оценка стоимости времени связана с двумя основными методическими вопросами: необходимостью оценки реального времени в пути от центра города отправления до центра города прибытия [4], то есть оценки времени движения пассажира, а не вида транспорта (далее – реальное время), а также необходимостью перевода потраченного на поездку времени в денежный эквивалент. Наибольшие различия реального времени в пути и времени движения по расписанию характерны для авиационного транспорта.

Расчет реального времени (рис. 2) складывается из времени полета с учетом руления, времени прохождения регистрации и посадки на рейс в аэропорту отправления (два часа). времени получения багажа в аэропорту прибытия (0,5 часа), времени в пути от центра города отправления до аэропорта, времени в пути от аэропорта прибытия до центра города.

Значительное изменение в параметрах одного из видов транспорта окажет в такой модели влияние более слабое, чем в реальности, поскольку данный показатель усредняется по нескольким видам транспорта.

Эффективность применения метода и точность прогнозирования транспортного спроса могут быть оценены с использованием экономико-энергетического подхода при рассмотрении транспортного комплекса как открытой неравновесной транспортной системы, оказывающей транспортные услуги населению [5].

Для предоставления услуг населению транспортной системе требуется израсходовать некоторое количество не только времени, но и энергии (себестоимость оказания услуг). Обозначим этот теоретический минимум расхода энергии для j-й транспортной услуги $g_j(t)$. Фактический расход энергии на оказание j-й транспортной услуги обозначим $b_j(t)$.

Отношение теоретического минимума затрат энергии к фактическому расходу на оказание j-й транспортной услуги называют коэффициентом совершенства технологии, который рассчитывается следующим образом:

$$\eta_j(t) = \frac{g_j(t)}{b_j(t)}.$$

Установим явную связь между суммарным энергопотреблением в экономической системе и суммарным объемом оказания транспортных услуг, используя в качестве единицы времени 1 ч. Суммарное энергопотребление транспортной системы как целого может быть представлено как сумма оказания всех транспортных услуг.

Если j-я услуга требует фактического расхода энергии $b_j(t)$, а количество единиц таких транспортных услуг, выходящих из j-го производственного процесса, составляет $k_j(t)$ единиц, то на оказание этой услуги потребляемая мощность составляет $N_j(t)$. При определении величины $b_j(t)$ в киловатт-часах и определении объемов оказания транспортных услуги в час мощность будет выражаться в киловаттах. В этом случае объем оказания j-й услуги может быть записан в следующем виде:

$k_j(t) \cdot b_j(t) = N_j(t)$,

где $k_j(t)$ – количество единиц j-й услуги, оказываемой за 1 ч;

$b_j(t)$ – фактические затраты энергии для оказания j-й услуги;

$N_j(t)$ – фактическая величина мощности в киловаттах, потребляемая для оказания j-й услуги.

Оценивая объем оказания транспортных услуг в социально-экономической системе в целом (что возможно, так как все объемы оказания услуг приведены к одной и той же физической величине), получим часовой объем предоставления общественной услуги, или валовой продукт транспортной системы за 1 ч:

$$P(t) = \sum_j k_j(t) g_j(t) = \sum_j N_j(t) \eta_j(t).$$

Таким образом, валовой продукт транспортной системы за 1 ч пропорционален не просто суммарному энергопотреблению, а произведению суммарного энергопотребления на обобщенный коэффициент полезного действия или на коэффициент совершенства технологий, используемых в транспортной отрасли.

При одном и том же суммарном энергопотреблении возможно увеличивать объем оказываемых транспортных услуг в единицу времени за счет роста коэффициента совершенства технологии.

Если объем оказания j-й услуги превосходит скорость ее потребления, то отношение скорости потребления к объему оказания услуги в единицу времени дает численное значение качества прогнозирования транспортного спроса. Таким образом, балансовое уравнение удовлетворения спроса на транспортные услуги можно представить в следующем виде:

$$F(t) = \sum_j k_j(t) g_j(t) \varepsilon_j(t) = \sum_j N_j(t) C_j(t) \varepsilon_j(t),$$

где $F(t)$ – удовлетворение спроса в транспортных услугах за 1 ед. времени;

$k_j(t)$ – количество единиц j-й услуги, оказываемых за 1 ч;

$g_j(t)$ – теоретические необходимые затраты мощности на единицу j-й услуги;

$\varepsilon_j(t)$ – коэффициент качества прогнозирования спроса на транспортные услуги;

$N_j(t)$ – фактическая величина мощности, потребляемой для оказания j-й транспортной услуги;

$C_j(t)$ – коэффициент совершенства транспортных технологий.

Подставив полученные коэффициенты чувствительности и прогнозные значения факторов (ВРП, индекса тарифа и др.) в уравнения моделей, описанных ранее, а также умножив на тарифы услуг для пассажиров, можно найти прогнозы приростов спроса в денежном выражении на транспортные услуги на периоды времени, по которым есть прогнозные значения социальных и экономических факторов.

Таким образом, потребление электрической энергии в единицу времени (мощности) может стать одним из ключевых факторов для экономических моделей как показатель (индикатор) экономической активности (для ретроспективных моделей прогнозирования транспортного спроса).

В качестве примера рассмотрим сопоставление изменений транспортного спроса на отдельном виде городского пассажирского транспорта и потребления электрической энергии в регионе (транспортном районе). Сопоставим объем перевозок московским метрополитеном за 14 лет по месяцам наблюдения (на основании ежегодной отчетности, публикуемой на официальном сайте)[2] и среднесуточное потребление электрической энергии в Москве и Московской области (по данным Системного оператора единой энергетической системы)[3] (рис. 3).

В объеме пассажирских перевозок московским метрополитеном и потреблении электрической энергии в Москве наблюдается определенная синхронность изменения и сопоставимость динамики: направленность трендов, годовая и

[2] Системный оператор Единой энергетической системы. URL: www.so-ups.ru/index.php?id=1202.

[3] UK Aviation Forecasts. URL: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/223839/aviation-forecasts.pdf.

сезонная периодика и гармонические изменения по месяцам наблюдений. Предварительно проведенный корреляционный анализ этих переменных определяет коэффициент Пирсона на уровне 0,6, тем самым показывая наличие зависимости между объемом перевозок и потреблением электроэнергии.

Подробное прогнозирование спроса на услуги транспорта в зависимости от потребления и генерации электрической энергии (как индикаторов экономической активности населения) на основе обработки стохастических рядов является новой прикладной задачей и может быть реализовано с использованием математических моделей Бокса – Дженкинса, ARIMA, а также алгоритмов и моделей искусственных нейронных сетей.

Повышение качества прогнозирования транспортного спроса способствует повышению эффективности и скорости принятия управленческих решений в зависимости от ситуации как на транспортном предприятии, так и в окружающей его внешней среде (численности населения, климатических и погодных условий, динамики энергопотребления и др.). Таким образом, это и позволит предприятиям пассажирского транспорта выстроить эффективные стратегии и принять тактические меры исходя из предполагаемого объема пассажиропотока (например, в части определения количества необходимого подвижного состава для перевозки пассажиров, закупки электрической энергии для тяги поездов. подготовки и проведения специальных акций по привлечению пассажиров в определенные временные интервалы, принятия решений об увеличения на определенных участках транспортной сети обслуживающего персонала и сотрудников транспортных служб, краткосрочного планирования предупредительных мероприятий и т.д.).

Таким образом, получение оперативной информации о краткосрочном состоянии спроса на услуги пассажирского транспорта и повышение точности его прогноза являются актуальными задачами, решение которых способствует не только повышению эффективности управления транспортной системой, но и наиболее полному удовлетворению потребностей населения в передвижении при оптимальном использовании пассажирского транспорта.

Рисунок 1

Зависимость стоимости поездки от расстояния по видам транспорта в ценах 2014 г.

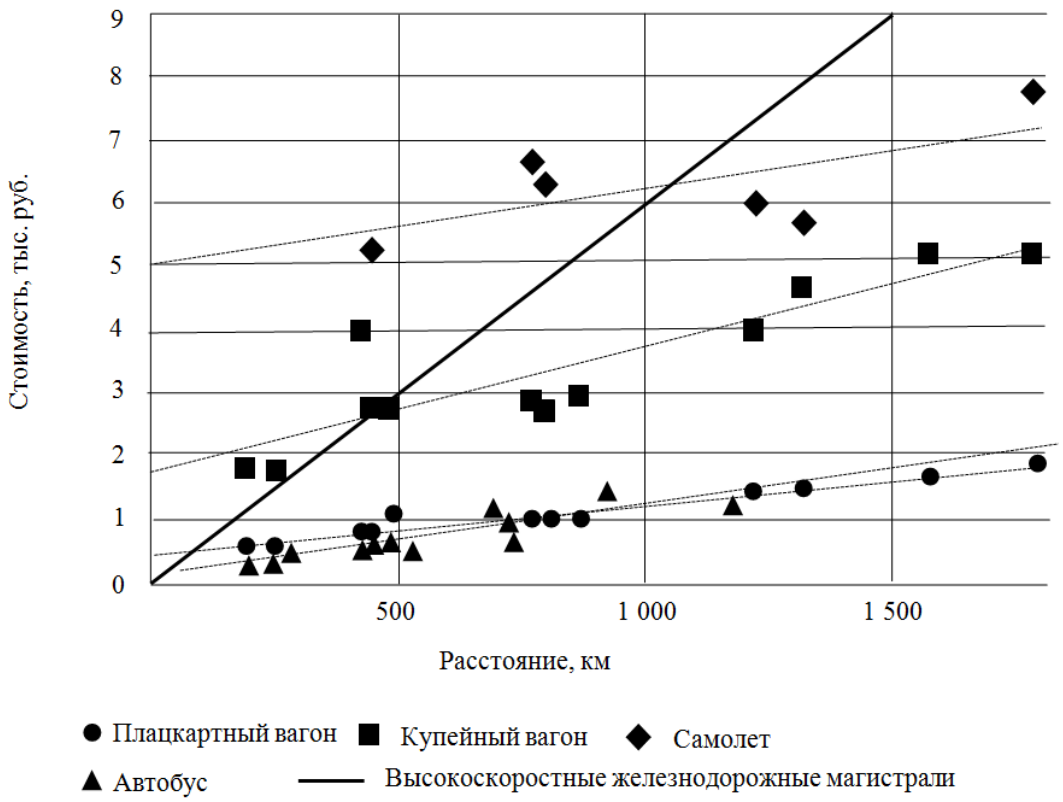


Рисунок 2

Зависимость времени в пути от расстояния по видам транспорта

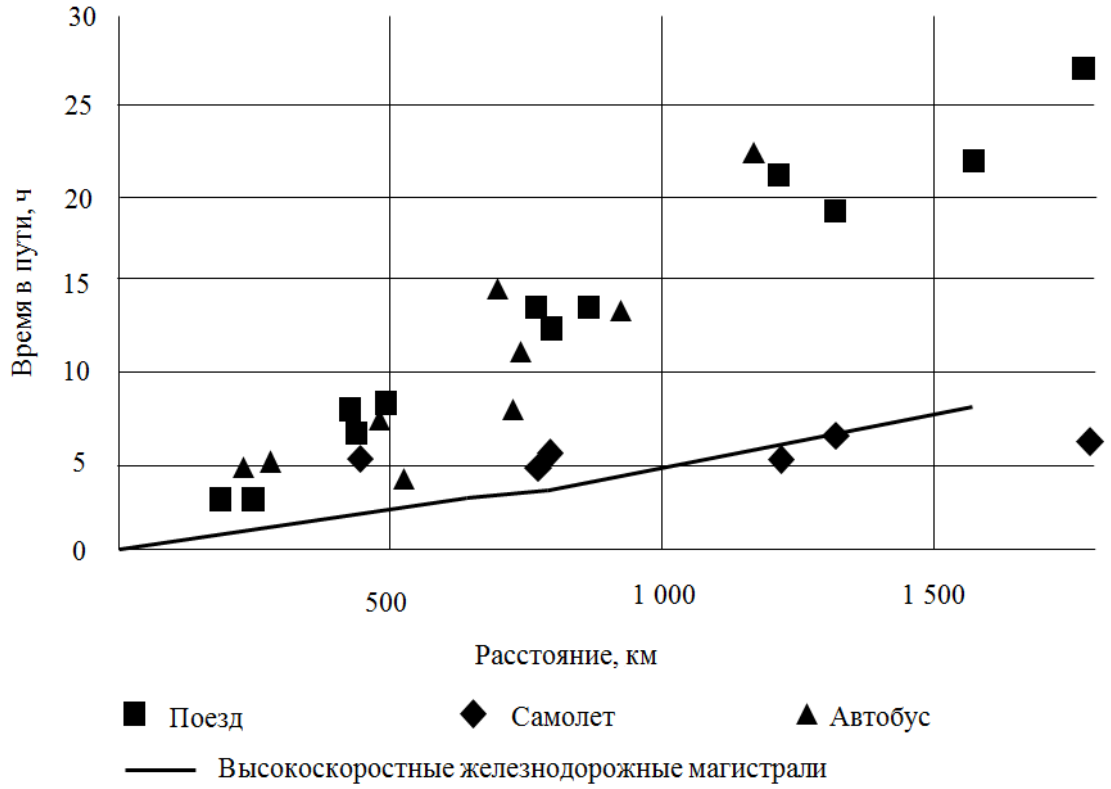
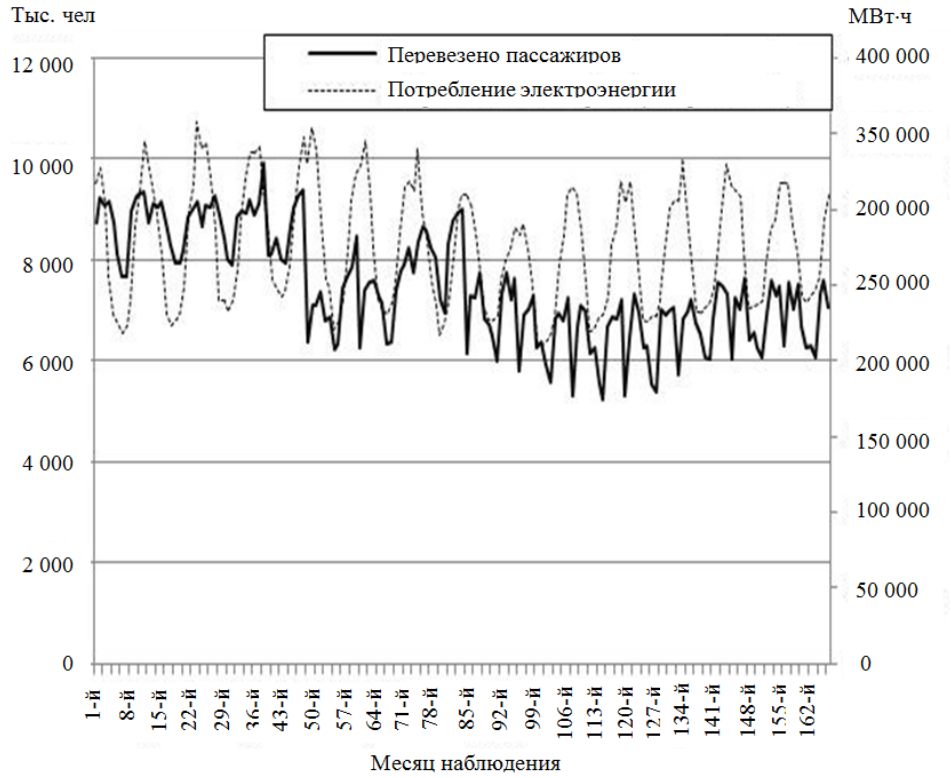


Рисунок 3

Объем пассажирских перевозок московским метрополитеном и потребление электрической энергии в Москве с января 2001 г. по декабрь 2014 г.



Список литературы

1. *Aivazian S., Kolenikov S.* Poverty and Expenditure Differentiation of the Russian Population. EERC Working Paper № 01/01. 2001.

2. *Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б.* Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МФТИ, 2010. 363 с.

3. *Martin T., Rutherford S.* Rail Demand Forecasting In Hong Kong and Shenzhen. URL: http://www.inrosoftware.com/assets/pres-pap/asian/asi99/paper14.doc.

4. *Лукашев В.И.* Научно-технический прогресс и экономическая эффективность транспортного производства. Макроэкономическая оценка. М.: Интекст, 2003. 352 с.

5. *Большаков Б.Е.* Наука устойчивого развития. Кн. I. М.: РАЕН, 2011. 272 с.

ISSN 2311-8725 (Online)
ISSN 2073-039X (Print)

Mathematical Methods and Models

ANALYSIS AND FORECAST OF ECONOMIC GROWTH IN THE REGION: THE KURSK OBLAST CASE

Evgenii S. OSETROV

Dubna International University for Nature, Society and Man, Dubna, Moscow Oblast, Russian Federation
esosetrov@gmail.ru

Article history:
Received 25 June 2015
Received in revised form
12 October 2015
Accepted 27 October 2015

Keywords: transport, demand, forecasting, mathematical method, passenger traffic

Abstract
Subject The article considers the possibilities of using state-of-the art approaches to forecasting the demand for transport services.
Objectives The purpose is to develop the most efficient and scientifically substantiated approaches and methods to forecasting the passenger demand for transport services.
Methods Applying mathematical, statistical and economic methods of analysis, I review the existing approaches to forecasting the passenger demand for transport services. I also analyze the switching of passenger demand from one type of transport to another in the event of implementing a new transport project or changing the parameters of transportation using the existing infrastructure.
Results I considered factors influencing the demand for transport services, showed the dependence of gross domestic product of the transport system on the level of energy consumption and technology excellence. The obtained balance equation of meeting the demand for transport services helps determining a numerical value of the quality of forecasting the traffic demand.
Conclusions Using the balance equation based on advanced mathematical methods of modeling will improve the efficiency of management of the transport sector, and especially at the stage of preliminary development of investment projects, and ensure time and cost saving in the transportation industry.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2015

References

1. Aivazian S., Kolenikov S. Poverty and Expenditure Differentiation of the Russian Population. *EERC Working Paper*, 2001, no. 01/01.
2. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskii E.A., Kholodov Ya.A., Shamrai N.B. *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov* [An introduction to mathematical modeling of traffic flows]. Moscow, MIPT Publ., 2010, 363 p.
3. Martin T., Rutherford S. Rail Demand Forecasting In Hong Kong and Shenzhen. Available at: http://www.inrosoftware.com/assets/pres-pap/asian/asi99/paper14.doc.
4. Lukashev V.I. *Nauchno-tekhnicheskii progress i ekonomicheskaya effektivnost' transportnogo proizvodstva. Makroekonomicheskaya otsenka* [Scientific and technological progress and economic efficiency of transportation. Macroeconomic assessment]. Moscow, Intekst Publ., 2003, 352 p.
5. Bol'shakov B.E. *Nauka ustoichivogo razvitiya. Kn. I* [Science for sustainable development. Book I]. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences Publ., 2011, 272 p.