УДК 338.27
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-134-144

Модели анализа спроса на пассажирские авиаперевозки

Жуков Василий Егорович – *Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия*.*

Василий ЖУКОВ

Анализ спроса на авиаперевозки – это ключевой бизнес-процесс, вокруг которого разрабатываются стратегические и операционные планы каждой авиакомпании. На основе прогноза спроса разрабатываются стратегические планы развития маршрутной сети авиакомпании, а также планы по бюджетированию, финансовому планированию, планы продаж и маркетинга, планирование парка воздушных судов, оценка рисков и планы преодоления их последствий. Анализ спроса также облегчает важную управленческую деятельность, такую как принятие решений, оценка эффективности, разумное распределение ресурсов в определённых и неопределённых условиях развития системы воздушного транспорта.

На основе конкретных требований авиакомпании или применительно к конкретной воздушной линии может быть разработана индивидуальная модель прогнозирования спроса. Такая модель представляет собой расширение или сочетание различных качественных и количественных методов прогнозирования спроса. Задача разработки настраиваемой модели часто является итерационной, высоко детализированной и управляемой экспертными знаниями и может быть выполнена путём внедрения подходящего программного обеспечения для управления спросом.

Задача, поставленная в статье, не является постановочным заданием для построения модели, а только предлагает исследовать имеющийся теоретический материал по анализу спроса на авиаперевозки на основе наиболее известных моделей прогнозирования спроса на перевозки.

Методом научного исследования задачи, поставленной в статье, является метод научного анализа существующих моделей. Предложение и спрос на авиатранспортные услуги имеют взаимное, но асимметричное отношение. Хотя реализованный спрос на перевозку не может иметь место без соответствующего уровня предложения, авиатранспортная услуга может существовать и без соответствующего спроса. Это часто встречается в проектах, которые разрабатываются с запасом, удовлетворяющим ожидаемый уровень спроса, который может или не может быть реализован, или может его реализация займёт несколько лет. Регулярные авиатранспортные услуги формируют предложение, которое существует, даже если спрос недостаточен.

Приведённые в статье модели подчёркивают условия, в которых есть насыщение предложения, а с другой стороны, рассматриваются модели, в которых спрос формируется за счёт взаимной притягательности субъектов, формирующих спрос.

<u>Ключевые слова:</u> транспорт, спрос на авиаперевозки, прогнозирование, макроскопическая модель.

*Информация об авторе:
Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 19.12.2019, принята к публикации 18.02.2020.

For the English text of the article please see p. 140.

Для анализа спроса на авиаперевозки можно исходить из того, что спрос на авиаперевозки между двумя городами или двумя регионами зависит от:

• социально-экономической характеристики регионов;

• характеристики транспортной системы.

Эти два фактора связаны между собой. В целом характеристика транспортной системы нашей страны показывает, что в 2018 году, по данным Росстата: грузооборот транспорта в России вырос на 2,8 % относительно 2017 года и составил 5640 млрд т • км. Рост произошёл на всех видах транспорта, кроме морского (-10,3 %), воздушного (-0,7 %) и внутреннего водного (-6,8 %). Гружёный грузооборот железнодорожного транспорта увеличился на 4,2 %. Доля железнодорожного транспорта в общей структуре грузооборота составила 46,1 % (на 0,7 п.п. выше уровня 2017 года). Доля железнодорожного транспорта без учёта трубопроводного составила 87,4 % (на 0,6 п.п. выше уровня 2017 года). В 2018 году пассажирооборот транспорта в России увеличился на 6,6 % по сравнению с 2017 годом, до 531,9 млрд пасс.-км [1].

Пассажирооборот отдельных видов транспорта составил: железнодорожного – 129,5 млрд пасс.-км; автомобильного – 114,8 млрд пасс.-км; воздушного – 286,9 млрд пасс.-км. Увеличение пассажирооборота транспорта общего пользования произошло за счёт роста пассажирооборота на воздушном транспорте (на 10,6 %). В структуре пассажирооборота транспорта общего пользования воздушный транспорт занимал 53,9 % (+1,9 п.п. к уровню 2017 года). Пассажирооборот железнодорожного транспорта вырос на 5,2 % к 2017 году, но его доля в структуре пассажирооборота уменьшилась до 24,4 % (на 0,3 п.п.). Доля автомобильного (автобусного) транспорта в пассажирских перевозках транспортом общего пользования составила 21,6 % (-1,6 п.п. к уровню 2017 года), а пассажирооборот уменьшился на 1 % [1].

Модели для оценки спроса на авиаперевозки чаще всего оценивают:

• количество потенциальных пассажиров;

• количество пассажирокилометров, которые могут быть достигнуты;

• ожидаемое количество взлётно-посадочных операций;

• коэффициент занятости кресел.

Процесс прогнозирования спроса на перевозку чаще всего состоит из следующих этапов:

• генерация поездки;

• распределение поездки;

• модальное разделение;

• назначение поездки [2].

При построении модели спроса следует учитывать, включает ли модель в себя конкурентоспособные виды транспорта. Поэтому можно рассматривать модели, которые не зависят от характеристик альтернативных видов транспорта, и мультимодальные модели [3].

Самолёт является преобладающим видом транспорта на многих маршрутах дальнего следования. Поэтому спрос на авиаперевозки по дальнемагистральным маршрутам следует оценивать независимо от других видов транспорта.

Мультимодальные модели в основном используются для оценки спроса на авиаперевозки по ближнемагистральным маршрутам.

Спрос на авиаперевозки по более коротким маршрутам обычно оценивается одновременно с оценкой спроса на другие виды перевозки.

Классификация моделей спроса на авиаперевозки:

• макроскопическая модель;

• микроскопическая модель [4].

Макроскопические модели используются для оценки уровня развития авиаперевозок в определённой стране или регионе, оцениваются:

• количество пассажиров;

• количество самолётовылетов;

• количество пассажирокилометров.

Оценка микроскопических моделей:

• спрос на перевозку между двумя городами;

• пассажиропоток в аэропорту;

• количество пассажиров по определённому маршруту;

• количество пассажиров в каждом классе [5].

В макроскопической модели: спрос – это функция времени, факторы, влияющие

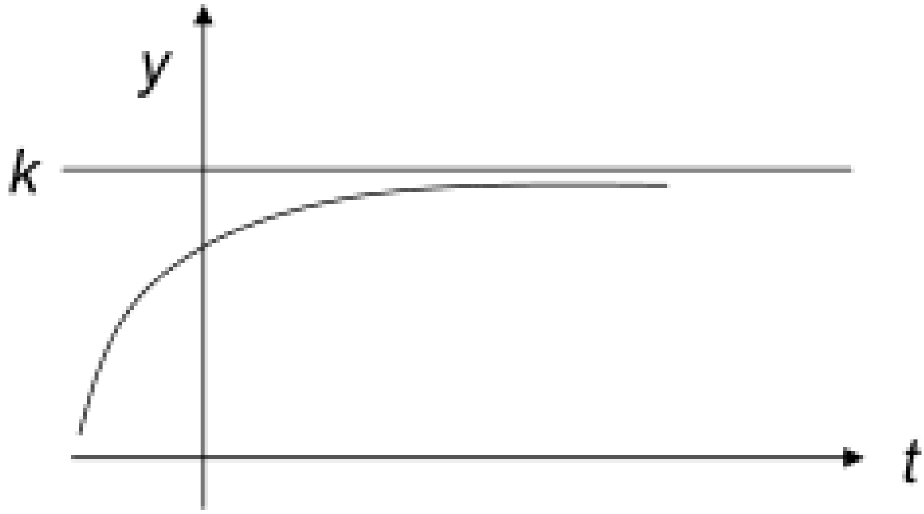

Рис. 1. Графический вид модели [9].

на количество пассажиров, не принимаются во внимание.

Модель описывается так:

$y = kt + m$, (1)

где t – время;

y – количество авиапассажиров, которое изменяется с течением времени;

k, m – параметры.

Калибровка модели может быть осуществлена методом наименьших квадратов.

На практике при моделировании различных процессов – в частности, экономических, физических, технических, социальных – широко используются те или иные способы вычисления приближенных значений функций по известным их значениям в некоторых фиксированных точках [6].

Такого рода задачи приближения функций часто возникают:

• при построении приближенных формул для вычисления значений характерных величин исследуемого процесса по табличным данным, полученным в результате эксперимента;

• при численном интегрировании, дифференцировании, решении дифференциальных уравнений и т.д.;

• при необходимости вычисления значений функций в промежуточных точках рассматриваемого интервала;

• при определении значений характерных величин процесса за пределами рассматриваемого интервала, в частности при прогнозировании [7; 8].

Если для моделирования некоторого процесса, заданного таблицей, построить функцию, приближенно описывающую данный процесс на основе метода наименьших квадратов, она будет называться аппроксимирующей функцией (регрессией), а сама задача построения аппроксимирующих функций – задачей аппроксимации [9; 10].

Модель в виде показательной функции:

$y = a \cdot b^t$. (2)

Логарифмическая форма:

$log y = log a + t \cdot log b$. (3)

При использовании полиномов различных степеней оценка параметров управления тренда производится методом наименьших квадратов (НМК) [11], точно так же, как оценки параметров уравнения регрессии на основе пространственных данных. В качестве зависимой переменной рассматриваются уровни динамического ряда, а в качестве независимой переменной – фактор времени t, который обычно выражается рядом натуральных чисел 1, 2, ..., n.

Модель в виде модифицированной экспоненциальной кривой (см. рис. 1):

$y = k + a \cdot b^t$, (4)

где $a < 0$, $b < 1$, k – фиксированный уровень насыщенности.

Прогнозирование социально-экономических явлений на основе кривых роста (кривых насыщения) стало применяться сравнительно недавно. Впервые эти методы были использованы в начале XX века для прогнозирования роста био-

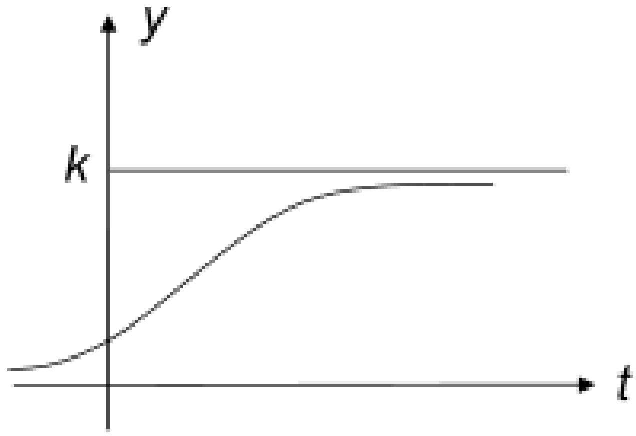

Рис. 2. Кривая Гомперца [14].

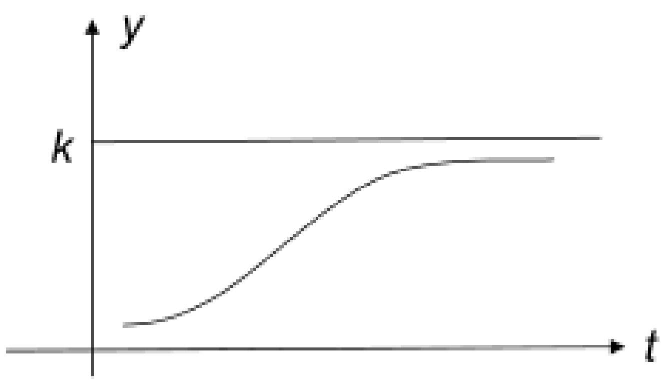

Рис. 3. Кривая Перла-Рида [14].

логических популяций. Однако кривые роста хорошо себя зарекомендовали и при прогнозировании социально-экономических явлений. Их применение в этом случае требует соблюдения определённых условий:

1. Исходный временной ряд должен быть достаточно длинным (30–40 лет).

2. Исходный временной ряд не должен иметь скачков, и тенденция такого ряда должна описываться достаточно плавной кривой.

3. Использование кривых роста в прогнозировании социально-экономических явлений может давать достаточно хорошие результаты, если предел насыщения будет определён сравнительно точно [12].

Следует отметить, что кривые роста отражают кумулятивные возрастания к определённому заранее максимальному пределу.

Особенностью кривых роста является то, что абсолютные приращения уменьшаются по мере приближения к пределу. Однако процесс роста идёт до конца.

Значение кривых роста как методов статистического прогнозирования социально-экономических явлений состоит в том, что они способствуют эмпирически правильному воспроизведению тенденции развития исследуемого явления.

Наиболее распространёнными кривыми роста, используемыми в статистической практике прогнозирования, являются кривая роста Гомперца и кривая роста Перла-Рида.

Обе кривые, в общем, похожи одна на другую и графически изображаются S-образной кривой.

Особенностью уравнений этих кривых является то, что их параметры могут быть определены методом наименьших квадратов лишь приближенно. Для расчёта параметров этих кривых используется ряд искусственных методов, основанных на разбиении исходного ряда динамики на отдельные группы [13].

Кривая Гомперца (см. рис. 2) [14]:

$$y = k \cdot a^{b^t}. \tag{5}$$

Логарифмическая форма:

$$\log y = \log k + b^t \cdot \log a. \tag{6}$$

Когда log a < 0, b < 1, k — уровень насыщенности.

Логистическая кривая, или кривая Перла-Рида (см. рис. 3):

$$y = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}. \tag{7}$$

Метод наименьших квадратов не может быть применён для оценки параметров:

- модифицированных экспоненциальных кривых;
- кривой Перла-Рида;
- кривой Гомперца.

В макроскопической модели спрос является функцией от социально-экономических характеристик.

Зависимая переменная:

- количество пассажиров;
- количество выполненных рейсов;
- количество пассажирокилометров.

Независимая переменная выбирается из социально-экономических характеристик и характеристики транспортной системы, чаще всего это социально-экономические характеристики:

- население;
- национальный доход;
- личное потребление;
- объём торговли;
- число туристов;
- характеристики транспортной системы;
- стоимость перевозки;
- скорость и время в пути.

В общем виде модель принимает следующий вид:

$$y_t = a \prod_{t=1}^{m} S_{it}^{bi} \prod_{j=1}^{n} T_{jt}^{cj}, \tag{8}$$

где m — общее количество социально-экономических характеристик;

n — общее количество характеристик транспортной системы;

y_t — количество авиапассажиров во время t;

S_{it} — значение i-й социально-экономической характеристики во время t;

T_{jt} — значение j-й характеристики транспортной системы во время t;

a; b_i; c_j — параметр.

Логарифмическая форма:

$$\log y_t = \log a + \sum_{i=1}^{m} b_i \cdot \log S_{it} + \sum_{j=1}^{n} Cj \cdot \log T_{jt}, \tag{9}$$

где a; b_i; c_j — оценка параметров.

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЕЗДОК

Когда общее число поездок, которые может генерировать регион, установлено, поездки затем распределяются.

Распределение поездок: устанавливает количество поездок между отдельными зонами.

Обычно используемые модели:

- энтропийная модель;
- гравитационная модель (аналогия с законом тяготения Ньютона):

$$f_{ij} = k \frac{A_i \cdot B_j}{d_{ij}^2}, \tag{10}$$

где f_{ij} — количество поездок между городами i и j;

k — постоянная;

A_i — «размер» города i;

B_j — «размер» города j;

d_{ij} — расстояние между городами i и j;

A_i, B_j — чаще всего принимается количество выездов или прибытий.

Проблемы в исходной гравитационной модели не удовлетворяются следующим уравнением сохранения потока:

$$\sum_{j=1}^{n} f_{ij} = a_i, \sum_{i=1}^{m} f_{ij} = b_j. \tag{11}$$

Модифицированная гравитационная модель:

$$f_{ij} = k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}), \tag{12}$$

где k_i, k_j — коэффициенты, связанные с количеством выездов и прибытий;

$f(d_{ij})$ — функция расстояния, может быть расстояние, время в пути и т.д., или сочетание различных переменных.

Так как:

$$\sum_{j=1}^{n} f_{ij} = a_i, \tag{13}$$

$$\sum_{j=1}^{n} k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}) = a_i, \tag{14}$$

$$k_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij})}. \tag{15}$$

Таким образом:

$$\sum_{i=1}^{m} f_{ij} = b_j, \tag{16}$$

$$k_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} k_i \cdot a_i \cdot f(d_{ij})}. \quad (17)$$

ЭНТРОПИЙНАЯ МОДЕЛЬ

«Как и в случае гравитационного подхода, идею построения энтропийной модели подсказала физика, а именно второй закон термодинамики, утверждающий, что любая замкнутая физическая система стремится достичь устойчивого равновесного состояния, которое характеризуется максимумом энтропии этой системы» [15; 16, с. 12]. Использование энтропийной модели, как и гравитационной, обусловлено схожестью с процессами в физике, т.е. простотой понимания их сущностного характера. Реальному распределению потока ставится в соответствие полученное в результате максимизации энтропийной функции распределение потоков. Энтропийная функция параметрически зависит от желательного для всех элементов состояния системы. Максимизация взвешенной энтропии позволяет находить не просто равновесное состояние, а определить состояние, наиболее приближенное к реальной ситуации, которое могло бы сложиться при учёте предпочтений индивидуумов. Измерение энтропии системы важно для определения динамики системы. Важной задачей системы воздушного транспорта является возможность оценки изменения энтропии системы. Показателем того, что энтропия системы растёт, является постоянный рост цен на авиаперевозку пассажиров, и как итог этого процесса происходит постепенное снижение темпов спроса.

Данные модели хорошо себя зарекомендовали сходимостью результатов моделирования с результатами натурных обследований.

ВЫВОДЫ

Модели прогнозирования спроса могут быть применимы как для изучения индивидуальных особенностей формирования спроса на перевозку, так и при изучении формирования транспортных потоков, особенно в преддверии резкого увеличения перевозок, что, например, происходит при проведении крупных спортивных мероприятий, таких как олимпийские игры или чемпионат мира по футболу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспорт в России. 2018: Стат. сб. Росстат. – Т. 65. – М., 2018. – 101 с.
2. Rodriguez, J.-P. Geography of transport systems. 5th edition. New York: Routledge, 2020, 456 p.
3. Актуальные вопросы экономических наук: Материалы III междунар. науч. конф. – Уфа: Лето, 2014. – 172 с.
4. Sivakumar, A. Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies. Imperial College, London, 2017, 32 p. [Электронный ресурс]: https://pdfs.semanticscholar.org/b5ec/260c7b2e885a2f228bd9cd5f68ed6fc101cf.pdf?_ga=2.259271945.2025433840.1588192665-2114981230.1588192665 . Доступ 19.12.2019.
5. EURO Journal on Transportation and Logistics, 2012, Vol. 1, pp. 135–155. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/article/10.1007/s13676-012-0006-9. Доступ 19.12.2019.
6. Hendry, D. F. Economic Forecasting. Nuffield College, University of Oxford. July 18, 2000, 70 p. [Электронный ресурс]: https://folk.uio.no/rnymoen/DFHForc.pdf. Доступ 19.12.2019.
7. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013. – 428 с.
8. Метод наименьших квадратов: Метод. указания / Сост. Л. В. Коломиец, Н. Ю. Поникарова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.
9. Саженкова Т. В., Пономарёв И. В., Пронь С. П. Методы анализа временных рядов: Учебно-методическое пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2020. – 60 с.
10. Casella, G., Berger, R., Santana, D. Statistical Inference. 2nd edition, Duxbury Advanced Series, Pacific Grove, CA, 2002, 210 p. [Электронный ресурс]: https://www.coursehero.com/file/27287478/Statistical-Inference-2nd-Edition-by-G-Casella-and-R-Berger-Solutionspdf/. Доступ 19.12.2019.
11. Miller, S. J. The Method of Least Squares. Mathematics Department Brown University Providence, RI 02912, 2019, pp. 1–7. [Электронный ресурс]: https://www.coursehero.com/file/36451365/MethodLeastSquarespdf/. Доступ 19.12.2019.
12. Прогнозирование социально-экономических процессов: Учебно-методическое пособие / Автор-составитель О. В. Капитанова. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 74 с.
13. Антохонова И. В. Методы прогнозирования социально-экономических процессов: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 213 с. [Электронный ресурс]: https://biblio-online.ru/bcode/444126. Доступ 19.12.2019.
14. Crescenzo, Di A., Spina, S. Analysis of a growth model inspired by Gompertz and Korf laws, and an analogous birth-death process. Mathematical Biosciences, 2016, Vol. 282, pp. 121–134. [Электронный ресурс]: https://arxiv.org/pdf/1610.09297.pdf. Доступ 19.12.2019.
15. Советов Б. Я., Сикерин А. В. Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы // Информатика и компьютерные технологии. – Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 8. – С. 21–24.
16. Власов А. А. Теория транспортных потоков: Монография. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 124 с.