УДК 656.7:658
DOI: 10.25206/1813-8225-2021-179-46-49

Д. Ю. ПОТАПОВА

Московский государственный
технический университет
гражданской авиации,
г. Москва

ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВИАКОМПАНИИ

Рассматривается вопрос повышения эффективности функционирования авиакомпаний на рынке авиационных перевозок. Разработана статистическо-математическая модель, позволяющая строить прогноз основных показателей деятельности авиакомпании. Данная модель представляет собой распределение случайной величины, плотность распределения которой описывается законом Гаусса. Показано влияние значения коэффициента корреляции на точность прогноза: средних квадратичных значений и математического ожидания прогнозируемой величины. Приведенная модель позволяет повысить точность прогноза показателей деятельности авиакомпаний.

Ключевые слова: прогноз показателей, функционирование авиакомпании, статистические характеристики, закон Гаусса, среднеквадратичное отклонение, случайная величина, радиус корреляции, точность прогноза.

В статье рассматривается один из наиболее актуальных вопросов в сфере авиационных перевозок в настоящее время — задача прогнозирования результатов производства и сбыта производимых авиакомпанией услуг. Этот вопрос был, есть и всегда будет относиться к одной из центральных проблем, требующих регулярного решения. Ключевыми критериями оценки функционирования авиакомпании являются такие показатели, как количество проданных авиабилетов и количество перевезенного груза, удачное прогнозирование которых позволяет руководству авиакомпаний принимать верные управленческие решения и выстраивать оптимальную политику компании. На количественное выражение этих величин может оказывать влияние достаточно большой спектр разнородных причин, часто не имеющих никакого отношения к проблемам авиации и самой компании, например, таких как экономическая и политическая обстановка в стране и мире, внутрикорпоративный менеджмент и разнообразные причины, возникающие в процессе функционирования авиапредприятия, погодные явления или время года, технические неисправности.

Совокупность вышеназванных факторов или единичные их проявления очень часто оказывают влияние на еще один важный показатель деятельности любой авиакомпании — на регулярность полетов, который включает в себя задержки по вылету и по прилету воздушных судов [1, 2].

В условиях современной экономики основной задачей любого предприятия, в том числе и авиакомпании, является максимизация получаемой прибыли в условиях, которые накладывают государственные и международные требования, первоочередно сохраняя высокий уровень безопасности полетов.

Для выполнения вышепоставленных задач необходима разработка прогнозов основных показателей деятельности авиакомпании, обеспечивающих большую точность и учитывающих все разнородные факторы [3, 4].

Проанализировав современные методики построения прогнозов количества перевезенных пассажиров и грузов, можно сделать вывод, что большинство из них базируются на анализе статистики этих показателей за предыдущий период. Также можно заметить, что все они базируются на определении соответствующих математических ожиданий. Однако прогноз дисперсий и математических ожиданий остается в стороне. При известных значениях этих величин можно получить более точный прогноз [5].

Также существенно повысить точность прогноза рассматриваемых величин можно, если рассмотреть и применить соответствующие плотности распределения вероятностей.

Когда речь идет о построении прогнозов для основных показателей работы авиакомпании, чаще всего массив данных представляет собой совокупность большого количества случайных событий (время и количество задержек рейсов, количество проданных авиабилетов и совершенных рейсов, масса перевезенного багажа, груза и почты, количество ВС в парке авиакомпании и т.д.) [6]. Из этого можно сделать вывод, что для построения рассматриваемых прогнозов следует опираться на теорию вероятности и математическую статистику [7].

Каждое приведенное событие также зависит от большого количества различных причин, таких как состояние экономики, а следовательно, и покупательная способность населения, ряд географических факторов, уровень межрегиональных связей, уровень развитости транспортной инфраструктуры, времени года/суток, месяца или дня недели и т.д. Очевидно, что каждый из этих факторов по отдельности вносит незначительный вклад в общую картину, и все они являются независимыми друг от друга.

Следовательно, учитывая критерии данного подхода, можно принять, что количественная оценка рассматриваемого события (деньги, вес, количество, время или др.) будет являться суммой большого числа малых слагаемых, которые возникли из-за влияния различных факторов. Исходя из этого, мы можем применить центральную предельную теорему, суть которой заключается в том, что случайная величина ξ является нормально распределенной величиной, плотность распределения вероятностей которой описывается законом Гаусса:

$$W(\xi)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(\xi-\xi_0)^2}{\sigma^2}}, \qquad (1)$$

где σ — среднее квадратичное значение случайной величины ξ; ξ_0 — математическое ожидание случайной величины ξ.

Распределению, которое описывается формулой (1), будут подчиняться различные зависимости (например, число перевезенных авиапассажиров и грузов, время задержки рейсов и т.д.) с наивысшей точностью.

Если рассмотреть случайно распределенную величину $x(t)$, зная ее статистические характеристики в момент времени t_1, то, определив ее значение в момент времени $t_2 > t_1$, мы получим необходимый статистический прогноз. Если интервал времени $\Delta_t = t_2 - t_1$ маленький, то данную задачу решают посредством двумерной плотности распределения вероятностей $W(x_1, x_2)$.

Следует отметить, что двумерная плотность $W(x_1, x_2)$ будет представлять классический двумерный закон Гаусса [8], так как одномерные плотности $W(x_1)$ и $W(x_2)$, образующие эту двумерную плотность, являют собой одномерные нормальные законы (2):

$$W(x_1,x_2)=\frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}}\times$$
$$\times\exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\begin{array}{l}\frac{(x_1-x_{01})^2}{\sigma_1^2}-\\ -2\rho\frac{(x_1-x_{01})(x_2-x_{02})}{\sigma_1\sigma_2}+\frac{(x_2-x_{02})^2}{\sigma_2^2}\end{array}\right]\right\}, \qquad (2)$$

где $\begin{cases} x_{01}=x_0(t_1)\\ x_{02}=x_0(t_2)\\ \sigma_1=\sigma(t_1)\\ \sigma_2=\sigma(t_2)\end{cases}$, ρ — коэффициент корреляции между значениями $x(t_1)=x_1$ и $x(t_2)=x_2$.

Используем для последующих расчетов теорему Байеса, которая имеет вид (3):

$$W(x_1,x_2)=W(x_1|x_2)W(x_2)=W(x_2|x_1)W(x_1), \qquad (3)$$

где $W(x_1|x_2)$, $W(x_2|x_1)$ — условные плотности распределения вероятностей.

Искомую апостериорную плотность распределения вероятностей представляется возможным записать в виде (4), используя формулу (3):

$$W(x_2|x_1)=\frac{W(x_1,x_2)}{W(x_1)}. \qquad (4)$$

Необходимо отметить, что числовые характеристики (дисперсия и математическое ожидание) одномерной функции $W(x_2)$ и двумерной функции $W(x_2|x_1)$ будут сильно отличаться из-за их принципиального различия и по назначению, и по смыслу. Введем обозначения для этих величин соответственно σ_2 и x_{02} для функции $W(x_2)$.

Запишем формулу для математического ожидания x_{002} (5):

$$x_{002}=\int_{-\infty}^{\infty}x_2W(x_2|x_1)dx_2=$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}x_2\frac{W(x_1,x_2)}{W(x_1)}dx_2=\frac{1}{W(x_1)}\int_{-\infty}^{\infty}x_2W(x_1|x_2)dx_2. \qquad (5)$$

Исходя из формулы (2), запишем выражение для $W(x_2|x_1)$. Ясно, что одномерная плотность распределения $W(x_1)$ будет представлять собой (6):

$$W(x_1)=\int_{-\infty}^{\infty}W(x_1,x_2)dx_2=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_1-x_{10})^2\right\}. \qquad (6)$$

Используя формулу (4), получим выражение (7):

$$W(x_2|x_1)=C\exp\left\{-\frac{1}{2\sqrt{1-\rho^2}}\left[\frac{(x_2-x_{02})^2}{\sigma_2^2}-2\rho\frac{(x_1-x_{01})(x_2-x_{02})}{\sigma_1\sigma_2}\right]\right\}, \qquad (7)$$

где C — постоянная интегрирования (относительно x_2). Можно сделать вывод, что искомая плотность распределения вероятности являет собой закон Гаусса, так как переменная x_2 в формуле (7) имеет место только в показателе экспоненты и носит квадратичный характер. Получим (8):

$$W(x_2|x_1)=C_1\exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\frac{x_2-x_{02}}{\sigma_2}-\rho\frac{x_1-x_{01}}{\sigma_1}\right]^2\right\}=$$
$$=C_1\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_2^2(1-\rho^2)}\left[x_2-x_{02}-\rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}(x_1-x_{01})\right]^2\right\}=$$
$$=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\left(\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}\right)}\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_2^2(1-\rho^2)}\left[x_2-x_{02}-\rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}(x_1-x_{01})\right]^2\right\}. \qquad (8)$$

Получить константу C_1, входящую в формулу (8), возможно путем сравнения со стандартным видом закона Гаусса.

Математическое ожидание для случайной величины x_2 будет иметь вид (9), исходя из формулы (8):

$$x_{002}=x_{02}+\rho\frac{\sigma_2}{\sigma_1}(x_1-x_{01}). \qquad (9)$$

Из выражения (9) получаем, что скорректировать прогноз на момент t_2 возможно, если знать

Таблица 1

Повышение точности прогноза в зависимости от значений коэффициента корреляции

ρ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k, %	0,00	0,50	2,02	4,61	8,35	13,4	20,0	28,6	40,0	63,6	100

значение случайной величины в момент времени t_1. Следовательно, скорректированной величиной x_{002} нужно заменить величину x_{02} при статистическом прогнозировании.

Если проанализировать выражение (9), становится очевидно, что первостепенное значение при корректировке прогноза выполняет значение радиуса корреляции рассматриваемого процесса ρ, беря во внимание его знак. Если радиус корреляции равен нулю, то $x_{002} = x_{02}$.

Формула (9) демонстрирует влияние средних квадратичных значений σ_1 и σ_2 на математическое ожидание прогнозируемой величины.

Взаимосвязь корректирующего слагаемого от значения среднеквадратичного отклонения σ_1^2 отображает тот факт, что при увеличении σ_2^2 и, можно сказать, полном отсутствии корреляционной связи корректирующее слагаемое будет расти и будет принимать большие значения в том случае, когда растет среднеквадратичное отклонение. Отметим, что корректировки может не быть при наличии сильной корреляционной связи и большом значении среднеквадратичного отклонения σ_1^2, но она будет заметна, если среднеквадратичное отклонение σ_1^2 мало.

От того, насколько спрогнозированное значение x_{01} отличается от фактического значения x_1 выполненного прогноза в момент времени t_1, в значительной степени зависит корректировка прогноза.

Величины x_{002} и x_{02} будут тем меньше отличаться между собой, чем корретирующее слагаемое будет меньше, а следовательно, чем точнее был выполнен прогноз.

Формулы (10), (11) отражают влияние прогнозируемой величины (дисперсии — σ_{2n}^2) на среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{2n}^2 = \overline{x_2^2} - \left(\overline{x}\right)^2 = \overline{x_2^2} - x_{002}^2, \qquad (10)$$

где

$$\overline{x}_2^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x_2^2 W\left(x_2|x_1\right)dx_2. \qquad (11)$$

Формулы (9)–(11) позволяют представить значения среднего квадратичного отклонения исследуемой величины в виде [9] (12):

$$\sigma_{2n} = \sigma_2\sqrt{1-\rho^2}\ . \qquad (12)$$

Из (12) можно сделать вывод, что, какое бы значение не принимал коэффициент корреляции (ρ≠0), мы имеем однозначное повышение точности прогноза из-за уменьшения значения дисперсии [10].

Наглядную иллюстрацию количественной связи между коэффициентом корреляции и степенью повышения достоверности прогноза — $k = 1-(\sigma_{2n}/\sigma_2)$, выраженного в процентах, содержит в себе табл. 1. Приведенный ниже рис. 1 также служит подтверждением вышесказанного.

Рис. 1. Зависимость точности прогноза от радиуса корреляции

Из рис. 1 можно сделать вывод, что значения коэффициента корреляции, равные ρ ≥ 0,4–0,45, оказывают влияние на точность прогноза.

Исходя из вышесказанного целесообразно подвергнуть анализу радиусы корреляции изменения рассматриваемых параметров со сдвигом на один год. Повысить точность прогноза можно, если получить высокие значения этого коэффициента.

Итак, прогнозирование характеристик деятельности предприятия, таких как спрос на перевозки, количество проданных авиационных билетов, средний тариф отправки пассажиров, финансовый результат от реализации перевозок, динамика количества работников и уровень оплаты труда, — это ключевая задача для управленческого аппарата и менеджмента любой авиакомпании.

Библиографический список

1. Фридлянд А. А. Финансовое положение авиаперевозчиков и актуальные задачи регулирования российского авиатранспортного рынка // Авиационный рынок: информация, новости, комментарии: информ. бюл. 1999. № 1 (84). С. 24–28.

2. Trachuk A., Linder N. Innovation and Performance: an empirical study of Russian industrial companies // International Journal of Innovation and Technology Management. 2018. Vol. 15 (3). 1850027. DOI: 10.1142/S021987701850027X.

3. Бучарт Г., Смит П. Воздушный транспорт России: старые проблемы и новые перспективы // Авиатранспортное обозрение. 2003. № 47. С. 48–50.

4. Костромина Е. В. Экономика авиакомпании в условиях рынка: моногр. 5-е изд., испр. и доп. Москва: Авиабизнес, 2005. 344 с. ISBN 5-89859-042-0.

5. Щербанин Ю. А. Использование регрессионных моделей для прогнозирования показателей пассажирских авиаперевозок // Проблемы прогнозирования. 2016. № 3 (156). С. 50–58.

6. Андронов А. М., Печенцов В. Н., Хижняк А. Н. [и др.]. Математические методы прогнозирования авиационных перевозок пассажиров. Рига: РКИИГА, 1978. 108 с.

7. Андронов А. М., Хижняк А. Н., Швацкий И. Е. [и др.]. Прогнозирование перевозок пассажиров на воздушном транс-

порте / под ред. А. М. Андронова. Москва: Транспорт, 1983. 183 с.

8. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: ЮНИТИ: ЮНИТИ-Дана, 2003. 773 с.

9. Канторович Л. В., Горстко А. Б. Оптимальные решения в экономике. Москва: Наука, 1972. 231 с.

10. Knieps G. Market versus state in building the aviation value chain // Journal of Air Transport Management. 2014. Vol. 41. P. 30—37. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2014.06.013.

ПОТАПОВА Дарья Юрьевна, старший преподаватель кафедры организации перевозок на воздушном транспорте.
SPIN-код: 5340-9052
AuthorID (РИНЦ): 1105920
Адрес для переписки: dpotapova2009@mail.ru

Для цитирования

Потапова Д. Ю. Задача прогнозирования основных показателей авиакомпании // Омский научный вестник. 2021. № 5 (179). С. 46—49. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-179-46-49.

Статья поступила в редакцию 23.09.2021 г.