

М. В. Олег

Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-4690-1632
e-mail: mikhail-oleg@mail.ru;

Р. М. Салімов — канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-3478-4072
e-mail: rsalimov@nau.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРКУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН АВІАПІДПРИЄМСТВА

Постановка проблеми

Ринкова економіка припускає структурну перебудову системи цивільної авіації, що супроводжується зміною асортиментів пропонованих послуг, які повинні задовольняти нові потреби її учасників. Цивільна авіація відіграє велику роль у розвитку економіки країни, розв'язку соціально-економічних завдань, має особливе значення для України як засіб забезпечення далеких міжнародних пасажирських перевезень. Зростаючі потреби ринку й відсутність стратегій керування, які б їх задовольняли, сприяють виникненню нового концептуального підходу до визначення зв'язків між його учасниками. Виходячи з умов функціонування ринку цивільної авіації, дослідження процесів його розвитку перестає носити фрагментарний характер і здобуває комплексну спрямованість вивчення, що полягає в розробці наукових основ об'єднання в єдине ціле його структурних елементів.

При вивченні ринку цивільної авіації необхідно використовувати системний підхід, який дозволяє розглядати об'єкт як систему й орієнтує дослідження на розкриття його цілісності, на виявлення різноманітних зв'язків у ньому та зведення їх у єдиний комплекс. Системний підхід дозволяє вичерпно описати сутність ринку цивільної авіації й дати діючі визначення основних понять.

У нашій країні цивільна авіація завжди відігравала особливу роль.

На підставі вивчення ряду наукових праць [1, 2, 3, 4] нами була здійснена спроба реалізувати підхід до визначення необхідного парку повітряних суден (ПС) авіапідприємства з позицій єдиного показника ефективності різних складових авіаційної транспортної системи.

Вирішення проблеми

Як приклад застосування цього методу розглянемо задачу визначення оптимального парку ПС авіапідприємства, у якому експлуатуються ПС як нового, так і попередніх поколінь. Задача полягає в тому, щоб визначити необхідну кількість ПС, яка б забезпечувала виконання пасажирських перевезень у розрахунковий інтервал часу із максимальним прибутком, а також економічно вигідний тип ПС для кожного маршруту. У розглянутій задачі передбачається, що маршрути обслуговують M типів ПС ($M = 3$).

Зі статистики роботи авіакомпанії відома кількість авіапасажирів b_i , яких необхідно перевести по кожному i -му маршруту за розрахунковий інтервал часу (за місяць). Усього розглядається N маршрутів (у нашому прикладі $N = 7$).

Кількість рейсів, які виконуються на i -му маршруті ПС j -го типу, позначимо x_{ij} , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$. Кількість пасажирів, перевезених за один рейс на i -му маршруті ПС j -го типу, позначимо a_{ij} . Витрати на один рейс на i -му маршруті ПС j -го типу, позначимо c_{ij} . Припустимо, що кожний маршрут обслуговують ПС усіх M типів.

Тоді, для всіх маршрутів можна записати систему обмежень:

$$\begin{cases} a_{1,1}x_{1,1} + a_{1,2}x_{1,2} + \dots + a_{1,M}x_{1,M} & = b_1; \\ a_{2,1}x_{2,1} + a_{2,2}x_{2,2} + \dots + a_{2,M}x_{2,M} & = b_2; \\ \dots & \dots \\ a_{N,1}x_{N,1} + a_{N,2}x_{N,2} + \dots + a_{N,M}x_{N,M} & = b_N. \end{cases}$$

Задача формування структури необхідного парку ПС авіапідприємства в постановці, коли потрібно мінімізувати виробничі витрати для максимізації економічної ефективності кожного

окремого ПС, тобто максимізувати його потенціал Π_{ij} (відношення корисних кінцевих результатів функціонування ПС до витрачених ресурсів) у процесі пасажирських перевезень та забезпечити виконання заданого плану повітряних перевезень має такий вигляд:

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\Omega = \begin{cases} 0.7 \leq M_{ij} \leq 0.9; 9.5 \leq H_{ij} \leq 14.0; 630 \leq L_{ij} \leq 10308; \\ 1.7 \leq \lambda_{крj} \leq 2.5; 0.4 \leq \bar{c}_j \leq 0.9; 0.3 \leq y_{срj} \leq 1.1; \\ 852 \leq W_j \leq 2200; 37.1 \leq l_{\phi j} \leq 58.8; \\ 2.9 \leq d_{\phi j} \leq 5.64; 3.5 \leq S_{м\phi j} \leq 14.13; \\ 6 \leq \lambda_{\phi j} \leq 12.8; 1.2 \leq \lambda_{нчj} \leq 2.5; 2 \leq \lambda_{хвj} \leq 4; \\ 0.4 \leq A_{гo j} \leq 0.55; 0.04 \leq A_{воj} \leq 0.12; \\ 45 \leq m_{oij} \leq 240; 2.2 \leq C_j \leq 8; \\ 0.1 \leq \gamma_j \leq 0.19; 963 \leq D_j \leq 1900. \end{cases}$$

Змінними виступають технологічні характеристики — параметр оцінки маршруту (Пр — річна продукція маршруту; $c_{пр}$ — річні витрати), параметр оцінки ПС (Вт — витрати на один тонно-кілометр):

$$\begin{aligned} 1.8 \cdot 10^4 \leq Пр_{ij} \leq 3.7 \cdot 10^4; \\ 0 \leq c_{прij} \leq 1.77 \cdot 10^4; \\ 2169.3 \leq Вт_j \leq 15277.8 \}. \end{aligned}$$

Максимальний прибуток за розрахунковий період в авіакомпанії залежить від експлуатації j -го типу ПС на i -му маршруті з мінімальними виробничими витратами:

$$c_{прij}^* = \arg \min_{\{x_{ij}\}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{прij} x_{ij}.$$

Тому необхідна структура парку ПС авіапідприємства залежить від економічної ефективності j -го типу ПС на i -му маршруті. Для того щоб ця залежність була однозначною, будемо вважати, що прибуток за розрахунковий період може змінюватись при збереженні структури перевезень.

На підставі виведених взаємозв'язків формується комплекс параметрів ефективності ПС — виробничі витрати ($c_{прij}$), у т. ч. витрата палива за годину ($C_{г}$), продуктивність ПС ($Пр_{ij}$), інтенсивність руху на i -му маршруті, які встановлюють взаємозв'язок із внутрішньою характеристикою системи — потенціалом конкретного екземпляру ПС (Π_{ij}).

де Π_{Σ} — потенціал авіапідприємства; c_{ij} — виробничі витрати на i -му маршруті ПС j -го типу. Обмеженнями Ω в нашій задачі виступають конструктивно-геометричні характеристики — подовження (фюзеляжу, крила), відносна товщина крила, питомий тиск на крило; масові характеристики — злітна маса й усі компоненти; енергетичні характеристики — витрата палива, тяга двигуна, питома вага двигуна, діаметр двигуна:

У нашій задачі потенціал ПС є лінійною функцією п'яти характеристик:

$$\Pi_{ij} = P + K\Gamma + M + E + T,$$

де P — режимні характеристики; $K\Gamma$ — конструктивно-геометричні характеристики; M — масові характеристики; E — енергетичні характеристики; T — технологічні характеристики, які розраховують за формулами:

$$P = k_{вагi} \bar{M} + k_{вагi} \bar{H};$$

$$K\Gamma = k_{вагi} \bar{l}_{кр} + k_{вагi} \bar{l}_{\phi} + k_{вагi} \bar{d}_{\phi} + k_{вагi} \bar{\lambda}_{\phi} + k_{вагi} \bar{\lambda}_{нч};$$

$$M = k_{вагi} \bar{m}_0 + k_{вагi} \bar{m}_{кн};$$

$$E = k_{вагi} \bar{C}_{час} + k_{вагi} \bar{m} + k_{вагi} \bar{\gamma}_{дв} + k_{вагi} \bar{D};$$

$$T = k_{вагi} \bar{a}_{вв} + k_{вагi} \bar{\Pi} + k_{вагi} \bar{Y},$$

де $k_{вагi}$ — ваговий коефіцієнт, закріплений за i -м параметром; \bar{M} — число Маха; \bar{H} — висота польоту у відносних одиницях; $\bar{l}_{кр}$ — довжина крила у відносних одиницях; \bar{l}_{ϕ} — довжина фюзеляжу у відносних одиницях; \bar{d}_{ϕ} — діаметр фюзеляжу у відносних одиницях; $\bar{\lambda}_{\phi}$ — подовження фюзеляжу; $\bar{\lambda}_{нч}$ — подовження носової частини; \bar{m}_0 — нормальна злітна маса ПС у відносних одиницях; $\bar{m}_{кн}$ — маса корисного навантаження ПС у відносних одиницях; $\bar{C}_{час}$ — витрата палива за годину у відносних одиницях; \bar{m} — ступінь двоконтурності двигуна; $\bar{\gamma}_{дв}$ — питома вага двигуна у відносних одиницях; \bar{D} — максимальний діаметр двигуна у відносних одиницях;

$\bar{a}_{\text{вв}}$ — виробничі витрати у відносних одиницях;
 \bar{C} — параметр оцінки маршруту у відносних одиницях; \bar{Y} — параметр оцінки ПС.

Масштабоване значення обчислюємо за формулою:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

де x_i — величина, що оцінюється; x_{\min} — мінімальне значення розглянутого параметра; x_{\max} — максимальне значення розглянутого параметра.

Виробничі витрати на один рейс на i -му маршруті ПС j -го типу:

$$c_{\text{пр}ij} = a_{ij} + a_{\text{кап.вл.}j},$$

де a_{ij} — собівартість перевезень; $a_{\text{кап.вл.}j}$ — капіталовкладення.

Продуктивність на i -му маршруті ПС j -го типу:

$$\text{Пр}_{ij} = \frac{m_{\text{ком}j}}{t_{ij}},$$

де $m_{\text{ком}j}$ — комерційне навантаження, відповідно до даної дальності польоту; t_{ij} — час польоту.

Інтенсивність руху по маршруту:

$$N = 100 \left(1 - \frac{1}{\bar{c}} \right) \sqrt{\left(\frac{1}{n} - 1 \right) \sum_{i=1}^n (\bar{c} - c_i)^2},$$

де n — кількість відібраних ПС; c_i — кількість контрольних ПС в i -й серії; \bar{c} — середньоарифметичне значення контрольного ПС.

Кількість ПС, необхідна авіапідприємству для виконання пасажирських перевезень за розрахунковий період:

$$n_{\text{н}} = \frac{Q_{ij}}{\text{Пр}_{ij} T_{ij}},$$

де Q_{ij} — обсяг виконуваних робіт за розрахунковий період; T_{ij} — наліт годин за розрахунковий період; Пр_{ij} — продуктивність ПС.

До системи обмежень додамо обмеження по кількості рейсів ПС кожного типу.

У результаті одержуємо загальну кількість рейсів на всіх маршрутах ПС j -го типу:

$$N_j = \sum_{i=1}^N X_{ij}, j = \overline{1, M}.$$

Вибір оптимального парку ПС із урахуванням експлуатаційних характеристик ПС Ω_{ij} , кількості рейсів у розрахунковий період і витрат на i -му маршруті робимо комплексно за допомогою симплекса-методу [5, с.107]. Кількість перевезених пасажирів за розрахунковий період за кожним маршрутом й прийняті позначення для кількості рейсів, які виконуються у розрахунковий період ПС j -го типу дано в табл. 1.

Таблиця 1

Кількість перевезених пасажирів

Номер маршруту	Довжина маршруту, км	Кількість перевезених пасажирів	Позначення кількості рейсів на місяць ПС j -го типу (B737-500; Embraer-175; Ту-154М)
1	3128	61488	$x_1; x_2; x_3$
2	4336	11712	$x_4; x_5; x_6$
3	4430	5856	$x_7; x_8; x_9$
4	4232	5858	$x_{10}; x_{11}; x_{12}$
5	7598	2928	$x_{13}; x_{14}; x_{15}$
6	4672	11712	$x_{16}; x_{17}; x_{18}$
7	4164	8784	$x_{19}; x_{20}; x_{21}$

Максимальна кількість пасажирів, що перевозять ПС на рейсі: B737-500 — 121; Embraer-175 — 77; Ту-154М — 170. У результаті систему обмежень можна представити у вигляді:

$$\begin{cases} 242x_1 + 154x_2 + 340x_3 = 61488; \\ 242x_4 + 154x_5 + 340x_6 = 11712; \\ 242x_7 + 154x_8 + 340x_9 = 5856; \\ 242x_{10} + 154x_{11} + 340x_{12} = 5858; \\ 242x_{13} + 154x_{14} + 340x_{15} = 2928; \\ 242x_{16} + 154x_{17} + 340x_{18} = 11712; \\ 242x_{19} + 154x_{20} + 340x_{21} = 8784. \end{cases}$$

Ціну одного рейсу B737-500 приймемо рівним одиниці, тоді ціна одного рейсу ПС Embraer-175 — 1,58 та 0,63 відповідно, а ціна одного рейсу ПС Ту-154М — 0,7 та 1,43.

З урахуванням прийнятих вище позначень цільова функція для визначення кількості рейсів на місяць для розглянутих типів ПС на всіх маршрутах і з урахуванням ціни одного рейсу для кожного типу ПС на розглянутих маршрутах має вигляд:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{\Sigma} = & 236.2x_1 + 335.0x_2 + 407.3x_3 + 101.2x_4 + 265.3x_5 + 145.0x_6 + 78.8x_7 + 50.0x_8 + 113.0x_9 + \\
 & + 175.5x_{10} + 110.5x_{11} + 251.0x_{12} + 67.5x_{13} + 42.5x_{14} + 96.5x_{15} + 50.6x_{16} + 32.0x_{17} + 87.3x_{18} + \\
 & + 50.6x_{19} + 32.0x_{20} + 43.6x_{21}.
 \end{aligned}$$

У цій цільовій функції коефіцієнти при невідомих є ціни певного типу ПС на певному маршруті. Значення цін у цільовій функції зменшені в тисячу разів, для підвищення точності розрахунків із використанням симплекс-методом.

При системі заданих обмежень і цільовій функції необхідно знайти такі значення невідомих x_{ij} , за яких значення цільової функції буде мінімальним (в умовних одиницях):

$$\Pi_{\Sigma} = 75982,9 \cdot 10^3.$$

Результат визначення структури необхідного парку ПС для авіалінії представлений у табл. 2.

Таблиця 2

Необхідний парк ПС авіапідприємства

Номер маршруту	Фактичні типи ПС, що використовуються на маршруті	Рекомендовані типи ПС	Необхідна кількість ПС
1	B737-500; Embraer-175; Ту-154М	B737-500	2
2	B737-500; Embraer-175	B737-500	1
3	B737-500	B737-500	1
4	Embraer-175	Embraer-175	1
5	B737-500	Embraer-175	1
6	B737-500; Ту-154М	Embraer-175	2
7	B737-500; Ту-154М	Ту-154М	1
УСЬОГО			9

На підставі отриманих результатів розрахунків можна зробити висновок: на маршрутах № 1, 2, 3 доцільно використовувати ПС типу B737-500; на маршрутах № 4, 5, 6 доцільно використовувати ПС типу Embraer-175; на маршруті № 7 економічно ефективно використовувати ПС типу Ту-154М.

Висновки

Таким чином, розглянутий метод дозволяє вирішувати такі завдання як пошук оптимальної кількості типів ПС у складі розрахункового авіапідприємства, визначення розподілу чисельності ПС між типами, що забезпечує вирішення завдань, покладених на конкретну авіатранспорту системи або авіапідприємство.

При цьому як критерій оптимізації значень основних властивостей ПС запропоновано використати максимум експлуатаційного потенціалу, що доводиться на одиницю повної вартості окремого екземпляру ПС. У свою чергу, отриманий результат спонукає розглядати проблему обґрунтування експлуатаційних характеристик ПС як завдання визначення такої сукупності значень основних властивостей авіаційної техніки, яка б забезпечувала її максимальну якість у складі

розрахункового авіапідприємства при забезпеченні максимальної конкурентоздатності на світовому ринку і при виконанні обмежень на термін та вартість її створення.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Методика** экономической оценки пассажирских самолетов: учебное пособие./ А. Д. Припадчев, Н. З. Султанов, Т. Н. Шаталова, О. А. Тихонова. — Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. — 126 с.
2. **Проектирование** самолетов: учебник для вузов / С. М. Егер [и др.]; под ред. С. М. Егера; науч. предисловие А. М. Матвеевко, М. А. Погосьяна, Ю. М. Шустрова. — 4-е изд.: Репр. воспр. текста изд. 1983. — М.: Логос, 2005. — 648 с.
3. **Дракин, И. И.** Основы проектирования беспилотных ЛА с учётом экономической эффективности / И. И. Дракин. — М.: Машиностроение, 1973. — 224 с.
4. **Alexander T. Wells, Seth B. Young.** Airport Planning & Management. 5th Edition. McGraw-Hill. doi:10.1036/0071436065.
5. **Hamdy A. Taha,** Operations Research: An Introduction (7th Edition) / А. Хэмди. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с. doi:10.2307/2583144

Олег М. В., Салімов Р. М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРКУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН АВІАПІДПРИЄМСТВА

У статті обґрунтовано і сформульовано метод визначення необхідного типу повітряного судна для конкретного маршруту, заснованого на розробленому алгоритмі вибору найкращого варіанта із застосуванням симплекса-методу. Запропоновано критеріальну оцінку структури необхідного парку повітряних судів, що дозволяє проаналізувати велику кількість варіантів комбінації характеристик параметрів з використанням апробованих методів дослідження: методу найменших квадратів, регресійного аналізу, факторного аналізу, лінійного програмування, економічного аналізу. Розроблена методика визначення структури потрібного парку повітряних судів на заданих маршрутах руху враховує наявність обмеженого обсягу вихідних даних про взаємозв'язок і взаємовплив виділених характеристик авіатранспортної системи, що припускає використання узагальнених статистичних даних або прогнозованих розв'язків. Сумарна похибка у цьому випадку приводить до втрати чіткості граничних значень розподілу за маршрутами.

Ключові слова: повітряне судно; авіапідприємство; льотно-технічні характеристики; потенціал.

Oleg M. V., Salimov R. M.

OPTIMIZATION OF PARK OF AIRCRAFTS OF AIRLINE

In the article we substantiate and formulate method of determining the required type of aircraft for a particular route based on the developed algorithm of choosing the best option with the use of the simplex method. We proposed a criterion to evaluate the structure of the required fleet of aircraft allows to perform a large number of variants of combinations of describing parameters using approved methods of study: method of least squares, regression analysis, factor analysis, linear programming, economic analysis. The technique of determining the structure of the required fleet of aircraft on the specified routes takes into account the presence of a limited amount of source data on the relationship and mutual influence of the selected characteristics of the air transport system, which involves the use of statistical data or projected solutions. The total error in this case leads to loss of definition of the boundary values of the distribution routes.

Key words: aircraft; airline; flight characteristics; potential.

Олег М. В., Салімов Р. М.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДЕН АВИАПРЕДПРИЯТИЯ

В статье обоснован и сформулирован метод определения необходимого типа воздушного судна для конкретного маршрута, основанного на разработанном алгоритме выбора наилучшего варианта с применением симплекса-метода. Предложенная критериальная оценка структуры необходимого парка воздушных судов позволяет проанализировать большое число вариантов сочетаний характеризующих параметров с использованием апробированных методов исследования: метода наименьших квадратов, регрессионного анализа, факторного анализа, линейного программирования, экономического анализа. Разработанная методика определения структуры необходимого парка воздушных судов на заданных маршрутах движения учитывает наличие ограниченного объема исходных данных о взаимосвязи и взаимовлиянии выделенных характеристик авиатранспортной системы, что предполагает использование обобщенных статистических данных или прогнозируемых решений. Суммарная погрешность в этом случае приводит к потере четкости граничных значений распределения по маршрутам.

Ключевые слова: воздушное судно; авиапредприятие; лётно-технические характеристики; потенциал.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2017 р.

Прийнято до друку 28.02.2017 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. О. А. Тамаргазін