

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ «ХАБ-ХАБООБРАЗУЮЩАЯ АВИАКОМПАНИЯ»

Гужа Е.Д., Романенко В.А., Скороход М.А.

*Россия, г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева*

**Аннотация:** рассмотрена задача оптимизации системы трансферных воздушных перевозок на базе узлового аэропорта (хаба), предполагающая совместный поиск параметров расписания движения самолетов и численности аэропортовых средств обслуживания перевозок, обеспечивающих минимальные финансовые потери группы предприятий «хаб-хабообразующая компания».

**Ключевые слова:** узловой аэропорт, авиакомпания, технико-экономическая модель, трансферный пассажиропоток.

Основной задачей узлового аэропорта (хаба) является увеличение доли трансферных перевозок, которое может быть достигнуто путем предоставления пассажирам комфортного времени пересадки. При этом наличие ограничений на временные характеристики процесса организации перевозок приводит к необходимости оптимизации расписания движения воздушных судов (ВС) в хабе, носящего волновой характер [1]. Моменты времени прибытия и отправления рейсов в рамках волны должны быть выбраны с учетом минимизации убытков авиакомпании, которые связаны с отказами трансферных пассажиров от перевозки. Необходимость одновременного обслуживания большого числа ВС требует увеличения пропускной способности структурных элементов аэропорта, что приводит к росту его затрат. Расписание движения ВС должно позволять максимально эффективно распределять ресурсы авиапредприятий.

Оптимизация расписания узлового аэропорта рассмотрена в [2], где критерием выступает минимизация убытков авиакомпании от ухода трансферных пассажиров, учитываются экономические интересы только перевозчика. На практике при стратегическом планировании развития аэропорта необходимо учитывать потребности не только хабообразующей авиакомпании, но и хаба. С учетом этого далее решается задача оптимизации

системы перевозок в узловом аэропорту, которая предполагает моделирование системы трансферных перевозок, содержащей ряд элементов.

### 1. Модель входящих потоков ВС и пассажиров.

Рассматривается волна прибытий-отправлений  $K$  ВС. Трансферная авиасвязь  $ij$  соединяет два периферийных аэропорта через хаб, где  $i$  – номер прибывающего,  $j$  – вылетающего ВС. ВС прибывают в хаб в моменты времени  $\vec{t}^a = (t_k^a)_{K \times 1}$  и вылетают в  $\vec{t}^d = (t_k^d)_{K \times 1}$ . Продолжительность волны ограничена величиной  $T$ :

$$0 \leq t_k^a \leq T, \quad 0 \leq t_k^d \leq T, \quad k = 1, \dots, K \quad (1).$$

Численность начальных пассажиров определяется вектором  $\vec{w}^H = (w_1^H, w_2^H, \dots, w_K^H)$ . Потенциальный трансферный пассажиропоток задается матрицей  $V^T = \|v_{ij}^T\|_{K \times K}$ . Реальный трансферный пассажиропоток на каждой авиасвязи будет отличаться от потенциального на величину несостоявшихся трансферных перевозок ( $\Delta V^T = \|\Delta v_{ij}^T\|_{K \times K}$ ). Предпочтения трансферных пассажиров в отношении величины длительности пребывания в узловом аэропорту определяются трапецеидальной функцией желательности. [3]

### 2. Модель общего технологического процесса обслуживания рейсов.

Главным компонентом модели процесса аэропортового обслуживания ВС является модельный технологический график, где  $A = \{\alpha_b, b = 1, \dots, B\}$  – множество операций, оказывающих наибольшее влияние на продолжительность пребывания ВС в хабе. Их длительность зависит от категории ВС и степени загруженности рейсов. Наличие трансферных пассажиров предполагает смещение момента времени вылета ВС на продолжительность ожидания –  $\vec{\tau}^{OЖ} = (\tau_1^{OЖ}, \tau_2^{OЖ}, \dots, \tau_K^{OЖ})$ . [2]

По количеству ВС, их категориям, временам прилета, трансферной матрице модель общего технологического процесса обслуживания рейсов позволяет определять ключевые моменты технологических операций  $T'$ , общую продолжительность обслуживания и моменты вылета  $K$  ВС. Кроме того,

рассчитывается вектор  $\bar{n}^d = (n_k^d)_{K \times 1}$ ,  $d = 1, \dots, D$  – потребной численности и производительности ресурсов, необходимых для обслуживания перевозок, где  $d$  – тип ресурса, задействованного на соответствующей операции.

3. Техничко-экономическая модель расчета затрат аэропорта на обеспечение требуемой пропускной способности системы обслуживания перевозок.

Годовая величина затрат ( $E$ ) зависит от потребной численности и производительности ресурсов аэропорта и затрат на их приобретение и эксплуатацию:

$$E = \sum_{d=1}^D n_d \cdot \left[ \frac{S_d}{T_d} + 12 \cdot L_d L_d^{cm} S_d^{3П} (1 + k_{CB}) + k_d^э S_d \right],$$

где  $n_d$  – потребное число средств  $d$ -го типа,  $S_d$  – первоначальная стоимость средства  $d$ -го типа,  $T_d$  – амортизационный срок службы техники  $d$ -го типа,  $L_d$  – сменная численность персонала, обслуживающего средство  $d$ -го типа,  $L_d^{cm}$  – число рабочих смен, использующих средство  $d$ -го типа,  $S_d^{3П}$  – средняя месячная зарплата работника, обслуживающего средство  $d$ -го типа,  $k_{CB}$  – ставка страховых взносов,  $k_d^э$  – доля годовых расходов на содержание и амортизацию технического средства  $d$ -го типа от его первоначальной стоимости.

Наибольшее влияние на величину годовых затрат оказывает первоначальная стоимость ресурсов, которую можно определить путем анализа рынка аэропортовой и аэродромной техники и оборудования. Исключением является СОБ, структура которой уникальна для каждого аэропорта, а стоимость зависит от ее технико-технологических характеристик и параметров. [4]

4. Модель расчета убытков от несостоявшихся трансферных перевозок.

Убытки ( $D$ ) авиакомпании, связанные с уходом трансферных пассажиров, неудовлетворенных временем стыковки рейсов:

$$D = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \Delta v_{ij}^T \cdot \Delta c_{ij}^T,$$

где  $\Delta v_{ij}^T$  – количество трансферных пассажиров, отказавшихся от перевозки на авиасвязи  $ij$ ,  $\Delta c_{ij}^T$  – убыток авиакомпании, приходящийся на одного пассажира на авиасвязи  $ij$ , отказавшегося от трансферной перевозки из-за некомфортного времени пребывания в хабе.

Описанные модели в совокупности достаточно полно отражают процесс функционирования узлового аэропорта. Предложенный алгоритм можно представить в виде оператора  $Y$ , который устанавливает зависимость:

$$(\vec{t}^d, \vec{n}^d, E, D) = Y(\vec{t}^a, V^T, \vec{w}^H, T', \vec{\tau}^{OЖ}, S_d, T_d, L_d, L_d^{cm}, S_d^{3П}, k_{CB}, k_d^Э).$$

Критерием оптимизации принимается минимум суммы затрат аэропорта на обеспечение требуемой пропускной способности системы обслуживания перевозок и убытков авиакомпании от несостоявшихся трансферных перевозок:

$$C = E + D \rightarrow \min$$

Минимальному значению общих затрат соответствуют оптимальные значения элементов векторов  $\vec{t}^a$  и  $\vec{\tau}^{OЖ}$ . Учитываются следующие ограничения:

- 1) на продолжительность волны прилетов вылетов (1);
- 2) на временные интервалы между взлетно-посадочными операциями на аэродроме, которые, согласно требованиям безопасности воздушного движения, не должны быть меньше заданного минимума.

Задача оптимизации заключается в поиске таких  $\vec{t}^a$  и  $\vec{\tau}^{OЖ}$ , которые при заданных  $V^T, \vec{w}^H, T', S_d, T_d, L_d, L_d^{cm}, S_d^{3П}, k_{CB}, k_d^Э$  обеспечивают минимум затрат и убытков (1) и удовлетворяют ограничениям. Для решения задачи применимы известные методы математического программирования.

Оптимизация позволяет составлять график прилетов и вылетов ВС, максимально сохраняя трансферный пассажиропоток при наименее возможной численности и производительности ресурсов.

Оценку эффекта оптимизации можно осуществить путем сравнения оптимального значения целевой функции с величиной  $C$ , рассчитанной до оптимизации. Результаты проведенных экспериментов с различными исходными данными показали правомерность постановки задачи и

адекватность разработанной методики. Предложенный алгоритм оптимизации является достаточно гибким и может быть адаптирован под различные условия.

### **Список литературы**

1. Danesi, A. Spatial concentration, temporal coordination and profitability of airline hub-and-spoke networks / A. Danesi. – Bologna: Bologna University Press, 2006. – 143 p.

2. Гужа, Е.Д. Оптимизация расписания узлового аэропорта с учетом численности и производительности его ресурсов / Е.Д. Гужа, В.А. Романенко // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – №2 – С. 80-85.

3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

4. Романенко, В.А. Технико-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта / В.А. Романенко, М.А. Скороход // Проблемы экономики современных промышленных комплексов. Финансирование и кредитование в экономике России: методологические и практические аспекты: сборник научных статей X Всероссийской научно-практической конференции. – Самара, 2015. – №10 – С. 53-64.

### **OPTIMIZATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF SYSTEM «A HUB – A HUB-FORMING AIRLINE»**

E.D. Guzha, V.A. Romanenko, M.A. Skorokhod

*Russia, Samara National Research University*

**Abstract:** the problem of optimization of transfer air transport system based on the hub-and-spoke airport (hub) which involves joint search of parameters of the aircraft movement schedule and the number of airport transportation service facilities that provide the minimum financial losses of the group of companies «a hub – a hub-forming airline» is considered.

**Keywords:** hub-and-spoke airport, airline, technical and economic model, transfer passenger traffic.

### **References**

1. Danesi, A. Spatial concentration, temporal coordination and profitability of airline hub-and-spoke networks / A. Danesi. – Bologna: Bologna University Press, 2006. – 143 p.

2. Guzha, E.D. Hub airport timetable optimization considering number and productivity its resources / E.D. Guzha, V.A. Romanenko // Control Systems and Information Technology. – 2016. – Vol. 2 – pp. 80-85.

3. Adler, Yu.P. Planning an experiment in the search for optimal conditions / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovsky. – Moscow: Science, 1976. – 279 p.

4. Romanenko, V.A. Technical and economic model of airport baggage handling system / V.A. Romanenko, M.A. Skorokhod // Problems of the Economics of Modern Industrial Complexes. Financing and lending in the Russian economy: methodological and practical aspects: A collection of scientific articles of the X All-Russian Scientific and Practical Conference. – Samara, 2015. – Vol.10 – pp. 53-64.