

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССТАНОВКИ ПАРКА ВС НА РЕЙСЫ АВИАКОМПАНИИ

Л.В. ПАВЛОВА¹

¹МГТУ ГА, г. Москва, Россия

Предметом исследования настоящей статьи является процесс планирования авиаперевозок и методы его моделирования. В работе рассмотрены структура и основные этапы планирования авиаперевозок (планирование расписания, расстановка воздушных судов на рейсы, управление доходами и операционное планирование), обозначена специфика каждого из них, а также их взаимосвязь друг с другом. Одной из ключевых задач планирования авиаперевозок является расстановка парка воздушных судов (ВС) на рейсы. Оптимальное решение данной задачи позволяет увеличить доход авиакомпании в среднем на 3 % за счет улучшения качества стыковок и выполнения запланированного количества рейсов меньшим количеством ВС. Для проведения критического анализа выбрана традиционная модель FAM (Conventional leg-based FAM – Flight Assignment Model) назначения типов ВС на рейсы. Модель является сегментно-ориентированной. В ходе изучения модели FAM будут обозначены основные ограничения задачи, а также возможные их расширения, определены параметры и независимая переменная. В статье проведен критический анализ модели FAM с целью обозначения возможных вариантов и ограничений ее использования (например, для случаев краткосрочного и долгосрочного планирования, при изменении расписания или замене ВС), а также предложены возможные пути улучшения модели.

Ключевые слова: планирование авиаперевозок, исследование операций, традиционная модель FAM, расстановка парка ВС, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Залогом успешной деятельности авиакомпаний является грамотное планирование воздушных перевозок. Процесс планирования авиаперевозок может быть представлен в срезе следующих шагов [1, 2]:

- планирования расписания движения ВС (schedule generation);
- назначения парка ВС на рейсы (fleet assignment);
- расстановки бортов по маршрутам (maintenance routing);
- составления расписания для экипажей (crew scheduling);
- управления доходами (revenue management);
- операционного планирования (operations).

На этапе планирования расписания движения ВС определяется маршрутная сеть авиакомпании – пары городов/аэропортов, между которыми будут осуществляться перелеты, а также время/график выполнения рейсов.

Следующим шагом является присвоение конкретных типов ВС полетным сегментам, основанное на имеющихся данных о спросе и технических характеристиках топливной эффективности типа ВС для данного направления. После назначения типов ВС следует расстановка бортов каждого типа ВС по рейсам с учетом выполнения всех процедур технического обслуживания.

Составление расписания для экипажей заключается в разработке оптимального графика работы кабинных экипажей по критерию уменьшения расхода времени экипажей, не используемого для выполнения полетов (ночевки вне базы, длительные ожидания в аэропорту, сверхурочные работы).

Управление доходами осуществляется в два этапа: ценообразование, а затем выработка оптимальной стратегии продаж. В основе данной задачи лежит идея сегментации спроса, направленная на увеличение дохода за счет разделения покупателей на классы и назначения разной цены для продуктов отдельного класса.

И наконец, завершающая фаза этапа планирования авиаперевозок – операционное планирование, обеспечивающее выполнение различных видов работ в день совершения рейса. Эта стадия характеризуется большой вероятностью возникновения различных сложно прогнозируемых факторов – погодных условий, технических проблем ВС и пр.

Задача назначения типов ВС на рейсы является одной из ключевых при планировании авиаперевозок, включающей в себя множество сложно вычисляемых параметров, характеризующих авиационную индустрию. Оптимальное решение данной задачи позволяет увеличить доход авиакомпании в среднем на 3 % [4] за счет улучшения качества стыковок и выполнения запланированного количества рейсов меньшим количеством ВС.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССТАНОВКИ ПАРКА ВС

Рассмотрим традиционную сегментно-ориентированную модель назначения типов ВС на рейсы (Conventional leg-based FAM – Flight Assignment Model) [2].

Целью оптимизации расстановки парка ВС по рейсам является максимизация дохода от расстановки парка ВС по разработанному расписанию.

Для данной задачи существуют три очевидных ограничения.

1. Количество бортов по типам ВС в распоряжении авиакомпании.
2. Для каждого набора {аэропорт, временной интервал, тип ВС} должно выполняться равенство между количеством прибывших и отправленных рейсов.
3. На каждый полетный сегмент назначаются ВС одного типа.

Зачастую авиакомпании расширяют список ограничений критериями, связанными с операционной деятельностью и особенностью задач планирования, решаемых на следующих этапах.

Для наглядности изобразим задачу схематически (см. рисунок). Стрелки обозначают прибытия и отправления рейсов и бортов ВС в рассматриваемом аэропорту. Узлы определяют время и место (аэропорт) действия.

На основании представленной схемы была разработана модель FAM, предложенная в 1995 году Хейном и уточненная в 2006 году Смитом и Джонсоном [2].

Поставим задачу.

Определим множество параметров, которые будут использоваться в модели:

A – множество аэропортов;

J – множество полетных сегментов в расписании авиакомпании;

F – множество типов ВС в парке авиакомпании;

T – множество прилетов и вылетов;

$Re(i)$ – множество полетных сегментов для i -го типа ВС, пересекающих линию перехода на следующие сутки;

$IN(i,a,t)$ – множество полетных сегментов, входящих в $\{i,a,t\}$;

$OUT(i,a,t)$ – множество полетных сегментов, исходящих из $\{i,a,t\}$.

Определим искомую переменную:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \in F, \\ 0, & \text{если } i \notin F, \end{cases}$$

где G_{iat^+} отражает количество ВС типа $i \in F$ в аэропорту $a \in A$ во время после наступления момента $t \in T$;

G_{iat^-} отражает количество ВС типа $i \in F$ в аэропорту $a \in A$ во время до наступления момента $t \in T$.

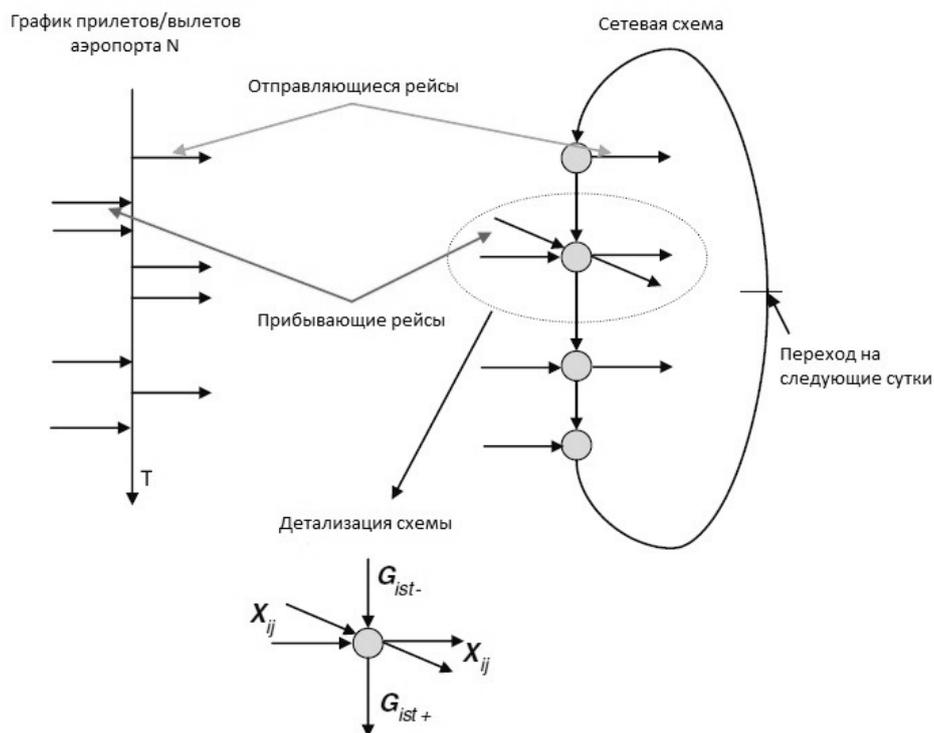


Схема сегментно-ориентированной модели FAM

Определим параметры задачи.

R_{ij} отражает ожидаемые доходы при назначении ВС типа $i \in F$ на полетный сегмент типа $j \in J$ и является функцией ожидаемого спроса, потока пассажиров и дохода на одного пассажира.

C_{ij} отражает ожидаемые операционные расходы при назначении ВС типа $i \in F$ на полетный сегмент типа $j \in J$.

NP_i – количество доступных ВС типа $i \in F$.

Таким образом, целевая функция примет вид

$$\max P = \sum_{j \in J} \sum_{i \in F} (R_{ij} - C_{ij}) \cdot x_{ij} \quad (1)$$

С учетом ограничений:

$$\sum_{j \in \text{Re}(i)} x_{ij} + \sum_{s \in S} G_{is0^-} \leq NP_i, \forall i \in F, \quad (2)$$

$$G_{iat^-} - G_{iat^+} + \sum_{j \in \text{IN}(i,a,t)} x_{ij} - \sum_{j \in \text{OUT}(i,a,t)} x_{ij} = 0, \forall i \in F, a \in A, t \in T, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in F} x_{ij} = 1, \forall j \in J, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i \in F, \forall j \in J, G_{iat} \geq 0, \forall i \in F, a \in A, t \in T. \quad (5)$$

Равенство (2) отражает ограниченность ресурсов – количество ВС при планировании не должно превышать имеющегося количества ВС.

Равенство (3) отражает условие равенства количества прибывающих и отправляющихся рейсов в аэропорту за определенный отрезок времени t . ВС может прибыть в аэропорт из друго-

го аэропорта в предыдущий момент времени $t - 1$. Время события – это момент прибытия или отправления ВС или их комбинация для данного аэропорта.

(4) отражает ограничение на каждый полетный сегмент при назначении ВС определенного типа.

(5) отражает ограничение, определяющее условие бинарности переменной x , а также условие неотрицательного количества ВС в аэропорту в момент времени t .

Анализ использования модели FAM

Традиционная модель назначения типов ВС на рейсы (1)–(5) может использоваться как для долгосрочного планирования расписания, так и для краткосрочного. В зависимости от ситуации, сложившейся в авиакомпании, данная модель может быть использована для долгосрочного планирования ежедневного или еженедельного расписания.

Часто в процессе планирования авиакомпаниям необходимо сократить или расширить их расписание в связи с сезонными особенностями, связанными с падением спроса в начале зимнего периода или его ростом в летний и праздничный периоды. В таких ситуациях использование модели FAM позволит сделать выбор при пересмотре назначения типа ВС для обеспечения высоких показателей прибыли за счет менее прибыльных рейсов.

Для сокращения расписания модель FAM может работать в упрощенном режиме («reduction mode»), в котором мы допускаем, что ограничение (4) частично упраздняется и работает при условии меньше или равно, это позволит отфильтровать рейсы, которые не приносят прибыли.

Подобным образом упрощенная модель FAM может быть использована для определения больших провозных емкостей ВС по некоторым направлениям на время сезона повышенного спроса. Реализуется это следующим образом: перестраивается расписание и дополняется набором рейсов, которые не были запланированы при составлении расписания. Обновленная версия расписания используется в качестве исходных данных для модели FAM в упрощенном режиме для исключения наименее доходных рейсов из расписания.

Следует отметить, что в обоих описанных выше случаях авиакомпании следует расширить модель рядом ограничений, связанных с операционной деятельностью, для предотвращения нежелательных результатов. Обычно это – допустимая (или необходимая) частота полетов и количество исключенных рейсов в целом. Это позволит избежать радикального сокращения расписания в погоне за доходностью. В данном случае важно помнить, что при изменении расписания меняются и параметры доходов/затрат, в связи с чем необходимо выполнять корректировку параметров R_{ij} и C_{ij} .

Модель FAM (1)–(5) требует точного отражения доходов и расходов, связанных с каждой возможной комбинацией типа ВС/полетный сегмент рассматриваемой модели. Эти доходы и расходы зависят от первоначального расписания, используемого для прогнозирования спроса и пассажирских перевозок. Упразднение (даже частичное) ограничения (4) ставит под угрозу точность этих прогнозов и общих оценок доходов и расходов. Многие перевозчики пытаются ограничить этот нежелательный эффект путем итеративного обновления прогнозируемых доходов и расходов (R_{ij} и C_{ij}), чтобы обеспечить более точные результаты. Тем не менее эта проблема выходит за рамки сокращения расписания. Помимо прочего, параметры доходов и расходов могут также зависеть от состава транзитных пассажиров.

В результате одним из усовершенствований для FAM предложено учитывать параметры, отражающие поток транзитных пассажиров, а также пересматривать доходную составляющую в связи с сокращением расписания.

В рамках краткосрочного планирования FAM может быть использована для перепланировки расстановки ВС с учетом графика работы cabinных экипажей, а также для разработки

«переходного» расписания от одного сезона к другому. Для этого достаточно в качестве исходных данных принять новое сезонное расписание. Чтобы построить расписание сезонного перехода в качестве исходного расписания для FAM используются оба объединенных расписания.

Резюмируя сказанное выше, следует отметить, что основной проблемой leg-based FAM (1)–(5) является отсутствие интеграции с этапом управления доходами (revenue management).

Расширенные модели FAM

Для решения задачи интеграции этапа управления доходами и процесса назначения парка ВС на рейсы существует несколько возможных подходов.

Рассмотрим основные из них.

Ряд методов был выработан в процессе перехода от сегментно-ориентированного подхода к маршрутно-ориентированному подходу – Original-destination Passenger-based Fleet Assignment Model (ODFAM). Данное расширение модели FAM не предполагает прямой интеграции Revenue Management (RM) в модель FAM ввиду сложности практической реализации такого решения. Однако предполагается использование следующих методов:

– для каждого возможного распределения FAM оцениваются пассажиропоток и доходы и производится назначение типов ВС, не превышающее доступных провозных емкостей. Важно отметить, что в этом случае требуются значительные вычислительные мощности для проведения расчетов и анализа (подобные расчеты занимают порядка 40 минут [2]);

– предлагается осуществлять управление доходами по каждому из отдельных сегментов маршрута. По сути, не FAM интегрируется в RM, а RM строится на базе FAM. Однако данный способ не позволяет оценить доходность по всей маршрутной сети, так как приводит к тому, что кривая доходности становится выпуклой, что означает повышение краткосрочных доходностей, но снижение долгосрочных;

– декомпозиция маршрутной сети на подсети, которые максимально изолированы друг от друга (что означает отсутствие общих сегментов, либо их минимальное количество). После разделения маршрутной сети на такие подсети, для каждой подсети производится распределение парка ВС на основе модели FAM, а затем оценка пассажиропотока и доходности на основе симуляционного моделирования по методу Монте-Карло. Данный подход позволяет добиться наибольшей точности результатов.

Существует еще одно расширение модели FAM – Itinerary-based Fleet Assignment Model (IFAM). Эта расширенная модель стала результатом интеграции моделей FAM и PPM (Passenger Mix Model). PPM позволяет службам авиакомпании прогнозировать пассажирский спрос по сети маршрутов авиакомпании, основываясь на сегментации рынка, тарифах и принимая во внимание не только прямой пассажирский поток, но и поток трансферных пассажиров, доходность, тарифную политику компании и пр. Цель PPM – поиск оптимального маршрутно-ориентированного распределения пассажиров, обеспечивающего максимальную доходность либо минимальные потери при негативном сетевом эффекте (сетевой эффект – показатель влияния рейса (сегмента) на маршрутную сеть в целом при изъятии данного рейса). Использование модели IFAM позволяет повысить эффективность планирования авиаперевозок до 25 % [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрена структура процесса планирования авиаперевозок. Представлена и проанализирована традиционная модель расстановки парка ВС по типам (Conventional leg-based FAM). Данная модель пригодна для моделирования как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Она позволяет проводить оценку и оптимизацию решения назначения типов ВС на рейсы в случае расширения/сокращения расписания авиакомпании, а также оптимизировать процесс назначения типов ВС при смене сезонного расписания. Однако глав-

ным ее недостатком является то, что в ней не предусмотрены факторы, формирующиеся на этапе управления доходами, такие как сегментация рынка и тарифов на авиаперевозки. В связи с этим предложены возможные варианты расширения модели (ODFAM, IFAM) с целью обеспечения интеграции процесса расстановки парка ВС на рейсы и процесса управления доходами, что позволит повысить качество планирования авиаперевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ageeva Y. Approaches to incorporating robustness into airline scheduling. Master Thesis, Operations Research center, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
2. Barnhart C., Smith B. Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry. A Modeling Methodology Handbook. Springer, 2012.
3. Виноградов Л.В., Фридман Г.М., Шебалов С.М. Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: формулировки и методы решения типовых задач // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Прикладная математика. Информатика. 2008. № 132.
4. Виноградов Л.В., Фридман Г.М., Шебалов С.М. Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: перспективы развития и эффект от использования // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Прикладная математика. Информатика. 2008. № 132.
5. Курочкин Е.П., Дубинина В.Г. Управление коммерческой деятельностью авиакомпании. М.: Авиабизнес, 2009.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Павлова Лариса Владимировна, аспирант кафедры ВМКСС МГТУ ГА, электронный адрес: pavlova.larisa.v@gmail.com.

FLEET ASSIGNMENT MODELLING

Larisa V. Pavlova

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia,
pavlova.larisa.v@gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to the airline scheduling process and methods of its modeling. This article describes the main stages of airline scheduling process (scheduling, fleet assignment, revenue management, operations), their features and interactions. The main part of scheduling process is fleet assignment. The optimal solution of the fleet assignment problem enables airlines to increase their incomes up to 3 % due to quality improving of connections and execution of the planned number of flights operated by less number of aircraft than usual or planned earlier. Fleet assignment of scheduling process is examined and Conventional Leg-Based Fleet Assignment Model is analyzed. Finally strong and weak aspects of the model (SWOT) are released and applied. The article gives a critical analysis of FAM model, with the purpose of identifying possible options and constraints of its use (for example, in cases of short-term and long-term planning, changing the schedule or replacing the aircraft), as well as possible ways to improve the model.

Key words: Airline scheduling, operations research, fleet assignment, leg-based FAM, modelling.

REFERENCES

1. Ageeva Y. Approaches to incorporating robustness into airline scheduling. Master Thesis, Operations Research center, Massachusetts Institute of Technology, 2000.

2. Barnhart C., Smith B. Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry. A Modeling Methodology Handbook. 2012.

3. Vinogradov L.V., Fridman G.M., Shebalov S.M. Mathematical methods for airline planning. Moscow, 2008. (in Russian)

4. Vinogradov L.V., Fridman G.M., Shebalov S.M. Mathematical modeling for optimization problems in air industry: future developments and network effect. Moscow, 2008. (in Russian)

5. Kurochkin E.P., Dubinina V.G. Airline business management. Moscow, 2009. (in Russian)