

Таблица 2. Оптимальные параметры расписания

| № аэропорта отправления | Группа ВС | Категория перевозки | Время прилета, мин | Время вылета, мин | Длительность стоянки, мин |
|-------------------------|-----------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| 1                       | 2         | МВЛ                 | 0                  | 108               | 108                       |
| 2                       | 1         | МВЛ                 | 19                 | 121               | 102                       |
| 3                       | 2         | ВВЛ                 | 25                 | 115               | 90                        |
| 4                       | 1         | МВЛ                 | 19                 | 121               | 102                       |
| 5                       | 1         | ВВЛ                 | 0                  | 119               | 119                       |
| 6                       | 1         | ВВЛ                 | 0                  | 118               | 118                       |
| 7                       | 1         | ВВЛ                 | 25                 | 114               | 89                        |
| 8                       | 1         | ВВЛ                 | 25                 | 113               | 88                        |
| 9                       | 2         | ВВЛ                 | 25                 | 110               | 85                        |
| 10                      | 1         | ВВЛ                 | 0                  | 115               | 115                       |

Решающее влияние на оптимизируемые параметры веерной схемы перевозок оказывает наличие отклонений прилетов ВС от расписания. Так, учет нерегулярности движения ВС в аэропорту Курумоч приводит к увеличению как среднего времени пребывания трансферных пассажиров в аэропорту (на 15%), так и перронного времени обслуживания ВС (на 14%).

В целом, результаты моделирования свидетельствуют о принципиальной технологической реализуемости полномасштабных трансферных перевозок с использованием в качестве хаба аэропорта с малой или средней пропускной способностью.

УДК 658.5.012.122 : 519.876.5

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФЕРНЫМИ АВИАПЕРЕВОЗКАМИ НА БАЗЕ НАПРАВЛЕННОГО ХАБА**

Потапов И.В., Романенко В.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва  
(национальный исследовательский университет), г. Самара

Рассмотрено решение комплекса задач оптимального управления пассажирскими авиаперевозками на базе хаба «направленного» типа путем сведения их к частично целочисленной задаче линейного программирования значительной размерности. Под хабом (узловым аэропортом) понимается аэропорт, выполняющий функции пересадочного узла, на базе которого одна или несколько авиакомпаний формируют маршрутную сеть типа «ось-спицы». Расписание движения воздушных судов (ВС) в пределах рассматриваемой маршрутной сети («веерное расписание») реализует волновой принцип, предполагающий наличие в течение непродолжительного интервала времени большого числа сначала прибывающих в хаб, а затем – отправляющихся из хаба рейсов.

Направленным считается хаб, расположенный между двумя группами периферийных аэропортов на примерно равном от них расстоянии. Маршрутная сеть «ось-спицы» на основе направленного хаба, строится таким образом, чтобы полеты ВС начинались в периферийном аэропорту «по одну сторону» от хаба, а заканчивались – «по другую сторону» от него.

Оптимизация управления трансферными авиаперевозками на базе направленного хаба требует совместного решения следующих оптимизационных подзадач:

1) расстановки ВС по авиалиниям с учетом величин прямых и трансферных пассажиропотоков;

2) определения числа рейсов, выполняемых ВС в течение недели;

3) распределения рейсов по интервалам времени, соответствующим волнам их прибытий-отправлений в хабе.

Задача оптимизации управления перевозками на базе хаба, охватывающая перечисленные подзадачи, формулируется следующим образом. С учетом уровня спроса на прямые и трансферные перевозки на заданной сети авиалиний «ось-спицы» распределить по рейсам имеющиеся в наличии ВС нескольких типов, сформировать их графики оборота на основе веерного расписания хаба, обеспечив максимальную суммарную прибыль от выполнения транспортных операций.

Для решения поставленной задачи используются методы математического программирования. В накладываемых на задачу ограничениях выделяются две группы, первая из которых связана с числом пассажиров различных категорий, обслуживаемых в хабе, а вторая – с требованиями, предъявляемыми к маршруту движения ВС в рамках веерного расписания и частотам перевозки.

В первую группу входят ограничения на:

- суммарное число пассажиров, следующих через хаб из нескольких аэропортов, отправленных из хаба одним рейсом на определенном ВС в течение определенной волны;
- суммарное число пассажиров, следующих через хаб в несколько аэропортов, прибывших в хаб одним рейсом на определенном ВС в течение определенной волны;
- суммарное число начальных, конечных и трансферных пассажиров хаба;
- равенство отправок и прибытий трансферных пассажиров в хабе на определенной трансферной авиасвязи в течение одной волны.

Вторая группа содержит ограничения на:

- минимальное недельное число рейсов на авиасвязи «хаб – определенный периферийный аэропорт»;
- минимальную недельную частоту перевозки на трансферной авиасвязи «периферийный аэропорт А – хаб – периферийный аэропорт В».

Помимо перечисленных ограничений, вторая группа включает условия:

- отсутствия в маршруте ВС разрывов и прямых участков, связывающих два периферийных аэропорта
- совпадения пункта начала и конца маршрута движения ВС.

В качестве модельного примера рассмотрена система трансферных перевозок, сформированная на основе направленного хаба, прообразом которого служит аэропорт Храброво (г.Калининград, РФ). На базе указанного аэропорта авиакомпанией «КДавиа» в 2007-2009 гг. выполнялись массовые пассажирские трансферные перевозки между аэропортами РФ и Западной Европы. В модельном примере использованы скорректированные данные о распределении пассажиропотоков аэропорта и стоимостные характеристики авиарейсов по основным авиасвязям. Рассмотрены возможности использования авиапарка в составе ВС, способных выполнять не менее двух парных рейсов в любой из периферийных аэропортов в течение суток.

Пример недельного графика оборота четырех ВС, сформированного в результате решения задачи оптимизации приведен в табл.1. Строка таблицы отражает маршрут движения одного ВС в течение недели. Столбец соответствует временному интервалу, в течение которого возможен полет в одном направлении по авиалинии «хаб - периферийный аэропорт». В таблице  $b$  – номер ВС,  $d$  – номер волны прилетов-вылетов в хабе. Аэропорты РФ обозначены порядковыми номерами 0-5 (номер «0» имеет хаб), зарубежные аэропорты – 6-10.

Таблица 1. Модельный оптимальный график оборота ВС

| $d \backslash b$ | 1 | 2 | 3  | 4 | 5 | 6 | 7  | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |   |   |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |
|------------------|---|---|----|---|---|---|----|---|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|
| 1                | 2 | 0 | 6  | 0 | 1 | 0 | 6  | 0 | 4 | 0  | 6  | 0  | 6  | 0  | 8 | 0 | 5 | 0 | 8  | 0 | 5 | 0 | 10 | 0 | 3 | 0 | 8 | 0 | 2 |
| 2                | 3 | 0 | 9  | 0 | 3 | 0 | 10 | 0 | 5 | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 4 | 0 | 1 | 0 | 6  | 0 | 4 | 0 | 10 | 0 | 5 | 0 | 7 | 0 | 3 |
| 3                | 1 | 0 | 10 | 0 | 5 | 0 | 8  | 0 | 3 | 0  | 7  | 0  | 10 | 0  | 9 | 0 | 4 | 0 | 10 | 0 | 2 | 0 | 6  | 0 | 1 | 0 | 9 | 0 | 1 |
| 4                | 4 | 0 | 7  | 0 | 2 | 0 | 7  | 0 | 1 | 0  | 7  | 0  | 9  | 0  | 6 | 0 | 3 | 0 | 7  | 0 | 3 | 0 | 7  | 0 | 2 | 0 | 6 | 0 | 4 |

Решение серии оптимизационных задач для различных сочетаний исходных данных позволило оценить влияние на целевую функцию таких факторов как уровень потенциального спроса, величина авиатарифов, наличие ограничений на минимальные частоты перевозки, численность и состав авиапарка и др. Оптимизация численности и состава парка ВС по критерию максимума операционной прибыли обеспечила увеличение прибыли в модельном примере на 29%. При этом коэффициент занятости возрос до 93%, доля «перевезенных» пассажиров составила около 81% от потенциального спроса, а доля трансферного пассажиропотока снизилась до 19% от общего пассажиропотока. Результатом решения рассмотренной задачи явилась также серия оценок влияния планового уровня рентабельности, задаваемого перевозчиком при расчете тарифов, на целевую функцию (прибыль), а также на такие значимые параметры системы перевозок как недельное число рейсов, коэффициент занятости мест, доля трансферных пассажиров в общем пассажиропотоке хаба и др. Программным средством реализации описанной выше оптимизационной модели послужил пакет IBM ILOG OPL, использование которого даже на типовых ПЭВМ не приводило к чрезмерным затратам машинного времени. Описанная методика решения рассмотренной задачи, являющейся одной из составных частей общей проблемы совместной оптимизации параметров трансферной схемы перевозок и узлового аэропорта, позволяет сформировать сквозной алгоритм разрешения указанной проблемы.

УДК 55.49.81

### МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИБОРНОЙ ПАНЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Сафин А.И., Макарянц Г.М., Вякин В.Н., Иголкин А.А., Крючков А.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Сотовая конструкция (СК) – это многослойная конструкция, состоящая из двух обшивок — несущих слоев (А), соединённых сотовым наполнителем (В) и окантованных по периметру элементами каркаса. Название «сотовый» наполнитель получил за наиболее распространённую шестигранную структуру, сходную с пчелиными сотами (Рисунок 1). СК применяются, в основном в авиа - и ракетостроении и предназначены для восприятия и передачи распределённых нагрузок, действующих на элементы конструкции летательного аппарата. СК выполняет также и специальные функции: звукоизоляционные, демпфирующие, теплозащитные, радиопрозрачные, аэродинамические. СК используются для изготовления обтекателя ракеты-носителя (РН), приборных панелей космического аппарата (КА).