

Таблица 1. Минимальная численность обслуживающих средств и персонала

Интенсивность потока, ВС/ч	3		4		5		6		7	
	(факт)		(прогноз)		(прогноз)		(прогноз)		(прогноз)	
$t_{ож}$ , мин	10	2	10	2	10	2	10	2	10	2
Транспортеры багажа	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11
Трапы	14	14	16	17	18	19	20	21	22	23
Авиатопливозаправщики	6	7	7	8	8	8	8	9	9	10
Багажные карусели	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8
Стойки регистрации	12	13	15	15	16	17	18	19	20	21
Бригады технического обслуживания	8	9	10	10	11	11	11	12	13	13
Бригады уборщиков	6	7	7	8	8	8	8	9	9	10

Таким образом, имитационная модель технологических процессов обслуживания перевозок является эффективным инструментом комплексной оптимизации, анализа и прогнозирования параметров производственных комплексов аэропорта как сложной стохастической системы.

УДК 656.7:338; 656.7:658

## ПРОБЛЕМА СОВМЕСТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УЗЛОВОГО АЭРОПОРТА И ВЕЕРНОЙ СХЕМЫ ПЕРЕВОЗОК

Потапов И.В., Романенко В.А.

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

Система авиаперевозок через узловой аэропорт (хаб) имеет ряд особенностей, одна из которых – «веерное» расписание движения воздушных судов (ВС), предполагающее синхронное прибытие, обслуживание и отправление многих рейсов в узловом аэропорту. Эта особенность требует проведения комплексной оптимизации параметров узловой схемы, состоящей в совместном решении трех задач:

- 1) управления перевозками (расстановки ВС по авиалиниям, привязки рейсов к волнам прибытия-отправления в хабе);
- 2) формирования оптимального расписания волны, минимизирующего время пребывания трансферных пассажиров в хабе;
- 3) оптимизации параметров системы обслуживания перевозок хаба, обеспечивающей необходимый уровень пропускной способности его комплексов при заданном качестве обслуживания и минимуме затрат.

Ниже рассмотрены только те из перечисленных выше задач, на решение которых может оказывать влияние узловой аэропорт, как обеспечивающая подсистема веерной схемы перевозок. Поскольку на практике решение первой задачи является прерогативой авиакомпании, а не аэропорта, то эта задача из указанной совокупности может быть исключена. В этом случае рассматриваемая проблема сводится к задаче многокритериальной оптимизации, формулируемой следующим образом. Необходимо определить параметры веерного расписания и численность аэропортовых средств обслуживания перевозок, обеспечивающие минимум длительности пребывания пассажира в аэропорту и стоимости аэропортового обслуживания при заданных ограничениях по качеству обслуживания.

Под параметрами качества обслуживания понимаются расчетная продолжительность

ожидания обслуживания требованием (ВС, пассажира, места багажа)  $t_p$  и надежность обеспечения указанной продолжительности  $P_p$  для каждой технологической операции.

Учет ограничений по качеству обслуживания и использование ряда допущений позволяет свести задачу к однокритериальной (критерий – стоимость аэропортового обслуживания), имеющей единственное квазиоптимальное решение.

Попытка непосредственного решения задачи даже в однокритериальной постановке требует неприемлемых затрат машинного времени. Выход состоит в декомпозиции однокритериальной задачи с выделением в ней следующих трех подзадач.

Подзадача 1. Оптимизация расписания по критерию минимума среднего времени пребывания в хабе трансферных пассажиров для фиксированных минимальных значений времени наземного обслуживания ВС и стыковочного времени. Результат решения подзадачи – совокупность значений времени прилетов и вылетов рейсов в хабе.

Подзадача 2. Определение минимального времени наземного обслуживания ВС и минимального стыковочного времени для пар рейсов, характеризующихся различными сочетаниями категорий перевозки, типов выполняющих рейсы ВС и т.п.

Подзадача 3. Определение приближенно-оптимального числа перронных и терминальных средств обслуживания перевозок для полученных в ходе решения двух первых подзадач параметров расписания и временных характеристик хабовых операций. Метод решения подзадачи 1 – математическое программирование; подзадач 2 и 3 – компьютерное моделирование на базе имитационной модели аэропорта.

Алгоритм решения общей задачи носит итеративный характер и предусматривает циклический переход от подзадачи 1 к подзадаче 3 с последующим возвратом к подзадаче 1.

В качестве модельного примера рассмотрена совместная оптимизация параметров узловой схемы перевозок, теоретическая возможность реализации которой существует на базе аэропорта Курумоч. С использованием статистических данных по трансферным пассажиропотокам аэропорта отобраны 10 прямых авиасвязей с городами РФ и ближнего зарубежья, обеспечивающих наибольшее число трансферных пассажиров.

В таблице 1 приведено полученное приближенно-оптимальное число средств обслуживания для различных его этапов. Параметры качества обслуживания одинаковы для всех операций:  $t_p = 5$  мин,  $P_p = 0.95$ .

Таблица 1. Приближенно-оптимальное число средств обслуживания

Средства обслуживания	Число средств
Места стоянки ВС	10
Средства транспортировки багажа	7
Пассажирские трапы	10
Средства транспортировки пассажиров (автобусы)	6
Средства заправки ВС авиатопливом (сервисеры)	7
Средства выдачи багажа (карусели, транспортеры)	8
Стойки регистрации	14
Бригады технического обслуживания ВС	10
Бригады уборки ВС	7
Средства досмотра багажа (интроскопы)	3

Полученные с использованием данных таблицы 1 приближенно-оптимальные моменты времени вылета и прилета самолетов приведены в таблице 2. За начало отсчета здесь принят наиболее ранний момент времени прилета рейса.

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;