

УДК 004.45

Трубачев Д.С., Савкова Е.О.Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗА ПО ВОЗДУШНЫМ СУДАМ В
ПРЕДЕЛАХ ОДНОЙ АВИАКОМПАНИИ****Аннотация**

Трубачев Д.С., Савкова Е.О. Распределение груза по воздушным судам в пределах одной авиакомпании. Рассмотрены особенности и проблемы задачи оптимизации распределения груза по воздушным судам в пределах одной авиакомпании. Определены и проанализированы основные характеристики, влияющие на результат. Разработана модель транспортировки груза авиакомпанией.

Ключевые слова: воздушное судно, авиатранспортные перевозки, слот, транспортировка, цепочки рейсов, платный вес, летные и грузовые характеристики.

Введение: В настоящий момент все больше компаний в сфере торговли нуждаются в услугах по транспортировке товара. В конкурентной борьбе выигрывает компания с минимальными транспортными издержками. Актуальность данной проблемы подтверждается тем, что по оценкам экспертов до 50% всех затрат в торговле связано с транспортными расходами.[1] По скорости выполнения и расстоянию авиаиндустрия не имеет конкурентов в транспортировке груза. Для повышения собственной прибыли, в сложившейся ситуации, авиакомпании хотят сократить расходы на собственные услуги за счет рационального использования собственных ресурсов и организации производства.

Авиаиндустрия является быстрорастущей отраслью, авиакомпаниям требуются решения множества вопросов для обеспечения конкурентоспособности, для предоставления клиентам лучшего сервиса. Возникающие проблемы весьма сложны, некоторые до сих пор не могут быть решены в полном виде и решаются поэтапно: главным сдерживающим фактором является недостаток вычислительных мощностей. Количество параметров и ограничений, которые необходимо учесть при решении задач в авиаиндустрии достигают десятков, что приводит к сложностям при разработке системы.

Методы математического моделирования и исследования операций успешно применяются в задачах планирования авиатранспортных перевозок уже более 50 лет. Традиционно выделяют четыре основные области: планирование расписания движения воздушных судов (ВС), управление

доходами, планирование наземных операций обслуживания, управление процессами в день выполнения рейсов.

Постановка задачи: Каждая авиакомпания имеет определенный перечень «слотов», на которых она может реализовать авиарейсы. Этот факт ограничивается правовыми актами государства. Разделяют летний и зимний полупериод. Распределение воздушных коридоров производится за месяц или более до начала полупериода. Все авиакомпании мира должны сформировать свои списки слотов и заверить их в Центральном банке расписания и слотов в последнюю неделю октября и в последнюю неделю апреля.[2] Для задачи построения расписания данный факт является ограничением по направлению и времени вылета самолетов. Данное ограничение можно обойти при выполнении рейса от имени другой авиакомпании по договоренности.

Авиакомпания предоставляет услуги транспортировки груза во все точки земного шара, где есть условия для посадки их самолета. Чаще всего для выполнения определенного заказа на транспортировку груза, самолет совершает определенную последовательность рейсов, которая называется «цепочкой рейсов». Иногда данные цепочки выполняются разными самолетами, что увеличивает затраты на доставку груза, за счет оплат по перемещению груза между ВС. Второстепенной проблемой, которую необходимо решить, является минимизация затрат на трудовые ресурсы. Данную задачу можно решить за счет выполнения всей цепочки рейсов одним авиалайнером.

Любой груз имеет свою ценность для авиакомпании. Авиакомпания несет ответственность за транспортировку груза без физических и химических изменений. Ценность груза определяется в зависимости от классификации груза[3]:

1. Срочный груз

1.а. Груз оперативной срочности

1.б. Груз рыночной срочности

2. Обычный груз (самый дешевый и конкурентно возможный)

3. Несрочный скоропортящийся груз. Этот груз требует специального погрузочно-разгрузочного оборудования, холодильных камер. Выделяют два субсегмента:

3.а. Физически скоропортящийся груз (цветы, фрукты, морепродукты);

3.б. Экономически скоропортящийся груз (товар с коротким жизненным циклом: газеты, аудио- и видеозаписи, модная одежда).

Кроме этих характеристик груз имеет платный вес. Платный вес определяется наибольшим из значений между физическим и объемным весом груза. Объемный вес Q определяется по формуле:

$$Q = \frac{V}{K}, \quad (1)$$

где V - объем груза в кубических метрах;

K – коэффициент, равный 0,006.

Выше перечисленные параметры определяются в договоре на транспортировку.

Эта характеристика необходима для распределения груза по ВС. Возможности каждого ВС ограничены летными и грузовыми характеристиками. К летным характеристикам относится: дальность полета, расход топлива, размер бака, цена эксплуатации. К грузовым характеристикам относятся: ограничения по объему груза, грузоподъемность ВС.

Ограничения на груз, который может расположиться на борту самолета, определяются требуемым объемом каждого груза и грузоподъемностью ВС.

Летные характеристики ВС создают ограничения на выполнения цепочек рейсов отдельным бортом.

При формировании расписания грузовых авиаперевозок необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы. Из-за многочисленных параметров, влияющих на составление расписания ВС вытекает задача автоматизации этого процесса, решение которой позволит уменьшить трудовые затраты, затраты на топливо, на эксплуатацию ВС, затраты на погрузку.

Целью работы является разработка СППР для составления оптимального расписания ВС по перевозке груза в пределах одной авиакомпании.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- разработка математической модели процесса формирования расписания для авиаперевозок груза
 - анализ параметров процесса формирования расписания для авиаперевозки груза
 - выбор структуры системы
 - разработка процесса формирования расписания для авиаперевозки груза
- Данная статья посвящена решению первой задачи.

Обзор подзадачи «распределения грузов по ВС»

Выше были указаны 2 основные задачи формирования расписания грузовых авиаперевозок:

- распределение груза по ВС
- формирование цепочек рейсов для каждого ВС.

Рассмотрим первую задачу, поскольку вторая задача решается на основе первой.

В каждом аэропорту имеется груз, ожидающий транспортировки. Количество груза, его вес, размер указываются в накладной на перевозку груза. Кроме этого в накладной указывается цена транспортировки, которая вычисляется в пунктах приема груза и зависит от типа груза. Каждое ВС

характеризуется грузоподъемностью и летными характеристиками, которые определяют возможные перелеты без пересадок и расход топлива.

Необходимо перевезти груз в указанный пункт назначения при заданных величинах требуемой перевозки груза (вес и затраченная цена), выбрав для него определенный тип ВС, получив максимальную прибыль от транспортировки.

Решение данной задачи позволит рационально использовать воздушные ресурсы (ВР), что, в свою очередь, минимизирует затраты на топливо и эксплуатацию воздушных судов. Математическая формализация такой задачи выполнена в работе [4] и приводится далее. Согласно этой формализации для решения требуемой задачи нам необходимы такие данные:

A - Множество аэропортов (индекс a) ;

L – множество всех рейсов (индекс l);

P – множество всех классов грузов (индекс p);

F – множество типов самолетов (индекс f);

T – множество моментов времени отправления и прибытия рейсов расписания (индекс t);

CL(f) – множество рейсов, пересекающих «нулевую линию»

I(f,a,t) - множество прибывающих рейсов в аэропорт a в момент времени t на самолете типа f;

O(f,a,t) – множество вылетающих рейсов из аэропорта a в момент времени t на самолете типа f;

Параметры задачи:

rev_p – доход от накладных класса груза $p \in P$

N_f – количество имеющихся в распоряжении самолетов типа $f \in F$

Cap_f – вместимость ВС, назначенного на рейс $f \in F$

$C_{f,i}$ – затраты на полет по рейсу $i \in L$ самолета типа $f \in F$

\square_p – спрос на продукт $p \in P$

Неизвестные в данной задачи, которые необходимо найти:

$$x_{f,i} = \begin{cases} 1, & \text{если самолет } f \in F \text{ назначен на рейс } i \in L \\ 0, & \text{в других случаях} \end{cases}$$

$y_{f,a,t+}$ – количество самолетов типа $f \in F$ аэропорта непосредственно после момента времени $t \in T$

$\square_{f,a,t}$ – количество самолетов типа $f \in F$ аэропорта $a \in A$ непосредственно до момента времени $t \in T$

$alloc_p$ – вес всего груза, отдельного класса $p \in P$.

Функция цели:

$$\sum_{p \in P} rev_p * alloc_p - \sum_{f \in F} \sum_{i \in L} C_{f,i} * x_{f,i} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Первое слагаемое представляет собой доход от перевозки груза, т.е. сумму полученных за транспортировку условных денег. Второе слагаемое функции цели представляет собой суммарные затраты на все полеты самолетов, назначенных на рейсы данного расписания.

Необходимо найти $x_{f,i}, alloc_p$, при которых функция цели будет максимальна, с учетом ограничений:

Условия покрытия:

$$\sum_{f \in F} x_{f,i} = 1, \quad (3)$$

при этом $\forall i \in L$

На каждый рейс должен быть назначен только один самолет одного из имеющихся типов.

Условие баланса:

$$y_{f,a,t-} + \sum_{i \in I(f,a,t)} x_{f,i} - y_{f,a,t+} - \sum_{i \in O(f,a,t)} x_{f,i} = 0, \text{ при } \forall f, a, t. \quad (4)$$

Количество самолетов, находящихся в аэропорту непосредственно до момента времени t и приземлившихся в этот момент, равно количеству самолетов, которые могут вылететь из этого аэропорта после момента времени t , плюс самолеты, которые в нем останутся.

Использовать можно не больше, чем имеешь:

$$\sum_{a \in A} y_{f,a,0} + \sum_{i \in CL(f)} x_{f,i} \leq N_f \text{ при } f \in F. \quad (5)$$

Для каждого типа самолетов количество бортов, находящихся в аэропорту да начального момента, и количество пересекающих линию подсчета не должно превышать количество самолетов данного типа в парке авиакомпании.

Условие ограниченной вместимости:

$$\sum_{p \in i} alloc_p \leq \sum_{f \in F} Cap_f x_{f,i} \quad (6)$$

Для любого рейса вес всего груза, класса p , на который назначен самолет типа f , не может быть больше грузоподъемности самолета.

Дополнительные ограничения:

$$x_{f,i} \in \{0,1\}, \text{ при } \forall f \in F, \forall i \in L; \quad (7)$$

$$y_{f,a,t} \geq 0, \text{ при } \forall f, a, t. \quad (8)$$

Для решения задачи оптимизации можно использовать следующие методы[5]:

- полный перебор
- метод ветвей и границ
- метод динамического программирования
- генетический алгоритм.

Вывод: В результате разработана математическая модель, состоящая из критериальной функции и ограничений на основные параметры. В дальнейшем планируется исследование характеристик и разработка алгоритмов решения задачи.

Список литературы

1. Виноградов Л.В., Шебалов С.М. , Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: формулы и методы расчетов типовых задач

2. Технология формирования сезонного расписания регулярных и стыковочных авиарейсов ИАТА / Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/ URL: http://www.fly-jet.biz/tech.php](http://www.fly-jet.biz/tech.php) - Загл. с экрана.

3. Федосин С.А., Есин Ю.Д. Прогнозирование спроса на рынок авиаперевозок, ГОУВПО Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск.

4. Зернова Н.А., Носова Е.В. , Фридман Г.М. Оперативная расстановка парка воздушных судов по рейсам, связанная с изменениями данных по спросу // Экономическая кибернетика: Сб. науч. тр. 2009. Вып. 19. с. 164-168.

5. Задача о рюкзаке/ Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Задача_о_рюкзаке](http://ru.wikipedia.org/wiki/Задача_о_рюкзаке) - Загл. с экрана.