

Министерство образования Российской Федерации

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева

Б.А. Титов, Е.В. Семьянов

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ
СУДОВ НА ЗАДАННОЙ СЕТИ АВИАЛИНИЙ**

Учебное пособие

Самара 2002

Рассматривается методика оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний по критерию минимальной себестоимости доставки груза. Применяется уточненный расчет летных характеристик самолета на этапах взлета, набора высоты, крейсерского полета, снижения и посадки, учитывающий наличие ветровой составляющей скорости. Учитываются также затраты времени на движение воздушных судов по рулежным дорожкам, а также время занятости взлетно-посадочной полосы и длительность стоянки в промежуточных аэропортах. Затем происходит расчет себестоимости доставки груза. При решении оптимизационной задачи на сети авиалиний применен метод ветвей и границ для целочисленного линейного программирования (Пакет Экономических Расчетов - ПЭР).

В качестве примеров расчета летных характеристик воздушных судов и решения задачи их оптимального распределения на заданной сети авиалиний использованы летно-технические данные самолетов Ту-154А, Ту-204, Як-42, MD-87.

В приложении приводится необходимый справочный материал по воздушным судам для самостоятельной работы студентов, а также варианты расчетных заданий.

Пособие предназначено для студентов специальности 130100, выполняющих курсовую работу по курсу «Логистики» в рамках специализации «Организация перевозок и управление на воздушном транспорте».

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1.	Проблема оптимального распределения парка воздушных судов на заданной сети авиалиний.....	
1.1	Критерии оптимальности.....	
1.2	Факторы, влияющие на время доставки груза	
1.3	Постановка задачи	
2.	Определение времени доставки груза воздушным судном.....	
2.1	Расчет времени занятости воздушных судов на авиалинии.....	
2.2	Расчет длительности стоянки и времени занятости взлетно-посадочной полосы.....	
2.3	Затраты времени на движение воздушных судов по рулежным дорожкам.....	
2.4	Общая методика расчета времени доставки груза воздушными судами.....	
2.5	Автоматизация расчета времени доставки грузов самолетами.....	
3.	Задача оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний.....	
3.1	Математическая формулировка задачи.....	
3.2	Сведение исходной задачи к стандартной транспортной задаче...	
3.3	Выбор алгоритма решения задачи.....	
4.	Определение себестоимости доставки груза	
4.1	Расчет себестоимости доставки груза.....	
4.2	Автоматизация расчета себестоимости доставки груза.....	
5.	Решение задачи оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний.....	

Список использованных источников.....	
Приложение А.....	
Приложение Б.....	
Приложение В.....	

1. ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ЗАДАННОЙ СЕТИ АВИАЛИНИЙ

1.1 Критерии оптимальности

При исследовании эффективности использования гражданской авиации применяют пять типов критериев оптимальности: минимальное время полета, минимальная стоимость выполнения рейса, максимальная регулярность полетов, максимальная коммерческая нагрузка, минимальный удельный расход авиатоплива.

В данном учебном пособии рассматривается проблема оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний по критерию себестоимости доставки груза. Для этого используется уточненный расчет времени доставки груза и расчет себестоимости летного часа самолета в условиях эксплуатации.

1.2 Факторы, влияющие на время доставки груза

Среди факторов, влияющих на время доставки груза, можно выделить конструктивные и эксплуатационные. К эксплуатационным факторам относятся атмосферные условия (температура и давление воздуха, скорость и направление ветра), состояние взлетно-посадочной полосы (ВПП), взлетная масса самолета и т.п. Влияние ветра на время полета рассчитывается следующим образом – вначале определяется время полета в безветрии:

$$t_n = t_{в.взл.} + t_{наб.} + t_m + t_{сн.} + t_{в.пос.} \quad (1.1)$$

С учетом ветра время полета изменяется в отношении

$$t_n(W_{э.}) = t_n|_{W_{э.}=0} \cdot \frac{1}{1 - W_{э.}/V} \quad (1.2)$$

где $t_n|_{W_{э.}=0}$ - время полета в безветрии;

$W_{э.}$ - скорость эквивалентного встречного ветра;

V - воздушная скорость самолета.

Поскольку аэродинамические силы, и, прежде всего подъемная сила, определяются воздушной скоростью самолета, то при ветре скорость отрыва относительно земли будет

$$V_{W.omp} = V_{omp} - W ,$$

где W - скорость ветра, положительная при встречном ветре.

Тогда длина разбега при ветре будет

$$L_{p.W} = L_{p.} \Big|_{W=0} \left(1 - \frac{W}{V_{omp}} \right)^2 .$$

Попутный ветер увеличивает длину разбега, длину пробега, посадочную скорость, встречный – уменьшает.

Скорость самолета относительно земли, так называемая *путевая скорость* $V_{п}$, равна векторной сумме скорости воздушной V (скорости самолета относительно воздуха) и скорости ветра W (рисунок 1.1).

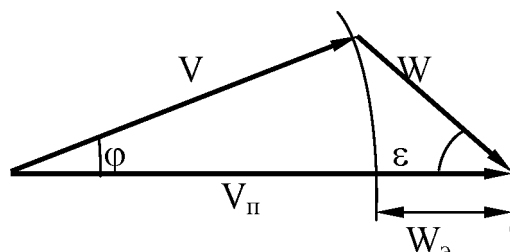


Рисунок 1.1 – Влияние ветра на путевую скорость

В общем случае вектор скорости ветра составляет с вектором путевой скорости так называемый *угол ветра* ε . Чтобы выдержать заданное направление полета, летчик, учитывая влияние ветра, должен вести самолет таким образом, чтобы вектор воздушной скорости V составлял с заданным направлением полета угол φ , называемый *углом сноса*.

Угол сноса определяется из треугольника скоростей по теореме синусов:

$$\sin \varphi = \frac{W}{V} \sin \varepsilon . \tag{1.3}$$

Следовательно, чем больше отношение скорости ветра к воздушной скорости и чем больше $\sin \varepsilon$, тем больше угол сноса. При прочих равных условиях наибольший угол сноса будет при $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$.

Величина путевой скорости из треугольника скоростей определяется соотношением

$$V_n = V \cos \varphi + W \cos \varepsilon = V \left[\sqrt{1 - \left(\frac{W}{V}\right)^2 \sin^2 \varepsilon} + \frac{W}{V} \cos \varepsilon \right]. \quad (1.4)$$

Влияние ветра на величину путевой скорости оценивается в расчетах величиной скорости эквивалентного ветра W_{ε} , определяемой из равенства

$$V_n = V + W_{\varepsilon}. \quad (1.5)$$

Отсюда, используя соотношение (1.4), получаем

$$W_{\varepsilon} = V \cos \varphi + W \cos \varepsilon - V. \quad (1.6)$$

Величина и направление скорости ветра вдоль трассы полета подвержены пространственно-временным изменениям, для приближенного учета которых определяется эквивалентный ветер по трассе. В первом приближении трассу l разделяют на n отдельных участков длиной l_i , в пределах которых скорость эквивалентного ветра можно считать постоянной. Тогда для всей трассы скорость эквивалентного ветра определяется как сумма:

$$W_{\varepsilon} = \sum_{i=1}^n W_{\varepsilon i} \frac{l_i}{l}. \quad (1.7)$$

Здесь учтена только пространственная неравномерность. Чтобы убедиться, что даже такой приближенный подсчет дает достаточно надежные результаты, проанализируем влияние скорости полета, скорости и угла ветра на величину скорости эквивалентного ветра. Для этого из формулы (1.6) исключим величину угла сноса φ , воспользовавшись соотношением (1.3):

$$W_{\varepsilon} = W \cos \varepsilon - V + \sqrt{V^2 - W^2 \sin^2 \varepsilon}. \quad (1.8)$$

Тогда для приращения скорости эквивалентного ветра получим

$$\Delta W_{\varepsilon} = \frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial W} \Delta W + \frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial \varepsilon} \Delta \varepsilon, \quad (1.9)$$

где

$$\frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial V} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{W}{V} \sin \varepsilon\right)^2}} - 1; \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial W} = \cos \varepsilon - \frac{\frac{W}{V} \sin^2 \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{W}{V} \sin \varepsilon\right)^2}}; \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial W_{\varepsilon}}{\partial \varepsilon} = -W \sin \varepsilon \left(1 + \frac{\frac{W}{V} \cos \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{W}{V} \sin \varepsilon\right)^2}} \right). \quad (1.12)$$

Первое слагаемое в выражении (1.9) позволяет оценить влияние изменения скорости полета на величину эквивалентного ветра. Подсчеты показывают, что изменение скорости полета в довольно широких пределах мало сказывается на величине эквивалентного ветра даже при $\varepsilon = \pm \frac{\pi}{2}$ (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Зависимость скорости эквивалентного ветра от скорости полета при $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ ($V = 800$ км/ч).

ΔV , км/ч	W=50 км/ч		W=100 км/ч		W=200 км/ч	
	ΔW_{ε} , км/ч	$\frac{\Delta W_{\varepsilon}}{V}$, %	ΔW_{ε} , км/ч	$\frac{\Delta W_{\varepsilon}}{V}$, %	ΔW_{ε} , км/ч	$\frac{\Delta W_{\varepsilon}}{V}$, %
100	0,15	0,02	0,62	0,07	2,50	0,28
100	0,26	0,04	1,04	0,15	4,32	0,62
200	0,25	0,02	1,01	0,10	4,13	0,41
200	0,70	0,12	2,82	0,48	12,10	2,02

Данные таблицы 1.1 позволяют сделать вывод, что величина эквивалентного ветра, подсчитанная для скорости полета 800 км/ч, с достаточной точностью справедлива для широкого диапазона скоростей полета. Даже при ветре, достигающем 200 км/ч, погрешность при определении эквивалентного ветра не превышает 2%, если отклонение скорости от величины 800 км/ч не достигает 200 км/ч. Следовательно, нет необходимости выполнять

вычисления для каждой скорости полета – достаточно ограничиться вычислениями для трех-четырех скоростей полета, охватывающих весь диапазон летных скоростей.

Влияние изменения величины скорости ветра на приращение скорости эквивалентного ветра существенно зависит от угла ветра ε , как это видно из структуры частной производной (1.11). Наибольшая частная производная будет при $\varepsilon = 0$ или $\varepsilon = \pi$. В этом случае будет иметь место равенство

$$\Delta W_{\varepsilon} = \pm \Delta W.$$

Значит погрешность в определении величины эквивалентного ветра при $V = const$ и $\varepsilon = const$ не превышает погрешности в определении величины скорости ветра.

Влияние изменения угла ветра на точность, с которой определяется скорость эквивалентного ветра, можно проанализировать, воспользовавшись выражением для частной производной (1.12) и треугольником скоростей на рисунке 1.1. Наибольшее влияние изменения угла ветра сказывается при $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$.

В этом случае при $V = const$ и $W = const$ получаем

$$\Delta W_{\varepsilon} = -W \Delta \varepsilon.$$

Приращение скорости эквивалентного ветра получается сравнительно небольшое. Так как $W = 0,1 \cdot V$ и приращение угла ветра $\Delta \varepsilon = 0,2$ рад ($11,5^\circ$), погрешность в определении величины скорости эквивалентного ветра составит 2% от величины воздушной скорости.

1.3 Постановка задачи

Пусть на региональной сети авиалиний имеются аэропорт отправления и N аэропортов назначения, в которые необходимо доставить определенный груз. В аэропорту отправления существует авиакомпания, в самолетном парке которой имеется известное количество разнотипных воздушных судов. Различные типы воздушных судов, отличаясь друг от друга эксплуатационными характеристиками, в том числе резервируемым тоннажем, эксплуатационной

скоростью, максимальной практической дальностью полета и т.п., могут доставлять любой из M видов груза в каждый из N аэропортов.

Будем считать известными число авиалайнеров каждого типа и их эксплуатационные характеристики. Кроме того, предполагаем известной величину каждого вида груза, подлежащего перевозке в каждый из аэропортов назначения.

Необходимо распределить парк самолетов на заданной сети авиалиний таким образом, чтобы себестоимость доставки груза воздушным транспортом была наименьшей и потребность в воздушных перевозках была бы удовлетворена полностью (при условии, что общий объем требуемых грузоперевозок не превышает суммарной грузоподъемности всех самолетов).

Иными словами, требуется определить:

сколько воздушных судов каждого типа необходимо направить на воздушные грузоперевозки для полного удовлетворения спроса при условии, что себестоимость доставки груза будет минимальной.

Для решения этой задачи необходима следующая исходная информация:

- потребности в грузах в аэропортах назначения;
- технические, эксплуатационные и стоимостные параметры воздушных судов, имеющихся в наличии у авиакомпании (крейсерские скорости, величины коммерческих загрузок, стоимости самолетов и двигателей и т.д.);
- технические и эксплуатационные характеристики аэропортов и аэродромов (удельный вес рейсов, обслуживаемых на перроне, длина рулежной дорожки и т.д.);
- характеристика авиалиний (протяженность, авиационно-климатические описания и т.д.).

Полный перечень исходных данных смотрите в разделах 2.5 и 4.2.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ ГРУЗА ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ

2.1 Расчет времени занятости воздушных судов на авиалинии

Для решения поставленной задачи необходимо рассчитать время занятости каждого типа воздушного судна, при выполнении им транспортных операций.

Для расчета времени занятости воздушных судов на каждой авиалинии используется формула:

$$t = t^1_{\text{стоянки}} + t^1_{\text{руления}} + t^1_{\text{вырул.}} + t_{\text{ст.}} + t_{\text{р.}} + t_{\text{в.взл.}} + t_{\text{наб.}} + t_{\text{м.}} + t_{\text{сн.}} + t_{\text{в.пос.}} + t_{\text{пр.}} + t^2_{\text{отрул.}} + t^2_{\text{руления}} + t^2_{\text{стоянки}},$$

где $t^1_{\text{стоянки}}, t^2_{\text{стоянки}}$ – средняя продолжительность стоянки воздушного судна на перроне в аэропорту отправления (1) и в аэропорту назначения (2);

$t^1_{\text{руления}}, t^2_{\text{руления}}$ – время руления воздушного судна по рулежной дорожке;

$t^1_{\text{вырул.}}$ - время выруливания на исполнительный старт (1 - в аэропорту отправления);

$t_{\text{ст.}}$ - время установки ВС на старте и доведения тяги двигателей до взлетной;

$t_{\text{р.}}$ – время разбега самолета;

$t_{\text{в.взл.}}$ – время воздушного участка взлета (время набора безопасной высоты);

$t_{\text{наб.}}$ – время набора установленной (крейсерской) высоты;

$t_{\text{м}}$ – время маршевого полета (на крейсерской высоте);

$t_{\text{сн}}$ – время снижения;

$t_{\text{в.пос}}$ – время полета на воздушном участке посадки;

$t_{\text{пр}}$ – время пробега самолета (от момента приземления до момента отруливания с оси ВПП);

$t^2_{\text{отрул.}}$ - время отруливания ВС за боковую границу ВПП (2 – в аэропорту назначения).

Увеличение времени занятости воздушных судов может происходить за счет:

- ◆ перерыва в сообщении не по вине авиакомпании (погодные условия, аварии и др.);
 - ◆ задержки для проверки на соответствие груза и данных авиагрузовой накладной, соблюдения предосторожности по грузам, перевозимым на особых условиях, если обнаружены нарушения;
 - ◆ задержки, связанные с исправлением тары и погрузки, а так же выгрузки излишков груза, допущенных не по вине отправителя;
- и др.

2.2 Расчет длительности стоянки и времени занятости взлетно-посадочной полосы

Средняя продолжительность стоянки ВС

Среднее время стоянки на перроне зависит от многих факторов, главными из которых являются тип самолета, вид и уровень механизации и автоматизации технического обслуживания самолетов на перроне.

Среднее время $t_{\text{стоянки},k}$ стоянки на перроне для каждой группы самолетов рассчитывают исходя из количественного соотношения различных видов рейсов для данной группы и времени их обслуживания на перроне:

$$t_{\text{стоянки},k} = \rho_{\text{тр.}} t_{\text{тр.}} + \rho_{\text{обр.}} t_{\text{обр.}} + \rho_{\text{кон.}} t_{\text{кон.}} + \rho_{\text{нач.}} t_{\text{нач.}},$$

где $\rho_{\text{тр.}}, \rho_{\text{обр.}}, \rho_{\text{кон.}}, \rho_{\text{нач.}}$ - удельный вес соответственно транзитных, обратных, конечных и начальных рейсов, обслуживаемых на перроне;

$t_{\text{тр.}}, t_{\text{обр.}}, t_{\text{кон.}}, t_{\text{нач.}}$ - средняя продолжительность стоянки на перроне ВС, выполняющих соответственно транзитные, обратные, конечные и начальные рейсы.

Для практических расчетов рекомендуется использовать данные, приведенные в таблице А.1 приложения.

При отсутствии данных по удельному весу различных рейсов среднюю продолжительность стоянки на перроне принимают для ВС I группы – 1,9 ч, II группы – 1,45 ч, III и IV групп – 0,97 ч.

Время занятости ВПП

при взлете ВС:

$$t_{з.взл.} = t_{вырул.}^1 + t_{ст.} + t_{р.} + t_{в.взл.},$$

где $t_{вырул.}^1$ - время выруливания на исполнительный старт (1 - в аэропорту отправления);

$t_{ст.}$ - время установки ВС на старте и доведения тяги двигателей до взлетной;

$t_{р.}$ - время разбега ВС;

$t_{в.взл.}$ - время набора безопасной высоты $H_2 = 10,7$ м,

при посадке ВС:

$$t_{з.пос.} = t_{в.пос.} + t_{пр.} + t_{отрул.}^2,$$

где $t_{в.пос.}$ - время снижения ВС с высоты 15 м до касания ВПП;

$t_{пр.}$ - время пробега ВС;

$t_{отрул.}^2$ - время отруливания ВС за боковую границу ВПП (2 – в аэропорту назначения).

Время выруливания ВС на исполнительный старт:

$$t_{вырул.}^1 = \frac{L_{вырул.}}{V_{вырул.}} = \frac{0,5B_{ВПП} + 0,5 \cdot (\pi \cdot R - B_{РД}) + L_{ст.} - R}{V_{вырул.}},$$

время отруливания за боковую границу ВПП:

$$t_{отрул.}^2 = \frac{L_{отрул.}}{k_V V_{отрул.}},$$

где $L_{вырул.}$ - длина пути руления от места ожидания ВС до исполнительного старта на ВПП;

$V_{\text{вырул.}}$ - средняя скорость выруливания (в качестве расчетной можно принять $V_{\text{вырул.}} = 7$ м/с);

$B_{\text{ВПП}}$ - ширина ВПП;

R - радиус сопряжения РД с ВПП;

$B_{\text{РД}}$ - ширина РД;

$L_{\text{см.}}$ - расстояние от торца ВПП до места расположения исполнительного старта (при расчетах можно принимать $L_{\text{см.}} = 100$ м для ВС I и II групп и $L_{\text{см.}} = 50$ м для ВС III и IV групп);

R_1 - радиус схода ВС с ВПП на РД;

$L_{\text{отрул.}}$ - длина пути руления ВС от точки начала схода с оси ВПП до ее боковой границы;

$V_{\text{отрул.}}$ - скорость отруливания ВС с ВПП на РД ($V_{\text{отрул.}} = 7$ м/с – при отруливании на соединительную РД и 22 м/с – при отруливании на РД скоростного схода);

α - угол примыкания РД к ВПП;

k_V - коэффициент снижения скорости при отруливании ВС ($k_V = 1$ при отруливании на обычную соединительную РД и $k_V = 0.9$ - на РД скоростного схода).

При заданных радиусе схода ВС и ширине ВПП возможны два случая:

а) при $\alpha_1 \geq 2 \arcsin \sqrt{\frac{0,5B_{\text{ВПП}}}{2R_1}}$

$$L_{\text{отрул.}} = \frac{\pi \cdot R \arccos \frac{R_1 - 0,5B_{\text{ВПП}}}{R_1}}{180};$$

б) если условие (а) не выполняется

$$L_{\text{отрул.}} = \frac{\pi R_1 \alpha_1}{180} + \frac{0,5B_{\text{ВПП}}}{\sin \alpha_1} - R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}.$$

В последние годы достаточно часто используют способ взлета без остановки на исполнительном старте, что сокращает время занятости ВПП при выполнении операции взлета. В дальнейшем рассмотрена традиционная технология выполнения взлета с остановкой на исполнительном старте.

Продолжительность пребывания ВС на исполнительном старте t_{cm} можно принимать равной: до 70 с для ВС I группы, 60 с – для ВС II группы, 45 с – для III группы и 30 с – для IV группы.

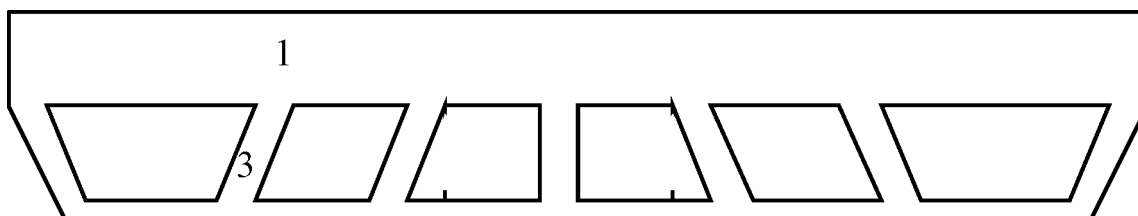
2.3 Затраты времени на движение воздушных судов по рулежным дорожкам

Назначение рулежных дорожек

Рулежные дорожки (РД) соединяют между собой различные элементы аэродрома и предназначены для руления и буксировки самолетов. От планировки РД в значительной степени зависят безопасность движения на аэродроме и его пропускная способность, время и протяженность руления или буксировки самолетов от перрона и других элементов аэродрома к ВПП и обратно.

Расположение РД должно по возможности исключать встречное движение самолетов, средств транспорта и механизации. Число поворотов РД должно быть по возможности наименьшим. Радиусы поворотов РД должны обеспечивать безопасность движения самолетов с обычными скоростями руления. Это становится особенно важным при большой интенсивности движения самолетов в аэропорту.

Рулежные дорожки по своему назначению подразделяются на магистральные (МРД), соединительные и вспомогательные (рисунок 2.1).



2

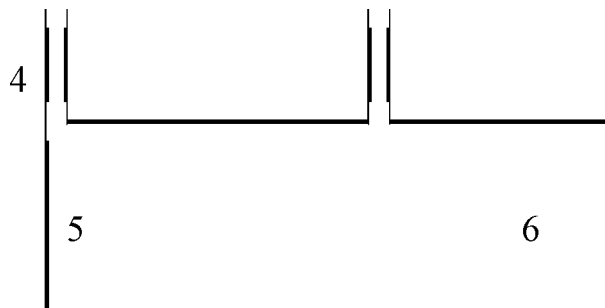


Рисунок 2.1 – Схема рулежных дорожек: 1 – ИВПП; 2 – магистральная РД; 3 – соединительные РД; 4 – вспомогательные РД; 5 – перрон; 6 – места стоянки.

Вспомогательные РД связывают перрон, места стоянки самолетов и отдельные площадки специального назначения с магистральной РД.

Надлежащим размещением вспомогательных рулежных дорожек достигается уменьшение времени и протяженности руления самолетов, упрощается схема движения самолетов на перронах и местах стоянок.

Магистральные РД предназначаются для передвижения самолетов с перрона к концам ИВПП (ВПП с искусственным покрытием) и обратно по кратчайшему расстоянию. Магистральная РД, как правило, размещается параллельно ИВПП. Удаление ее от ИВПП определяется из условия обеспечения безопасности движения самолетов одновременно по РД и ИВПП. Минимальное расстояние между кромками ИВПП и магистральной РД установлено равным 150 м. В аэропортах IV и V классов с малой интенсивностью движения магистральные РД обычно не устраиваются. В этом случае для обеспечения разворота самолетов в концах ИВПП устраиваются уширения (карманы). Размер уширения определяется эксплуатационным радиусом разворота самолета.

Соединительные РД связывают магистральную РД и ИВПП в местах предполагаемого окончания пробега самолета. Основное назначение этих дорожек - сокращение протяженности руления и времени пребывания самолетов на ИВПП для увеличения ее пропускной способности. При небольшой интенсивности движения самолетов в аэропорту время занятости

ИВПП не имеет особо важного значения. Поэтому в аэропортах низших классов соединительные РД в основном предназначены для сокращения протяженности руления. Эти соединительные РД рассчитываются на сравнительно небольшие скорости схода самолетов с ИВПП (20 - 25 км/ч) и поэтому обычно располагаются перпендикулярно к ее оси.

С увеличением интенсивности движения самолетов в аэропортах соединительные РД стали эффективным средством повышения пропускной способности аэродромов. Эффективность соединительных РД повышается с увеличением скоростей схода самолетов с ИВПП. Однако эти скорости ограничиваются требованиями безопасности движения самолетов.

Движение по рулежным дорожкам

Для обеспечения безопасности и плавности движения самолета, соединительные РД располагают под углом 30...45° к ИВПП и сопрягают с ее осью кривыми большого радиуса. Между осью ИВПП и круговой кривой проектируют переходную кривую. Вид переходной кривой выбирают из условия так, чтобы при движении по ней центробежное ускорение, постепенно нарастая, изменилось от нуля до необходимого значения со скоростью нарастания 0,5 м/с², исключая неприятные ощущения у пассажиров.

При рассмотрении движения самолетов на криволинейных участках скоростных РД необходимо учитывать подъемную силу самолета. Пренебрежение этой силой может быть сделано только на малых скоростях руления. Величину минимального радиуса кривой поворота с ИВПП на соединительную РД можно определить, приравняв центробежную силу силе трения сцепления колес самолета. Радиус можно определить по формуле

$$R_{рул.} = \frac{V_{рул.}^2}{g \left[i + \left(1 - \frac{Y}{G} \right) \mu \right]}, \quad (2.1)$$

где $V_{рул.}$ - скорость руления ВС;

g - ускорение свободного падения;

i - тангенс угла наклона виража РД (уклон виража);

Y - подъемная сила крыла;

G - вес ВС;

μ - коэффициент бокового сцепления трения колес с поверхностью покрытия.

Формулу (2.1) можно видоизменить, если учесть, что:

- 1) при движении ВС на трех опорах (двух основных и одной носовой) подъемная сила

$$Y = C_{y.ст.} \frac{\rho \cdot V_{рул.}^2}{2} S; \quad (2.2)$$

- 2) в момент посадки ВС подъемная сила равна весу ВС. Тогда можно записать:

$$Y_{нос} = G = C_{y.нос.} \frac{\rho \cdot V_{нос.}^2}{2} S, \quad (2.3)$$

где $C_{y.ст.}$ и $C_{y.нос.}$ - аэродинамические коэффициенты подъемной силы при стояночном и посадочном углах атаки;

ρ - плотность воздуха;

S - площадь крыла в плане.

С учетом (2.2) и (2.3) формула (2.1) примет вид

$$R_{рул.} = \frac{V_{рул.}^2}{g \left[i + \left(1 - \frac{C_{y.ст.} \cdot V_{рул.}^2}{C_{y.нос.} \cdot V_{нос.}^2} \right) \mu \right]}. \quad (2.4)$$

Если не учитывать аэродинамических особенностей ВС при его посадке и движении, то радиус кривой, как следует из формулы (2.4),

$$R_{рул.} = \frac{V_{рул.}^2}{g(i + \mu)}. \quad (2.5)$$

Как видно из формулы (2.5), радиус кривой в этом случае не зависит от веса и подъемной силы ВС, а только от его скорости руления. Эта формула может быть использована при небольших скоростях руления, так как влияние аэродинамических особенностей ВС на малом режиме движения незначительная. При скоростях движения 19,4 – 28 м/с (70 – 100 км/ч) подъемная сила дополнительно разгружает стойки шасси, что приводит к

уменьшению поперечной силы, удерживающей ВС на криволинейной траектории. Подсчеты показывают, что радиусы кривых отличаются при определении их без учета и с учетом аэродинамических особенностей на 20 м при скорости руления 19,4 м/с (70 км/ч); на 35 м – при 22 м/с (80 км/ч); 65 м - 25 м/с (90 км/ч) и 100 м – 28 м/с (100 км/ч).

Следует учитывать, что расчетное значение μ устанавливается по условиям удовлетворения комфорта пассажиров, так как при движении ВС по кривой развивается центробежное ускорение $j_{ц.}$, которое не должно выходить за пределы, приводящие к возникновению неприятных ощущений у пассажиров. Это условие выполняется, если $\mu \leq j_{ц.}/g$.

Допускаемое центробежное ускорение, исходя из условия обеспечения комфортабельности пассажира, сидящего в кресле салона ВС, должно быть в пределах 1,4 – 1,5 м/с². Тогда коэффициент бокового сцепления $\mu = 0,142 \div 0,152$, в среднем $\mu = 0,15$.

Продольный уклон РД для аэродромов класса А,Б,В: $i = 0,015$;
 для аэродромов класса Г,Д: $i = 0,025$;
 для аэродромов класса Е: $i = 0,030$.

Время руления воздушного судна

Время руления ВС находится по формуле:

$$t_{\text{руления}} = \frac{L_{\text{рул.}}}{V_{\text{рул.}}},$$

где $L_{\text{рул.}}$ - длина пути руления ВС до предварительного старта на РД ($L_{\text{рул.}} = 1 \dots 3$ км);

$V_{\text{рул.}}$ - средняя скорость руления ВС по РД (в качестве расчетной можно принять $V_{\text{рул.}} = 25$ км/ч = 7 м/с).

Поэтому время руления $t_{\text{руления}} = 0,04 \dots 0,12$ ч.

2.4 Общая методика расчета времени доставки груза воздушными судами

При расчете срока доставки груза ВС определяется общее летное время самолета. Оно складывается из времени разбега ВС, времени набора безопасной высоты, времени набора крейсерской высоты, времени маршевого полета с крейсерской скоростью, времени снижения, времени воздушного участка посадки и времени пробега:

$$t_{\Pi} = t_p + t_{\text{в.взл}} + t_{\text{наб}} + t_{\text{м}} + t_{\text{сн}} + t_{\text{в.пос}} + t_{\text{пр}}.$$

Для расчета летного времени самолета с учетом ветра можно использовать формулу (1.2) или сразу находить время разбега, время набора безопасной высоты и т. д. с учетом ветра.

1. Продолжительность разбега определяется из выражения

$$t_p = \frac{L_p}{0,7V_{\text{отр}} + W}, [\text{с}]$$

где L_p – длина разбега, берется из таблицы 1 – «Технических расчетных характеристик самолетов гражданской авиации»;

W – скорость эквивалентного встречного ветра.

2. Длительность воздушного участка взлета можно определить по формуле

$$t_{\text{в.взл}} = \frac{L_w}{\frac{V_{\text{отр}} + V_2}{2} + W}, [\text{с}]$$

где L_w – длина разгона с набором, находится по таблице 1;

$V_{\text{отр}}$ – скорость отрыва, находится по таблице 1;

V_2 – безопасная скорость в конце участка набора безопасной высоты, также находится по таблице 1.

3. Максимальное время установившегося набора высоты $t_{\text{наб}}$ находится по таблице 1 «Технических расчетных характеристик самолетов гражданской авиации».

4. Затраты времени в установившемся горизонтальном полете целиком определяются эксплуатационной скоростью и дальностью полета

$$t_m = \frac{L_{кр} \cdot 1000}{(V_{кр} - W) \cdot 60}, \text{ [мин.]}$$

где $L_{кр} = L - L_{наб} - L_{сн}$,

L – расстояние между аэропортами;

$V_{кр}$ – крейсерская скорость (таблица 1);

$$L_{наб} = \left(\frac{V_{кр} + V_2}{2} - W \right) \cdot t_{наб} \cdot \frac{60}{1000}, \text{ [км]} - \text{расстояние проходимое самолетом}$$

при наборе крейсерской высоты;

$$L_{сн} = (V_{кр} - W) \cdot t_{сн} \cdot \frac{60}{1000}, \text{ [км]} - \text{дальность участка снижения.}$$

5. Время снижения самолета $t_{сн}$ также находится по таблице 1.

6. Длительность воздушного участка посадки определяется следующим образом:

$$t_{в.пос} = \frac{L_{w_пл}}{\frac{V_{сн} + V_{пос}}{2} + W}, \text{ [с]}$$

где $L_{w_пл}$ – длина участка планирования (таблица 1);

$V_{сн}$ – скорость планирования (снижения), (таблица 1);

$V_{пос}$ – посадочная скорость (таблица 1).

7. Время пробега

$$t_{пр} = \frac{L_{пр}}{0,7V_{пос} + W}, \text{ [с]}$$

где $L_{пр}$ – длина пробега (таблица 1).

Время занятости воздушного судна на каждой авиалинии находится по формуле:

$$t = t^1_{стоянки} + t^1_{руления} + t^1_{вырул.} + t_{ст} + t_n + t^2_{отрул.} + t^2_{руления} + t^2_{стоянки},$$

где $t^{1,2}_{\text{стоянки}}$, $t^{1,2}_{\text{руления}}$, $t^1_{\text{вырул}}$, $t^2_{\text{отрул}}$ находятся согласно методике расчета, приведенной в разделах 2.2, 2.3.

2.5 Автоматизация расчета времени доставки грузов самолетами

Так как в самолетном парке имеется несколько типов воздушных судов, то для расчета времени доставки грузов целесообразно создать автоматизированную программу.

Опираясь на теорию, изложенную в разделах 2.1 – 2.4 и на программу «Летные характеристики–2» в математической системе Mathcad 2000 получена программа «Доставка грузов».

Для работы программы необходимо задать:

I. Технические характеристики

1. тип ВС tip (1 – пас., 2 – груз.);
2. взлетная масса $m_{\text{взл}}$, кг;
3. масса топлива $m_{\text{т}}$, кг;
4. длина разбега, м;
5. скорость отрыва $V_{\text{отр}}$, м/с;
6. длина разгона с набором $L_{\text{в}}$, м;
7. безопасная скорость V_2 , м/с;
8. время набора крейсерской высоты $t_{\text{наб}}$, мин.;
9. крейсерская скорость $V_{\text{кр}}$, м/с;
10. время снижения $t_{\text{сн}}$, мин.;
11. длина участка планирования $L_{\text{в}_\text{пл}}$, м;
12. скорость снижения $V_{\text{сн}}$, м/с;
13. посадочная скорость $V_{\text{пос}}$, м/с;
14. длина пробега $L_{\text{пр}}$, м;
15. количество двигателей n , шт.;
16. статическая тяга двигателя P , Н;

II. Данные по аэропорту отправления

1. тангенс угла наклона виража РД i ;
2. коэффициент бокового сцепления μ ;
3. коэффициент трения f ;
4. приведенный коэффициент трения $f_{пр}$;
5. ширина ВПП $B_{ВПП}$, м;
6. ширина РД $B_{РД}$, м;
7. скорость выруливания на ВПП $V_{отр}$, м/с;
8. скорость отруливания с ВПП $V_{выр}$, м/с;
9. скорость руления по РД $V_{рул}$, м/с;
10. длина пути руления ВС до предварительного старта на РД $L_{1рул}$, км;
11. длина пути руления ВС до места стоянки на перроне $L_{2рул}$, км;
12. удельный вес транзитных рейсов $\rho_{тр}$;
13. удельный вес обратных рейсов $\rho_{обр}$;
14. удельный вес конечных рейсов $\rho_{кон}$;
15. удельный вес начальных рейсов $\rho_{нач}$;
16. продолжительность стоянки ВС транзитных рейсов $t_{тр}$, ч.;
17. продолжительность стоянки ВС обратных рейсов $t_{обр}$, ч.;
18. продолжительность стоянки ВС конечных рейсов $t_{кон}$, ч.;
19. продолжительность стоянки ВС начальных рейсов $t_{нач}$, ч.;
20. продольная составляющая ветра W , м/с.

III. Направления перевозок

Необходимо ввести направления авиаперевозок, а также расстояния между аэропортом отправления и аэропортами назначения.

Для удобства работы с прикладной программой эти характеристики помещаются в файлы данных: «Технические характеристики (тип самолета)», «Данные по аэропорту отправления», «Направления перевозок», соответственно. Файлы данных должны иметь формат Microsoft Excel 97, что

связано с особенностями работы пакета Mathcad. В приложении А дана распечатка файлов данных («Технические характеристики Ту-204», «Данные по аэропорту отправления», «Направления перевозок»), которые можно использовать в качестве образца для создания файлов данных для других типов самолетов. Кроме того созданы файлы данных для самолетов Як-42, Ту-154А, MD-87.

Исходные данные считываются из файлов при запуске программы «Доставка грузов».

Для расчета себестоимости доставки груза ВС используется 2 часть программы «Доставка грузов».

3. ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА СЕТИ АВИАЛИНИЙ

4.1 Математическая формулировка задачи

Построим математическую модель этой задачи. Для этого введем следующие обозначения:

d_k – грузоподъемность самолета k -го типа или резервируемый тоннаж для перевозки грузов на пассажирском самолете с учетом почтового лимита ($k = 1, \dots, R$), т.;

q_{ij} – величина i -го груза подлежащего перевозке в j -ый аэропорт ($i=1, \dots, M, j = 1, \dots, N$), т.;

α_k – число воздушных судов k -го типа;

c_{jk} – себестоимость доставки груза авиалайнером k -го типа в j -ый аэропорт, ч.;

x_{ijk} – число самолетов k -го типа из самолетного парка, занятых доставкой груза i -го типа в j -ый аэропорт.

Требуется минимизировать выражение

$$F = \sum_i^M \sum_j^N \sum_k^R c_{jk} x_{ijk}, \quad (3.1)$$

при следующих ограничениях

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq \alpha_k, \quad k = 1, \dots, R, \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^R d_k x_{ijk} \geq q_{ij}. \quad (3.3)$$

Ограничение (3.2) означает, что сумма самолетов k -го типа перевозящих груз i -го типа в j -ый аэропорт не превышает число самолетов k -го типа. Ограничение (3.3) означает, что величина i -го груза подлежащего перевозке в j -ый аэропорт не превышает суммарную грузоподъемность самолетов, перевозящих этот i -ый груз в j -ый аэропорт.

Таким образом, мы имеем задачу линейного программирования с $M \times N \times R$ переменными и $(R+N) \times M$ линейными ограничениями.

Для решения этой задачи необходимо рассчитать время занятости каждого самолета, при выполнении им транспортных операций, а затем себестоимость доставки груза.

3.2 Сведение исходной задачи к стандартной транспортной задаче

Для того чтобы привести математическую модель задачи к виду стандартной транспортной задачи необходимо произвести замену переменных.

Для этого введем переменные:

$$\lambda = i + M \cdot (j - 1),$$

$$\mu = k.$$

Индекс λ принимает все целые значения от 1 до MN , аналогично индекс μ принимает все целые значения от 1 до R .

Введем для старых переменных следующие обозначения:

$$d_k x_{ijk} = z_{\lambda\mu},$$

$$t_{jk} = \tau_{\lambda\mu}, i = 1, \dots, M,$$

$$d_k \alpha_k = \beta_\mu,$$

$$q_{ij} = g_\lambda.$$

В новых обозначениях функционал примет вид:

$$F = \sum_{\lambda=1}^{MN} \sum_{\mu=1}^R \tau_{\lambda\mu} z_{\lambda\mu}, \quad (3.4)$$

при следующих ограничениях

$$\sum_{\lambda=1}^{MN} z_{\lambda\mu} \leq \beta_\mu, \quad (3.5)$$

$$\sum_{\mu=1}^R z_{\lambda\mu} \geq g_\lambda \quad (3.6)$$

Итак, это обычная транспортная задача с размерностью $MN \times R$.

По компонентам оптимального плана $z_{\lambda\mu \text{ опт}}$ вычисляют составляющие решения исходной задачи $x_{ijk \text{ опт}}$ по формуле:

$$x_{ijk \text{ опт}} = \frac{z_{\lambda\mu \text{ опт}}}{d_k}.$$

При этом индексы i, j, k вычисляют следующим образом:

$$i = \begin{cases} M, \text{ если } \lambda \text{ кратно } M \\ \text{остатку от деления } \lambda \text{ на } M, \text{ если } \lambda \text{ не кратно } M \end{cases},$$

$$j = \begin{cases} \frac{\lambda}{M}, \text{ если } \lambda \text{ кратно } M \\ \text{целой части } \left(\frac{\lambda}{M} + 1 \right), \text{ если } \lambda \text{ не кратно } M \end{cases},$$

$$k = \mu.$$

3.3 Выбор алгоритма решения задачи

Существует множество способов решения стандартной транспортной задачи, например, метод северно-западного угла. Но этот метод не

удовлетворяет нас из-за физических свойств объектов рассмотрения (число самолетов не может быть дробным). Поэтому при решении данной задачи более предпочтительным является метод целочисленного программирования, т.е. метод ветвей и границ. Его недостатком является необходимость в большом числе итераций, и, следовательно, для решения задач с большими размерностями его необходимо модернизировать. «Ветви и границы» - это метод, в котором все возможные решения комбинаторной оптимизационной задачи проверяются следующим способом. Вместо вычисления целевой функции для каждой возможной комбинации искомых переменных подлежит полной проверке только небольшое их число, а оставшиеся варианты могут быть отвергнуты с помощью правил отбора.

В данном учебном пособии задача оптимальной маршрутизации решается в прикладном пакете транспортных задач.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЗА

4.1 Расчет себестоимости доставки груза

Предварительная оценка стоимости эксплуатации самолета имеет решающее значение, во-первых, при формировании стратегии развития технических средств воздушного транспорта на длительную перспективу и, во-вторых, служит базой для технико-экономического обоснования решений, принимаемых на разных уровнях [10].

Затраты на эксплуатацию самолета

Себестоимость летного часа самолета можно подсчитать по формуле:

$$C = C_{A \text{ сам}} + C_{A \text{ дв}} + C_{TP \text{ сам}} + C_{TP \text{ дв}} + C_{ГСМ} + C_{з.п} + B_A,$$

где $C_{A \text{ сам}}$ – затраты на амортизацию самолета, долл./ч;

$C_{\text{тр сам}}$ – затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание самолета, долл./ч;

$C_{\text{тр дв}}$ – затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание двигателя, долл./ч;

$C_{\text{ГСМ}}$ – стоимость горюче-смазочных материалов, долл./ч;

$C_{\text{з.п}}$ – расходы на заработную плату экипажа, включая отчисления на социальные нужды, долл./ч;

B_a – косвенные (аэродромные) расходы, учитывающие затраты на содержание аэродромов и различных административно-технических групп, долл./ч.

Затраты подразделяются на несколько видов:

1. Амортизация самолета

$$C_A = K_1 \cdot \frac{C_c}{T_c},$$

где $K_1 = 1,1 - 1,3$ – коэффициент учитывающий непроизводственный налет;

$C_{\text{сам}}$ – стоимость самолета без двигателя, долл.;

$T_{\text{сам}}$ – полный срок амортизации или полный срок службы самолета, ч.

2. Амортизация двигателя

$$C_{A \text{ дв}} = K_2 \cdot n_{\text{дв}} \cdot \frac{C_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}}},$$

где $K_2 = 1,15 - 1,35$ – коэффициент учитывающий непроизводственный налет;

$C_{\text{дв}}$ – стоимость одного двигателя, долл.;

$T_{\text{дв}}$ – полный срок амортизации или полный срок службы двигателя, ч;

$n_{\text{дв}}$ – число двигателей, установленных на самолете.

3. Текущее обслуживание самолета

$$C_{\text{тр сам}} = K_3 m_{\text{пуст}} \cdot 10^{-3} \left(4,4 - 0,1 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{пуст}}} + 0,15 \cdot 10^{-4} m_{\text{пуст}} \right),$$

где $m_{\text{пуст}}$ – масса пустого самолета, кг;

$K_3 = 1,3 - 1,5$ – для самолетов с ТРД и ТРДД, долл.кг/ч.;

$K_3 = 1,5 - 1,8$ – для самолетов с ТВД, долл.кг/ч..

4. Текущее обслуживание двигателей

$$C_{\text{тр дв}} = \frac{0,16 \cdot K_2 K_4 n_{\text{дв}} \sqrt{P_o}}{1 + 7 \cdot 10^{-5} T_{\text{дв}}},$$

где $K_4 = 1,3 - 1,5$ – для самолетов с ТРД и ТРДД, $\text{долл.}/(\text{Н})^{1/2}$;

$K_4 = 1,8 - 2,0$ – для самолетов с ТВД;

P_o – тяга одного двигателя, Н.

5. Горюче-смазочные материалы

$$C_{\text{гсм}} = C_T + C_{\Gamma} + C_M + C_{\text{сп}} + C_{\delta} = C_T (1 + 0,3 + 0,1 + 0,1 + 0,1) = 1,6C_T.$$

где C_T – затраты на топливо;

C_{Γ} – затраты на гидросмесь;

C_M – затраты на масло;

$C_{\text{сп}}$ – затраты на спирт для обслуживания систем;

C_{δ} – затраты на бензин для промывки, обезжиривания систем, промывки фильтров, для эксплуатации транспортных средств.

Затраты на топливо можно получить по формуле:

$$C_T = \Pi_{\text{кер}}(Q_{\text{T1}} + Q_{\text{T2}}),$$

где $\Pi_{\text{кер}}$ – стоимость керосина, $\text{долл.}/\text{кг}$;

$Q_{\text{T1}}, Q_{\text{T2}}$ – часовой расход топлива самолета соответственно на земле и в воздухе, $\text{кг}/\text{ч}$;

6. Заработная плата экипажа

$$C_{\text{з.п.}} = (C_{\text{ком.}} + C_{\text{вт.п.}} + C_{\text{б.п.}} + C_{\text{ст.}}) \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{норм.}}}{100\%}\right)$$

а) заработная плата экипажа пассажирского самолета

$$C_{\text{з.п.}} = C_{\text{ком.}} (1 + 0,85 \cdot 2 + 0,5 \cdot 3) \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{норм.}}}{100\%}\right) = 4,2 \cdot C_{\text{ком.}} \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{норм.}}}{100\%}\right);$$

б) заработная плата экипажа грузового самолета

$$C_{\text{з.п.}} = C_{\text{ком.}} (1 + 0,85 \cdot 2) \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{норм.}}}{100\%}\right) = 2,7 \cdot C_{\text{ком.}} \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{норм.}}}{100\%}\right),$$

где $C_{\text{ком}}$ – средняя часовая заработная плата командира экипажа, долл. ;

$C_{\text{вт.п.}}$ – средняя часовая заработная плата второго пилота, долл.;

$C_{\text{б.и}}$ – средняя часовая заработная плата бортинженера, долл.;

$C_{\text{ст}}$ – средняя часовая заработная плата стюардесс, долл.;

$K_{\text{норм.}} = 35,6 \%$ – норматив отчисления на социальные нужды (социальное страхование, обязательное медицинское страхование, пенсионное страхование).

7. Косвенные (аэродромные) расходы

$$B_a = K_5 \cdot m_0^{0,7},$$

где $K_5 = 0,1245$, долл.кг/ч.;

m_0 – масса самолета при взлете, кг.

В формуле расчета времени доставки груза

$$t = t^1_{\text{стоянки}} + t^1_{\text{руления}} + t^1_{\text{вырул.}} + t_{\text{ст.}} + t_n + t^2_{\text{отрул.}} + t^2_{\text{руления}} + t^2_{\text{стоянки}}$$

обозначим $t^1_{\text{руления}} + t^1_{\text{вырул.}} + t_{\text{ст.}} + t^2_{\text{отрул.}} + t^2_{\text{руления}} = t_{\text{рул.}}$, тогда

$$t = t^1_{\text{стоянки}} + t_{\text{рул.}} + t_n + t^2_{\text{стоянки}}.$$

Себестоимость доставки груза до заданных пунктов назначения находится по формуле:

$$C_{\text{дост}} = Q_{\text{рез.}}(p^1 + p^2) + C(t_{\text{рул.}} + t_{\text{п.}}),$$

где $Q_{\text{рез.}}$ – резервируемый тоннаж;

p^1, p^2 – тарифы обработки груза (1 – в аэропорту отправления, 2 – в аэропорту назначения);

C – себестоимость летного часа.

4.2 Автоматизация расчета себестоимости доставки груза

Расчет себестоимости одного летного часа самолета, а затем и себестоимости доставки груза также является целесообразным автоматизировать, что и сделано во 2 части программы «Доставка грузов» – «Расчет себестоимости доставки груза».

Для расчета себестоимости доставки груза в программе необходимо задать:

IV. Стоимостные параметры

1. стоимость самолета без двигателя C_c , долл.;
2. полный срок службы самолета T_c , ч.;
3. стоимость одного двигателя $C_{дв}$, долл.;
4. полный срок службы двигателя $T_{дв}$, ч.;
5. стоимость керосина $Z_{кер}$, руб./кг;
6. часовой расход топлива Q , кг/ч;
7. зарплата командира экипажа $C_{ком}$, руб./мес.;
8. резервируемый тоннаж $Q_{рез}$, т;
9. тариф обработки груза в аэропорту отправления p^1 , руб./т;
10. тариф обработки груза в аэропортах назначения p^2 , руб./т.

Эти исходные данные необходимо занести в файл данных «Стоимостные параметры» в соответствии с типом самолета. Образцом для создания файлов данных может служить файл «Стоимостные параметры Ту-204», распечатка которого находится в приложении А.

5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ЗАДАННОЙ СЕТИ АВИАЛИНИЙ

При решении задачи оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний могут рассматриваться как грузовые воздушные суда, так и пассажирские. Для грузовых и пассажирских самолетов данные по максимальной коммерческой нагрузке берутся из базы данных «Техническая характеристика самолетов и вертолетов гражданской авиации России и западных государств». Для пассажирских самолетов при решении задачи оптимального распределения ВС необходимо также провести расчет резервируемого тоннажа для перевозки грузов.

Расчет резервируемого тоннажа для перевозки грузов пассажирскими самолетами в порядке дозагрузки

В связи с тем, что грузы на пассажирских авиалайнерах перевозят в порядке их догрузки на имеющийся свободный тоннаж, то можно считать, что грузовые перевозки на них выполняются почти бесплатно, так как они не вызывают дополнительных летных расходов, кроме расходов, связанных со складской работой по приему-передаче, хранению и погрузке-выгрузке грузов. Кроме того, перевозка грузов на пассажирских самолетах повышает эффективность их эксплуатации.

При резервировании тоннажа для перевозки грузов пассажирскими авиалайнерами свободный тоннаж определяется, исходя из предельной коммерческой загрузки на данном рейсе за вычетом из нее почтового лимита, массы пассажиров, определяемой в зависимости от максимального количества пассажирских мест и багажа, то есть:

$$Q_{\text{рез}} = Q_{\text{пред}} - Q_{\text{пл}} - Q_{\text{п,б}}, \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{рез}}$ - резервируемый тоннаж для перевозки грузов, кг;

$Q_{\text{пред}}$ - предельный тоннаж коммерческой загрузки данного рейса, кг;

$Q_{\text{пл}}$ - почтовый лимит, кг;

$Q_{\text{п,б}}$ - масса всех пассажиров и их багажа, кг.

Предельный тоннаж коммерческой загрузки данного рейса определяется из технической характеристики типа самолета, который выполняет данный рейс. Предположим, что на данный рейс будут реализованы билеты, на все имеющиеся в самолете пассажирские места. Общая масса пассажиров и их багажа будет равна сумме из n слагаемых массы пассажиров и их багажа, то есть:

$$Q_{\text{п,б}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n, \quad (4.2)$$

где $Q_i = U_i + v_i$;

U_i - масса i -го пассажира;

v_i - масса багажа i -го пассажира.

Причём U_i и v_i являются независимыми случайными величинами. В связи с этим величина $Q_{\text{п,б}}$ представляет собой случайную величину с функцией распределения $F(x)$. Задача сводится к тому, чтобы, определив верхнюю

границу значений пассажирской загрузки, можно было бы с достаточно высокой вероятностью гарантировать загрузку пассажирского самолета.

Согласно центральной предельной теореме случайная величина распределена асимптотически нормально, то есть при $n \rightarrow \infty$:

$$F_n(x) \rightarrow \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du. \quad (4.3)$$

С помощью формального разложения в ряд функцию $F(x)$ можно представить в уточненном виде. Как показали расчеты, при n равном 50 функция $F_n(x)$ отличается от $\Phi(x)$ на величину, меньшую 0,0005. Поэтому при расчетах распределение случайной величины аппроксимируется с помощью нормального распределения.

Для определения математического ожидания и дисперсии общей массы пассажира и его багажа были проведены выборочные наблюдения относительно: массы пассажиров на воздушном транспорте (отдельно мужчин и отдельно женщин); распределения пассажиров по признаку пола; распределение всех пассажиров по массе провозимого ими багажа.

Масса пассажира на воздушном транспорте определяется по формуле полной вероятности:

$$P\{u=x\} = p_1 P_1\{u=x\} + p_2 P_2\{u=x\}, \quad (4.4)$$

где p_1 - вероятность того, что пассажир является мужчиной;

$P_1\{u=x\}$ - условная вероятность того, что масса пассажира будет равна x при условии, что пассажир является мужчиной;

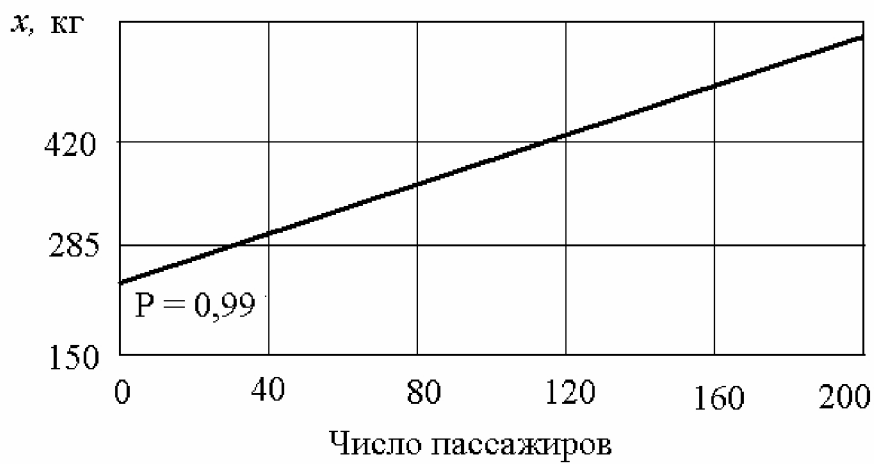
p_2 и $P_2\{u=x\}$ - определяются аналогично, но только относительно к женскому полу.

На основании формулы (4.4) определяется математическое ожидание и второй начальный момент распределения пассажиров по массе:

$$a_n = M_{11} = p_1 a_1 + p_2 a_2, \quad (4.5)$$

где a_1 - математическое ожидание массы мужчины;

a_2 - математическое ожидание массы женщины.



Дисперсия определится по формуле:

$$\sigma_n^2 = v_2 - (a_n)^2, \quad (4.6)$$

Так как предполагалось, что масса пассажира и его багажа - величины независимые между собой, то математическое ожидание и дисперсия массы пассажира с багажом будут определяться:

$$a = a_n + a_\sigma, \quad (4.7)$$

$$\sigma^2 = \sigma_n^2 + \sigma_\sigma^2. \quad (4.8)$$

По данным исследований, проведенных в аэропортах Московского авиаузла, была получена статистика, с помощью которой был построен график, изображенный на рисунке 4.1.

Рисунок 4.1 – График определения верхних границ отклонений пассажирской загрузки с учетом массы багажа от среднего значения, вероятность превышения которых равна $1-P$.

Для примера, определим резервируемый тоннаж для перевозки грузов авиалайнером Ту-154 со 152 пассажирами на борту и предельной коммерческой загрузкой 18 000 кг. Для решения этой задачи будет необходим график на рисунке 4.1. По этому графику отклонение фактической пассажирской загрузки с учетом багажа от ее среднего значения с вероятностью P равной 0,99, не

превысит величину χ равной 460 кг. Таким образом, полная пассажирская загрузка на 152-местном авиалайнере будет равна:

$$Q_{n,\delta} = C \cdot a + \chi, \quad (4.9)$$

где C – количество мест в самолете;

a – средняя масса пассажира с багажом; равна 90 кг.

Подставив численные значения в формулу (4.9), получим значение полной пассажирской загрузки равной 14140 кг. Зная предельную коммерческую загрузку самолета, определяем максимальную гарантированную загрузку, то есть:

$$Q_{рез.} = Q_{пред.} - Q_{пл} - Q_{n,\delta}. \quad (4.10)$$

Численное значение резервируемого тоннажа будет равно 3710 кг без учета почтового лимита. Определенная таким же образом максимальная гарантированная загрузка для самолета Ил-62 составила 7390 кг. Значительный свободный тоннаж для перевозки грузов при полной занятости пассажирских мест имеется и на пассажирских самолетах других типов.

На практике в различные периоды года на наиболее загруженных авиалиниях, а также в зимнее время могут оперативно корректироваться изменения массы пассажиров с багажом в сторону увеличения, а в незагруженных направлениях - в сторону уменьшения массы. Однако определенная математическим методом масса загрузки самолетов пассажирами с багажом во всех остальных случаях остается неизменной.

Решение задачи оптимального распределения воздушных судов на заданной сети авиалиний

Постановка задачи

Пусть в аэропорту отправления имеется авиакомпания, в самолетном парке которой содержатся 4 типа авиалайнеров. Разнотипные самолеты, обладая различными эксплуатационными характеристиками и крейсерскими скоростями, могут доставлять по воздуху 1 вид груза в каждый из 5 аэропортов назначения. ($R = 4, M = 1, N = 5$)

Запишем исходные данные, необходимые для решения задачи, в виде таблиц (они приведены в приложении Б).

Решение задачи

В результате работы программы «Доставка грузов» рассчитывается себестоимость доставки груза для данного типа самолета (в долл.) в каждый из аэропортов назначения соответственно. Полученные значения используются для составления матрицы данных транспортной задачи:

	Ту-154А	Ту-204	Як-42	MD-87	g_λ
<i>Архангельск</i>	C_{11} Z_{11}	C_{12} Z_{12}	C_{13} Z_{13}	C_{14} Z_{14}	g_1
<i>Краснодар</i>	C_{21} Z_{21}	C_{22} Z_{22}	C_{23} Z_{23}	C_{24} Z_{24}	g_2
<i>Мин. Воды</i>	C_{31} Z_{31}	C_{32} Z_{32}	C_{33} Z_{33}	C_{34} Z_{34}	g_3
<i>Санкт-Петербург</i>	C_{41} Z_{41}	C_{42} Z_{42}	C_{43} Z_{43}	C_{44} Z_{44}	g_4
<i>Сочи</i>	C_{51} Z_{51}	C_{52} Z_{52}	C_{53} Z_{53}	C_{54} Z_{54}	g_5
β_μ	β_1	β_2	β_3	β_4	

или, подставляя числовые значения:

	Ту-154А	Ту-204	Як-42	MD-87	g_λ , т
<i>Архангельск</i>	7660,3 Z_{11}	7878,75 Z_{12}	6409,15 Z_{13}	7032,06 Z_{14}	11
<i>Краснодар</i>	6536,25 Z_{21}	6718,91 Z_{22}	5462,96 Z_{23}	6014,2 Z_{24}	8,35
<i>Мин. Воды</i>	6233,62 Z_{31}	6406,64 Z_{32}	5208,22 Z_{33}	5740,16 Z_{34}	4
<i>Санкт-Петербург</i>	7271,21 Z_{41}	7477,27 Z_{42}	5081,62 Z_{43}	6679,73 Z_{44}	5,5
<i>Сочи</i>	7271,21 Z_{51}	7477,27 Z_{52}	5081,62 Z_{53}	6679,73 Z_{54}	3,5
β_μ , т	9,837	11,055	13,1	2,432	

Для решения задачи оптимального распределения ВС на заданной сети авиалиний используется Пакет Экономических Расчетов (ПЭР), раздел программы «Целочисленное линейное программирование». С помощью этого пакета решаются задачи частично-целочисленного линейного программирования методом ветвей и границ. Максимальные размеры решаемых задач: 20 основных переменных и 20 ограничений. Инструкция пользователя ПЭР приводится в приложении Б.

Для рассматриваемой транспортной задачи подготовка данных осуществляется следующим образом:

$$F = \min(c_{11}z_{11} + c_{12}z_{12} + c_{13}z_{13} + c_{14}z_{14} + c_{21}z_{21} + c_{22}z_{22} + \dots + c_{54}z_{54}).$$

При условиях:

- (1) $z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} \leq \beta_1,$
- (2) $z_{12} + z_{22} + z_{32} + z_{42} + z_{52} \leq \beta_2,$
- (3) $z_{13} + z_{23} + z_{33} + z_{43} + z_{53} \leq \beta_3,$
- (4) $z_{14} + z_{24} + z_{34} + z_{44} + z_{54} \leq \beta_4,$
- (5) $z_{11} + z_{12} + z_{13} + z_{14} + z_{15} \geq g_1,$
- (6) $z_{21} + z_{22} + z_{23} + z_{24} + z_{25} \geq g_2,$
- (7) $z_{31} + z_{32} + z_{33} + z_{34} + z_{35} \geq g_3,$
- (8) $z_{41} + z_{42} + z_{43} + z_{44} + z_{45} \geq g_4,$
- (9) $z_{51} + z_{52} + z_{53} + z_{54} + z_{55} \geq g_5,$

При решении задачи вместо ограничения $\sum_{\lambda=1}^{MN} z_{\lambda\mu} \leq \beta_{\mu}$ можно использовать

ограничение $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq \alpha_k$, то есть вместо $z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{41} + z_{51} \leq \beta_1$ или

$d_1x_{11} + d_1x_{21} + d_1x_{31} + d_1x_{41} + d_1x_{51} \leq d_1\alpha_1$ записать $x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \leq \alpha_1$.

Для данной задачи:

- (1) $x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \leq \alpha_1,$
- (2) $x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} \leq \alpha_2,$
- (3) $x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} \leq \alpha_3,$
- (4) $x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} \leq \alpha_4,$
- (5) $d_1x_{11} + d_2x_{12} + d_3x_{13} + d_4x_{14} + d_5x_{15} \geq q_{11},$
- (6) $d_1x_{21} + d_2x_{22} + d_3x_{23} + d_4x_{24} + d_5x_{25} \geq q_{12},$
- (7) $d_1x_{31} + d_2x_{32} + d_3x_{33} + d_4x_{34} + d_5x_{35} \geq q_{13},$
- (8) $d_1x_{41} + d_2x_{42} + d_3x_{43} + d_4x_{44} + d_5x_{45} \geq q_{14},$
- (9) $d_1x_{51} + d_2x_{52} + d_3x_{53} + d_4x_{54} + d_5x_{55} \geq q_{15},$

Результат решения транспортной задачи запишем в виде матрицы:

	Ту-154А	Ту-204	Як-42	MD-87
<i>Архангельск</i>	–	–	3	1
<i>Краснодар</i>	–	2	–	1
<i>Мин. Воды</i>	2	–	–	–

<i>Санкт-Петербург</i>	1	–	1	–
<i>Сочи</i>	–	1	–	–

где $x_{11} = 0$, $x_{12} = 0$, $x_{13} = 3$, $x_{14} = 1$, $x_{21} = 0$, $x_{22} = 2$, ... , $x_{53} = 0$, $x_{54} = 0$;

значение целевой функции $F = 79008,87$;

выполнено 3449 итераций.

Список использованных источников

1. Аэродинамика самолета Ту-154. – М.: Транспорт. – 1977.
2. Аэропорты и воздушные трассы/под ред. Блохина В.И. – М.: Транспорт. – 1984.
3. Аэромеханика самолета/под ред. Бочкарева А.Ф. – М.: Машиностроение. – 1985.
4. Изыскания и проектирование аэродромов. Справочник/под ред. Глушкова Г.И. – М.: Транспорт. – 1992.
5. Крючков А.А. Грузовые перевозки на воздушном транспорте. – М.: Транспорт. – 1983.
6. Карпелевич Ф.И., Садовский Л.Е. Элементы линейной алгебры и линейного программирования. – М.: Наука. – 1967.
7. Зайченко А.П. Исследование операций. – Киев: Высшая школа. – 1979.
8. Стенбринк П.А. Оптимизация транспортных сетей. – М.: Транспорт. – 1981.
9. Бочкарев А.Ф., Балакин В.Л., Турапин В.М. Расчет летных характеристик, продольной устойчивости и управляемости самолета: Учебное пособие. – Самара: СГАУ. – 1999.
10. Моренков Н.И. Технико-экономическая оценка транспортного самолета:

Методические указания. – Куйбышев: КуАИ. – 1989.

11. Дьяконов В. Mathcad 8/2000: Специальный справочник. – Спб: Питер. – 2001.

12. Стандарт предприятия СТП СГАУ 6.1.4.-97. Общие требования к оформлению учебных текстовых документов.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Продолжительность стоянки ВС

Группа ВС	Продолжительность стоянки ВС различных рейсов, ч			
	Транзитный	Обратный	Конечный	Начальный
I (Ил-62, Ил-62М, Ил-76, Ил-86, Ил-96)	1,5	2,1	0,9	0,9
II (Ту-104, Ту-124, Ан-12, Ту-134, Ту-154, Ил-8)	1,0	1,2	0,8	0,9
III – IV (Ан-24, Ан-28, Ил-14, Як-40, Ан-2, Л-410)	0,55	0,75	0,4	0,8

Таблица А.2 – Размеры элементов летных полос

Элементы	Класс аэродрома					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Длина КПБ, м	400	400	400	400	250	50
Ширина ГВПП, м	100	100	100	100	85	70
Ширина ИВПП, м	60	60	42	35	28	21
Ширина БПБ, м	100	100	100	75	50	50

Общая ширина летной полосы, м	360	360	342	285	213	191
-------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица А.3 – Ширина РД, м

Наименование РД	Класс аэродрома				
	А	Б, В	Г	Д	Е
Магистральная или соединительная	22,5	21	16	14	10
Вспомогательная	21	18	14	12	8

Таблица А.4 – Распечатка файла «Технические характеристики Ту-204»

Марка ВС	Ту - 204
Тип ВС	1 - пас.
Максимальная взлетная масса, т	93,5
Масса топлива, т	24
Длина разбега, м	842
Скорость отрыва, м/с	77
Длина разгона с набором, м	514
Безопасная скорость, м/с	93
Время набора крейсерской высоты, мин.	7,8
Крейсерская скорость, м/с	230
Время снижения, мин.	19,9
Длина участка планирования, м	608
Скорость снижения, м/с	75
Посадочная скорость, м/с	63
Длина пробега, м	863
Количество двигателей, шт.	2
Статическая тяга двигателя, Н	161000

Таблица А.5 – Распечатка файла «Данные по аэропорту отправления»

Тангенс угла наклона виража РД	0,015
Коэффициент бокового сцепления	0,15
Коэффициент трения	0,025
Приведенный коэффициент трения	0,25
Ширина ВПП, м	60
Ширина РД, м	22,5

Скорость выруливания на ВПП, м/с	7
Скорость отруливания с ВПП, м/с	7
Скорость руления по РД, м/с	7
Длина пути руления ВС до предварительного старта на РД, км	2
Длина пути руления ВС до места стоянки на перроне, км	2
Удельный вес транзитных рейсов	0,4
Удельный вес обратных рейсов	0,2
Удельный вес конечных рейсов	0,15
Удельный вес начальных рейсов	0,25
Продолжительность стоянки ВС транзитных рейсов, ч	0,55
Продолжительность стоянки ВС обратных рейсов, ч	0,75
Продолжительность стоянки ВС конечных рейсов, ч	0,4
Продолжительность стоянки ВС начальных рейсов, ч	0,8
Продольная составляющая ветра, м/с	8

Таблица А.6 – Распечатка файла «Направления перевозок»

Аэропорт отправления:	<i>Самара</i>
Аэропорт назначения	Расстояние авиаперевозки, км
<i>Архангельск</i>	<i>1580</i>
<i>Краснодар</i>	<i>1320</i>
<i>Мин. Воды</i>	<i>1250</i>
<i>Санкт-Петербург</i>	<i>1490</i>
<i>Сочи</i>	<i>1490</i>

Таблица А.7 – Распечатка файла «Стоимостные параметры Ту-204»

<i>Ту - 204</i>	
Стоимость самолета без двигателей, долл.	25000000
Полный срок службы самолета, ч.	40000
Стоимость одного двигателя, долл.	5000000
Полный срок службы двигателя, ч.	20000
Стоимость керосина, руб./кг	8
Часовой расход топлива, кг/ч.	4000
Зарплата командира экипажа, руб./мес.	4000
Резервируемый тоннаж, т	3,685
Тариф обработки груза в аэропорту отправления, руб./т	0,5
Тариф обработки груза в аэропортах назначения, руб./т	0,6

Рекомендации по использованию программы «Доставка груза»

- Для запуска программы «Доставка груза» необходимо каталог «МЕТОДИЧКА» записать на диск C:, либо в каждом из файлов «... .mcd» (например «Ту-204.mcd») исправить путь.

Для решения задачи оптимального распределения ВС на заданной сети авиалиний по критерию минимальной себестоимости выполнения рейса необходимо создать файлы расчета времени и себестоимости доставки груза для каждого используемого типа самолета.

Для работы с прикладной программой требуется создать файлы данных: «Технические характеристики (тип самолета)», «Данные по аэропорту отправления», «Направления перевозок», «Стоимостные параметры (тип самолета)» соответственно. Файлы данных должны иметь формат Microsoft Excel 97, что связано с особенностями работы системы Mathcad. Выше дана распечатка файлов данных («Технические характеристики Ту-204», «Данные по аэропорту отправления», «Направления перевозок», «Стоимостные параметры Ту-204»), которые можно использовать в качестве образца для создания файлов данных для других типов самолетов. Исходные данные считываются из файлов при запуске программы «Доставка груза».

Затем необходимо запустить систему Mathcad, открыть файл «Ту-204.mcd» и сохранить его под другим именем, например «Ил-96-300.mcd».

Если файлы исходных данных применительно к Ту-204 не подходят для данного типа самолета, например файл «Технические данные Ту-204.xls» не подходит для Ил-96-300, то после создания файла «Технические характеристики Ил-96-300.xls» необходимо его открыть в системе.

Подробную инструкцию по использованию системы Mathcad можно найти в специальном справочнике Дьяконова В. «Mathcad 8/2000».

Минимальные системные требования для Mathcad 2000:

- процессор Pentium 90 и выше;
- устройство чтения компакт-дисков;
- операционная система Windows 95/98 и выше;
- не менее 16 Мбайт оперативной памяти (желательно 32);
- не менее 80 Мбайт свободного пространства на жестком диске при типовой инсталляции и не менее 30 Мбайт при инсталляции в минимальном варианте;
- графическая видеосистема VGA и выше, желательно Super VGA с числом цветов не менее 256.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Эксплуатационные характеристики ВС

Тип самолета	Количество ВС данного типа α_k , шт.	Взлетная масса, т	Максимальная коммерческая загрузка, т	Количество пассажирских кресел, шт.	Крейсерская скорость, км/ч	Максимальная практическая дальность полета, км	Резервируемый тоннаж d_k , т
Ту-154А	3	94	20	140-180	900	2750	3,279
Ту-204	3	93,5	23,5	214	830	3500	3,592
Як-42	4	50	14,5	100-120	810	1850-1900	3,275
MD-87	2	67,8	14	114-137	925	5250	1,216

Таблица Б.2 – Количество грузов, подлежащих перевозке

Тип груза	Аэропорт назначения	Количество груза, подлежащее перевозке в аэропорт назначения, т
1. Заводское оборудование		
Q ₁₁	<i>Архангельск</i>	11
Q ₁₂	<i>Краснодар</i>	8,35
Q ₁₃	<i>Мин. Воды</i>	4
Q ₁₄	<i>Санкт-Петербург</i>	5,5
Q ₁₅	<i>Сочи</i>	3,5

Таблица Б.3 – Направления перевозок

Аэропорт отправления:	<i>Самара</i>
Аэропорт назначения	Расстояние авиаперевозки, км
<i>Алма-Ата</i>	<i>2460</i>
<i>Архангельск</i>	<i>1580</i>
<i>Астрахань</i>	<i>1040</i>
<i>Баку</i>	<i>1490</i>
<i>Душанбе</i>	<i>2380</i>
<i>Ереван</i>	<i>1750</i>
<i>Иркутск</i>	<i>3680</i>
<i>Калининград</i>	<i>2020</i>
<i>Краснодар</i>	<i>1320</i>
<i>Красноярск</i>	<i>2730</i>
<i>Мин. Воды</i>	<i>1250</i>
<i>Москва</i>	<i>870</i>
<i>Мурманск</i>	<i>2260</i>
<i>Нижневарттовск</i>	<i>1820</i>
<i>Нижний Новгород</i>	<i>520</i>
<i>Новосибирск</i>	<i>2150</i>
<i>Норильск</i>	<i>2800</i>
<i>Пермь</i>	<i>710</i>
<i>Санкт-Петербург</i>	<i>1490</i>
<i>Сочи</i>	<i>1490</i>
<i>Сургут</i>	<i>1720</i>
<i>Ташкент</i>	<i>2100</i>
<i>Тюмень</i>	<i>1070</i>
<i>Хабаровск</i>	<i>5650</i>

ПАКЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ (Инструкция пользователя)

ППП ПЭР предназначен для решения ряда экономико-математических задач на персональных компьютерах типа IBM PC. Для работы ПЭР требуется не меньше 256 кб оперативной памяти, DOS версии 2.0 и выше, возможно использование пакета и в Windows .

В пакете реализованы наиболее часто используемые экономико-математические задачи и методы, такие как:

1. Линейное программирование
2. Целочисленное программирование
3. Транспортная задача
4. Задача о назначениях
5. Сетевое моделирование
6. Сетевое планирование (метод критического пути)
7. Сетевое планирование (метод П Е Р Т)
8. Динамическое программирование
9. Управление запасами
10. Теория очередей
11. Теория массового обслуживания
12. Вероятностная теория принятия решений
13. Марковские процессы

14. Временные ряды

Основным меню, содержащим перечисление всех выше изложенных методов, предназначенным для выбора нужной программы, является программное меню. С помощью этого меню осуществляется выбор программы и переход к решению конкретной задачи. Вид меню:

ПРИГЛАШАЕТ ПЭР (ПАКЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ) ! Спец. клав: F10 - КОНЕЦ; F9 - ВОЗВРАТ в гол. меню; F8 - ПЕЧАТЬ экрана:	
Код	Программа
=>1	– Линейное программирование
2	– Целоч. линейное програм-ние
3	– Транспортная задача
4	– Задача о назначении
5	– Сетевое моделирование
6	– Сетевое планирование - СРМ
7	– Сетевое планирование - PERT
8	– Динамическое програм-ние
9	– Управление запасами
A	– Теория очередей
B	– Теория масс. обслуживания
C	– Теория вероятн. решений
D	– Марковский процесс
E	– Временные ряды
!!	– КОНЕЦ РАБОТЫ

УКАЖИТЕ КУРСОРОМ (ВНИЗ/ВВЕРХ) и нажмите ENTER или введите КОД ОПЦИИ.

Решение любой задачи начинается с появления на экране функционального меню. Пример функционального меню для задач линейного программирования:

Работает ЦЕЛОЧИСЛ. ЛИНЕЙН. ПРОГР-Е (ILP) системы принятия решения! F10 -КОНЕЦ работы; F9 -ВОЗВРАТ в меню программ; F8 -ПЕЧАТЬ тек. экрана	
Опция	Функция
=>1	---- ОБЗОР для ILP СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
2	---- ВВОД новой задачи
3	---- ЧТЕНИЕ существующей задачи с диска
4	---- ВЫВОД и/или ПЕЧАТЬ входных данных
5	---- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
6	---- СОХРАНЕНИЕ задачи на диске
7	---- КОРРЕКТИРОВКА
8	---- ВЫВОД и/или ПЕЧАТЬ окончательного решения
9	---- ВОЗВРАТ в меню программ
0	---- КОНЕЦ работы

УКАЖИТЕ КУРСОРОМ (ВНИЗ/ВВЕРХ) и нажмите ENTER или введите КОД ОПЦИИ.

В этом меню пользователю предлагается выбрать одну из требуемых функций.

При реализации ряда функций данного меню происходит переход к новому меню для задания способов исполнения выбранной функции.

2. ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (ILP)

Эта программа решает задачи частично-целочисленного линейного программирования методом ветвей и границ. Максимальные размеры решаемых задач: 20 основных переменных и 20 ограничений (без учета дополнительных переменных и ограничений на отдельные переменные). При желании можно задать вывод решения по шагам метода ветвей и границ. Можно определить 4-х символьные имена переменных. По умолчанию переменным присваиваются имена X_1, X_2, \dots, X_n .

Подготовка данных осуществляется следующим образом:

Минимум $3.2 X_1 + 4.0 X_2 - 7 X_3$

При условиях:

$$(1) \quad 4 X_1 + 2.5 X_2 + 8 X_3 \geq 42$$

$$(2) \quad 2.4 X_1 + 5 X_2 - 3.5 X_3 \leq 34.4$$

Границы: $X_1 \geq 2$ и целочисленное (переменные предполагаются неотрицательными).

Возможно вывести на экран и распечатать конечное решение. Начальные данные задачи можно модифицировать с помощью 7 пункта меню «Корректировка» и сохранить на диске(те) для последующего считывания и решения (пункт 6 – «Сохранение задачи на диске»).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Вариант задания на курсовую работу:

Аэропорт назначения	Марка самолета				Количество груза, подлежащего перевозке g_{λ} , т
	Ту-154А	Ту-204	Як-42	MD-87	
	Количество самолетов каждой марки, шт.				
	$\alpha_1 = 3$	$\alpha_2 = 3$	$\alpha_3 = 4$	$\alpha_4 = 2$	
<i>Архангельск</i>	C_{11} Z_{11}	C_{12} Z_{12}	C_{13} Z_{13}	C_{14} Z_{14}	11
<i>Краснодар</i>	C_{21} Z_{21}	C_{22} Z_{22}	C_{23} Z_{23}	C_{24} Z_{24}	8,35
<i>Мин. Воды</i>	C_{31} Z_{31}	C_{32} Z_{32}	C_{33} Z_{33}	C_{34} Z_{34}	4
<i>Санкт-Петербург</i>	C_{41} Z_{41}	C_{42} Z_{42}	C_{43} Z_{43}	C_{44} Z_{44}	5,5
<i>Сочи</i>	C_{11} Z_{51}	C_{52} Z_{52}	C_{53} Z_{53}	C_{54} Z_{54}	3,5
Кол-во груза, которое могут перевезти авиалайнеры к-го типа β_{λ} , т	β_1	β_2	β_3	β_4	

Таблица 1 – ТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Марка самолета	Длина разбега, м	Скорость отрыва, м/с	Длина разгона с набором, м	Безопасная скорость, м/с	Время набора установленной высоты, мин.	Крейсерская скорость, м/с	Время снижения, мин.	Длина участка планирования, м	Скорость снижения, м/с	Посадочная скорость, м/с	Длина пробега, м
Ту - 134	1057	62	759	74	11,4	236	11,3	450	62	52	522
Ту - 154А	736	66	506	83	4,8	250	13,5	361	62	55	825
Ту - 204	842	77	1237	93	7,8	230	19,93	608	75	63	863
Ил - 76	1170	78	900	94	10,3	260	17	940	81	65	754
Ил - 86	1400	78	433	94	20,6	250	19,1	589	74	63	887
Ил - 96-300	1498	86	1004	108	17	195	27,77	353	71	67	673
Як - 40	392	49	187	58	8,3	139	24	428	50	39	307
Як - 42	777	69	336	83	7,34	167	15,99	778	79	66	685
Ан - 74	604	61	320	74	10,6	150	22,22	287	40	33	400
Ан - 124	1536	77	1170	92	14,44	216	12,37	662	71	59	1217
Ан - 225	1342	78	676	94	27	250	18,7	610	65	53	1104
Boeing											
707-320В	1185	70	1099	91	12,1	230	20	773	68	52	700
720В	1638	74	1413	93	19,82	142	23,5	701	68	57	592
727-200	1576	81	1200	102	7,65	250	14,83	852	82	68	1438
737-400	804	66	564	82	8,4	216	12,3	396	55	47	340
747-400	891	71	610	92	10	251	12,62	559	65	54	908
777	1191	90	936	116	10,88	250	18,33	1060	88	72	728
Mc Donnell Douglas											
DC – 10-30	1000	73	902	95	16	242	20	1200	84	63	590
MD – 11	1564	92	1237	119	8,6	202	12	815	89	77	1298
MD - 87	1992	78	1082	101	13,45	210	17,86	832	72	59	588
Lockheed											
L - 1011-500	1397	84	1190	106	7,7	217	12,3	895	83	65	1050
Focker											
F - 100	1024	73	682	91	19,8	192	24	875	72	55	1059
Марка самолета	Длина разбега, м	Скорость отрыва, м/с	Длина разгона с набором, м	Безопасная скорость, м/с	Время набора установленной высоты, мин.	Крейсерская скорость, м/с	Время снижения, мин.	Длина участка планирования, м	Скорость снижения, м/с	Посадочная скорость, м/с	Длина пробега, м

Ту - 134	пас.	44,0	13,2	7,7	72	3200	50000	2
Ту - 154А	пас.	94,0	35,0	16,0	140 - 180	2750	105000	3
Ту - 204	пас.	93,5	24,0	23,5	214	3500	161000	2
Ил - 76	трансп.	157,0	61,37	40,0	-	4800	118000	4
Ил - 86	пас.	206,0	60,0	42,0	350	3600 - 5800	120000	4
Ил - 96-300	пас.	216,0	114,5	44,0	300	9000 - 11000	134000	4
Як - 40	пас.	14,9 – 16,1	3,0 – 4,0	2,6 – 3,2	24 - 32	1000 - 1600	11100	3
Як - 42	пас.	52,0	15,0	14,5	100 – 120	1850 – 1900	65000	3
Ан - 74	трансп.	33,0	12,95	10,0	-	2000	64000	2
Ан - 124	трансп.	405,0	230,0	150,0	-	16500	230000	4
Ан - 225	трансп.	600,0	240,0	250,0	-	14700	230000	6
Boeing								
707-320В	пас.	148,3	52,0	23,6	189	12300	79380	4
720В	пас.	106,1	40,0	15,0	116	6687	77110	4
727-200	пас.	95,0	23,0	18,6	189	6020	65770	3
737-400	пас.	62,8	16,19	17,7	146 – 170	3611	90000	2
747-400	пас.	394,6	161,58	110,0	660	4600	216250	4
777	пас.	233,0	90,0	40,0	360 – 390	7700	158000	2
Mc Donnell Douglas								
DC - 10-30	пас.	259,5	116,0	47,0	247	10280	227000	3
MD - 11	пас.	274,7	121,1	51,06	293 – 405	12566	300000	3
MD - 87	пас.	67,8	19,7	14,0	114 – 137	5250	90000	2
Lockheed								
L – 1011-500	пас.	225,0	55,8	41,8	330	8480	153000	3
Focker								
F - 100	пас.	43,1	13	12,39	107	2161	67000	2
Марка ВС	Тип ВС	Макс. взлетная масса, т	Масса топлива, т	Макс. коммерч. загрузка, т	Кол-во пассаж. кресел, шт.	Макс. практич. дальность, км	Статич. тяга двигателя, Н	Число двигателей, шт.
Эйрбас Индастри								

A – 300-600	пас.	165,0	46,5	41,4	375	6704	262400	2
A – 320-200	пас.	73,5	23,86	18,85	153 –179	5300	111000	2
A – 321	пас.	82,2	23,9	20,0	186 – 200	5000	111200	2
A – 330-300	пас.	208,0	70,13	46,8	335 – 385	9175	291400	2
A – 340-300	пас.	251,0	101,25	45,5	328 – 385	13600	138800	4
Хантинг Эйркрафт								
ВАС 111-500	пас.	45,2	9,0	12,36	119	3560	56930	2

Таблица 3 – СТОИМОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Марка ВС	Стоимость самолета, млн. долл.	Полный срок службы самолета, час.	Стоимость одного двигателя, млн. долл.	Полный срок службы двигателя, час.	Часовой расход топлива, т/час	Стоимость керосина, долл./кг	Зарплата командира экипажа, долл./мес.
----------	--------------------------------	-----------------------------------	--	------------------------------------	-------------------------------	------------------------------	--

Ту - 134	15	40000	1,5	19000	2,5	0,267	133
Ту - 154А	25	35000	2,5	18000	5,0		
Ту - 204	35	40000	5,0	20000	4,0		
Ил - 76	35	20000	2,5	9000	6,5		
Ил - 86	55	30000	3,5	6000	8,5		
Ил - 96-300	60	40000	5,0	18000	6,0		
Як - 40	10	40000	1,0	18000	1,2		
Як - 42	20	30000	1,6	15000	3,5		
Ан - 74	18	40000	1,6	6000	2,5		
Ан - 124	65	20000	6	6000	10,0		
Ан - 225	80	15000	6	6000	10,0		
Boeing							
707-320В	52	30000	3,7	9000	6,5		
720В	52	30000	4	9000	6,5		
727-200	53	30000	4	9000	5,0		
737-400	30	40000	7	10000	6,0		
747-400	97	40000	9	6000	9,0		
777	90	40000	9	6000	7,0		
Mc Donnell Douglas							
DC – 10-30	82	30000	9	6000	10,0		
MD – 11	90	40000	9	6000	12,0		
MD – 87	40	30000	3,8	7000	3,0		
Lockheed							
L – 1011-500	90	40000	7,5	3000	3,5		
Focker							
F - 100	25	30000	3,8	15000	4,5		
Марка ВС	Стоимость самолета, млн. долл.	Полный срок службы самолета, час.	Стоимость одного двигателя, млн. долл.	Полный срок службы двигателя, час.	Часовой расход топлива, т/час	Стоимость керосина, долл./кг	Зарплата командира экипажа, долл./мес.
Эйрбас Индастри							

A – 300-600	52	35000	9	6000	10,0		
A – 320-200	53	35000	4	9000	3,0		
A – 321	55	35000	4	9500	3,0		
A – 330-300	82	40000	10	6000	11,0		
A – 340-300	90	40000	7,5	18000	5,5		
Хантинг Эйркрафт							
ВАС 111-500	25	40000	3	6000	2,0		

Тангенс угла наклона виража РД	0,015
Коэффициент бокового сцепления	0,15
Коэффициент трения	0,025
Приведенный коэффициент трения	0,25
Ширина ВПП, м	60
Ширина РД, м	22,5
Скорость выруливания на ВПП, м/с	7
Скорость отруливания с ВПП, м/с	7
Скорость руления по РД, м/с	7
Длина пути руления ВС до предварительного старта на РД, км	2
Длина пути руления ВС до места стоянки на перроне, км	2
Удельный вес транзитных рейсов	0,4
Удельный вес обратных рейсов	0,2
Удельный вес конечных рейсов	0,15
Удельный вес начальных рейсов	0,25
Продолжительность стоянки ВС транзитных рейсов, ч	0,55
Продолжительность стоянки ВС обратных рейсов, ч	0,75
Продолжительность стоянки ВС конечных рейсов, ч	0,4
Продолжительность стоянки ВС начальных рейсов, ч	0,8
Продольная составляющая ветра, м/с	8

Аэропорт отправления:

Самара

Аэропорт назначения:

Расстояние авиаперевозки, км

Архангельск	1580
Краснодар	1320
Мин. Воды	1250
Санкт-Петербург	1490
Сочи	1490

MD - 87

Стоимость самолета без двигателя, долл.	38000000
Полный срок службы самолета, час.	30000
Стоимость одного двигателя, долл.	1000000
Полный срок службы двигателя, час.	7000
Стоимость керосина, руб./кг	8
Часовой расход топлива, кг/час	3000
Зарплата командира экипажа, руб./мес.	4000
Резервируемый тоннаж, т	1,216
Тариф обработки груза в аэропорту отправления, руб./т	0,5
Тариф обработки груза в аэропортах назначения, руб./т	0,6

Ty - 154A

Стоимость самолета без двигателя, долл.	17500000
Полный срок службы самолета, час.	35000
Стоимость одного двигателя, долл.	2500000
Полный срок службы двигателя, час.	18000
Стоимость керосина, руб./кг	8
Часовой расход топлива, кг/час	5000
Зарплата командира экипажа, руб./мес.	4000
Резервируемый тоннаж, т	3,279
Тариф обработки груза в аэропорту отправления, руб./т	0,5
Тариф обработки груза в аэропортах назначения, руб./т	0,6

Ту - 204

Стоимость самолета без двигателя, долл.	25000000
Полный срок службы самолета, час.	40000
Стоимость одного двигателя, долл.	5000000
Полный срок службы двигателя, час.	20000
Стоимость керосина, руб./кг	8
Часовой расход топлива, кг/час	4000
Зарплата командира экипажа, руб./мес.	4000
Резервируемый тоннаж, т	3,685
Тариф обработки груза в аэропорту отправления, руб./т	0,5
Тариф обработки груза в аэропортах назначения, руб./т	0,6

Як - 42

Стоимость самолета без двигателя, долл.	15200000
Полный срок службы самолета, час.	30000
Стоимость одного двигателя, долл.	1600000
Полный срок службы двигателя, час.	15000
Стоимость керосина, руб./кг	8
Часовой расход топлива, кг/час	3500
Зарплата командира экипажа, руб./мес.	4000
Резервируемый тоннаж, т	3,275
Тариф обработки груза в аэропорту отправления, руб./т	0,5
Тариф обработки груза в аэропортах назначения, руб./т	0,6

Марка ВС	MD - 87
Тип ВС	1 - пас.
Максимальная взлетная масса, т	67,8
Масса топлива, т	21
Длина разбега, м	1992
Скорость отрыва, м/с	78
Длина разгона с набором, м	1082
Безопасная скорость, м/с	101
Время набора крейс. высоты, мин.	7,7
Крейсерская скорость, км/ч	925
Время снижения, мин.	12,3
Длина участка планирования, м	895
Скорость снижения, м/с	83
Посадочная скорость, м/с	65
Длина пробега, м	1050
Количество двигателей, шт	2
Статическая тяга двигателя, Н	90000

Марка ВС	Ту - 154А
Тип ВС	1 - пас.
Максимальная взлетная масса, т	94
Масса топлива, т	35
Длина разбега, м	736
Скорость отрыва, м/с	66
Длина разгона с набором, м	506
Безопасная скорость, м/с	83
Время набора крейс. высоты, мин.	4,8
Крейсерская скорость, км/ч	900
Время снижения, мин.	13,5
Длина участка планирования, м	361
Скорость снижения, м/с	62
Посадочная скорость, м/с	55
Длина пробега, м	825
Количество двигателей, шт	3
Статическая тяга двигателя, Н	98300

Марка ВС	<i>Tu - 204</i>
Тип ВС	1 - пас.
Максимальная взлетная масса, т	93,5
Масса топлива, т	24
Длина разбега, м	842
Скорость отрыва, м/с	77
Длина разгона с набором, м	514
Безопасная скорость, м/с	93
Время набора крейс. высоты, мин.	7,8
Крейсерская скорость, м/с	230
Время снижения, мин.	19,9
Длина участка планирования, м	608
Скорость снижения, м/с	75
Посадочная скорость, м/с	63
Длина пробега, м	863
Количество двигателей, шт	2
Статическая тяга двигателя, Н	161000

Марка ВС	Як - 42
Тип ВС	1 - пас.
Максимальная взлетная масса, т	50
Масса топлива, т	15
Длина разбега, м	777
Скорость отрыва, м/с	69
Длина разгона с набором, м	336
Безопасная скорость, м/с	83
Время набора крейс. высоты, мин.	7,34
Крейсерская скорость, км/ч	810
Время снижения, мин.	15,9
Длина участка планирования, м	778
Скорость снижения, м/с	79
Посадочная скорость, м/с	66
Длина пробега, м	685
Количество двигателей, шт	3
Статическая тяга двигателя, Н	65000