

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

В.В. Андрианов

**ПОСОБИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

**по дисциплине
«Управленческие решения»**

**для студентов IV курса
специальности 08.05.07
заочного обучения**

Москва – 2008

БК 33.07

А65

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Московского государственного технического университета ГА

Рецензент: канд. экон. наук, доц. Н.И.Степанова

Андрианов В.В. ПОСОБИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ по дисциплине «Управленческие решения» для студентов IV курса специальности 08.05.07 заочного обучения.

Учебное пособие написано в соответствии с учебным планом подготовки студентов заочного обучения специальности 08.05.07.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры и методического совета.

1. Введение

1.1. Цели и содержание курсовой работы

В процессе изучения дисциплины "Управленческие решения" (УР) в соответствии с учебным планом подготовки по специальности 080507 студентам заочного обучения предлагается выполнить курсовую работу (КР), основными целями которой являются:

- 1) закрепление теоретических знаний по базовым разделам дисциплины;
- 2) выработка навыков практической реализации ключевых этапов процесса разработки, оценки и принятия УР с использованием принципов системного подхода, а также современных экономико-математических методов моделирования, поиска оптимальных вариантов и оценки последствий реализации УР.

Субъект управления (СУ) с помощью управленческих решений (УР) оказывает воздействие на объект управления (ОУ) и управленческую ситуацию (УС), характеризуемую совокупностью параметров объекта управления (ОУ), процесса его функционирования (ПФ) (выполнения целевого назначения ОУ), а также факторов внешней среды (ВНС).

Процесс разработки, оценки и принятия УР представляет собой итерационный процесс, состоящий из совокупности этапов, показанных на рис.1 в [1,с.4].

В КР предлагается решить комплекс из 6 взаимосвязанных задач, для которых: сформулированы постановки задач, заданы исходные данные и перечислены искомые величины. Результаты, полученные в ходе решения первоначальных задач, используются для решения последующих задач.

Задачи 1,2,5,6 КР могут быть решены вручную или с помощью ЭВМ-программ [3], реализующих алгоритмы их решения.

Более подробно особенности реализации алгоритмов методов разработки УР изложены в учебных пособиях [1, 2, 3].

1.2. Определение номера варианта КР

КР выполняется по индивидуальному варианту задания, номер которого определяется двум последним цифрам номера зачетной книжки студента (см.табл.1.1). По номеру варианта студент сам находит в данном пособии исходные данные, необходимые для решения задач КР.

Таблица 1.1.
Номера вариантов курсовой работы

Последние цифры N зачетной книжки	Номер варианта	Последние цифры N зачетной книжки	Номер варианта	Последние цифры N зачетной книжки	Номер варианта	Последние цифры N зачетной книжки	Номер варианта
01 – 05	1	26 – 30	6	51 – 55	11	76 – 80	16
06 – 10	2	31 – 35	7	56 – 60	12	81 – 85	17
11 – 15	3	36 – 40	8	61 – 65	13	86 – 90	18
16 – 20	4	41 – 45	9	66 – 70	14	91 – 95	19
21 - 25	5	46 - 50	10	71 - 76	15	96 – 00	20

1.3. Требования к оформлению пояснительной записки

Отчет о выполнении КР представляется в виде переплетенной пояснительной записки объемом не более 25 страниц, с пронумерованными страницами и начинающейся с титульного листа, на котором должны быть указаны: названия университета, кафедры и дисциплины, ф.и.о. - лектора и автора работы, номера зачетной книжки, варианта и номера регистрации в деканате. В начале записки надо привести результаты решения управленческих задач КР (см. табл. 1.2).

Таблица 1.2.
Результаты решения комплекса задач КР

Задача	Результат	Задача	Результат
1	Прогноз $x_2=54.03$;	4	Расчетная $\lambda_{bc}=22$ ВС/ч; $\lambda_{pass}=1413$ пасс/ч
2	Прогноз $Q_7=351$ млн.ткм.	5	$\chi^2=7.95$ у закона Пуассона у ВС $\chi^2=8.102$ у эксп. закона для процесса обслуживания
3	А) Прибыль факт. парка ВС = 71955 млн.руб. Б) Мах прибыль рынка = 72655 ден.ед. В) Opt парк ВС: 9 Ил-96м; 5 Ту-154м; 19 Ту-204м; 30 Ил-114 Прибыль opt парка ВС =72100 млн.руб.	6	Opt число тягачей $N_k=13$

При выполнении КР рекомендуется: 1) выполнять вычисления с точностью до 0.00001, округляя до 0.001; 2) привести в записке исходные данные,

экономико-математические модели, промежуточные и итоговые результаты решения задач, перечень использованной литературы; 3) нумеровать арабскими цифрами страницы, таблицы, модели и графики;

При выполнении КР не рекомендуется: 1) использовать в записке некорректные сокращения и выражения. 2) проверять на калькуляторах результаты, приведенные в пособии, поскольку они вычислены на ЭВМ за один старт с точностью более чем 10^{-300} степени.

Автор заранее благодарит студентов, сообщивших об обнаруженных в пособии ошибках, опечатках, неточностях.

2. Методические рекомендации к выполнению курсовой работы

2.1. Концепции проблемы КР

Суть управленческой ситуации (УС), для которой в КР необходимо разработать комплекс УР, заключается в следующем:

1. Объектом управления (ОУ) в КР является авиакомпания (АК), обладающая фактическим парком ВС, состав которого задан в табл.1. Приложения. Летно-технические параметры ВС приведены в табл.4 Приложения. АК выполняет полеты по 7-ми ВЛ, протяженность которых задана в табл.3 Приложения, а объемы авиаперевозок (млн. ткм.) за 7 лет по 1, 2, 3, 4, 5 и 6-й ВЛ в табл.2 Приложения.

2. Объем перевозок Q_7 по 7-й ВЛ формируется под влиянием -2х критических факторов внешней среды x_1 и x_2 . Для многофакторного прогнозирования Q_7 необходимо использовать информацию о Q_7 по 7-й ВЛ и критических факторах внешней среды x_1 и x_2 за 7 лет $t_i=1-7$, данные в табл.9 Приложения. Динамика критического фактора ВНС x_2 для однофакторного прогнозирования приведена табл.5.

3. Расходы c_{ij} и прибыль r_{ij} , получаемые от перевозки 1 ткм. на i -м типе ВС на заданную j -ю дальность полета известны и приведены в табл.15 Приложения.

4. Сезонная, недельная и суточная неравномерности перевозок известны и приведены соответственно в табл.6, 7, 8 Приложения.

5. Число киосков саморегистрации в базовом аэропорту даны в табл.11 Приложения, а запасы ресурсов предприятия (ГСМ и оборотных средств АК) в табл.14 Приложения.

6. Интервалы между прибытиями пассажиров на саморегистрацию указаны в табл.12 Приложения, а времена саморегистрации в табл.13 Приложения.

Суть проблемы и текущие цели ОУ в УС заключаются в разработке УР, связанных с оценкой достаточности фактического (заданного) парка ВС и ресурсов, необходимых для полного удовлетворения спроса на перевозки, а также с заблаговременным выявлением "узких мест", которые могут возникнуть в перспективе, и своевременным их предупреждением.

2.2. Декомпозиция проблемы КР

Декомпозиция проблемы КР – представление проблемы КР в виде совокупности взаимосвязанных задач, представлена в табл.2.1.

Таблица 2.1.
Деление проблемы на взаимосвязанные задачи

Задача	Суть задачи
1	Прогнозирование критического фактора внешней среды x_2
2	Прогнозирование объема перевозок по 7-й ВЛ Q7, как функции критических факторов внешней среды x_1 и x_2 .
3	А) Оценка потенциала рынка авиаперевозок . Б) Оценка потенциала фактического парка ВС. В) Поиск оптимального парка ВС .
4	Выбор и оценка параметров расчетного случая для формирования перспективного облика УС.
5	Оптимизация облика элементов ОУ.
6	Оценка достаточности и потребности в ресурсах.

2.2.1. Прогнозирование критического фактора внешней среды x_2

Задача 1 посвящена моделированию и оценке точечного и интервального прогнозов одного из факторов внешней среды x_2 , оказывающего влияние на спрос на перевозки по 7-й ВЛ (УР 1.1). Исходные данные примера прогнозирования x_2 приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2.

Исходные данные для прогнозирования фактора x_2

Номер года (t_i)	1	2	3	4	5	6	7	8
x_{2i}	5.00	6.00	9.00	14.00	21.00	30.00	41.00	?.

Считая фактор x_2 функцией $y = f(t)$, в задаче 1 необходимо:

1. Рассчитать параметры моделей зависимости $y = f(t)$ вида:

$$\text{а) } y = a + b \cdot t; \quad (2.1) \quad \text{в) } y = a \cdot b^t; \quad (2.3)$$

$$\text{б) } y = a \cdot t^b; \quad (2.2) \quad \text{г) } y = a + b \cdot t + c \cdot t^2. \quad (2.4)$$

2. Оценить адекватность моделей (2.1) - (2.4) и выбрать модель для прогнозирования $y \rightarrow (x_2)$.

3. Сформировать прогноз x_2 по выбранной модели.

Алгоритм решения задачи 1 состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Вычислить математические ожидания y и t

$$\mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{7} (5.01 + 6.00 + 9.00 + 14.00 + 21.00 + 30.00 + 41.00) = 18.00 \quad \text{и}$$

$$\mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{7} (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7) = 4, \quad (2.5)$$

где n - объем выборки ($n=7$).

$$\text{Шаг 2. Вычислить дисперсию } y \quad \sigma^2_y = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \mu_y)^2}{(n-1)} = 181.96. \quad (2.6)$$

Шаг 3. Вычислить коэффициент парной корреляции между y и t

$$r_{yt} = \frac{\sum (y_i - \mu_y)(t_i - \mu_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2 \sum_{i=1}^n (t_i - \mu_t)^2}} = 0.961, \quad (2.7)$$

где y_i - i -е значение моделируемого показателя y ;

t_i - i -е значение фактора времени.

Шаг 4. Вычислить оценку значимости коэффициента парной корреляции

$$t_r = |r_{yt}| \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r^2_{yt})}} = 7.740. \quad (2.8)$$

Шаг 5. Вычислить критерий значимости r_{yt}

$$t_r \geq t_{v,p}. \quad (2.9)$$

где $t_{v,p}$ - табличный квантиль t -критерия Стьюдента;

n_p - количество расчетных параметров в модели;

p - вероятность ошибки;

p_d - доверительная вероятность (при $p_d=0.95$; $p=1-0.95=0.05$).

$v=n-n_p$ - вход в таблицу квантилей t -распределения Стьюдента (табл.1 Приложения I [1, с.114]); Поскольку $t_r=7.74 > t_{v,p}=2.36$, то r_{yt} значим, Шаг 6. Вычислить параметры a, b, c моделей 2.1 - 2.4 по формулам

$$y = a + b * t; \quad b = \frac{\sum_i t_i \sum_i y_i - n \sum_i t_i y_i}{(\sum_i t_i)^2 - n \sum_i t_i^2}; \quad a = (\sum y_i - b \sum t_i) / n; \quad (2.10)$$

$$y = a * t^b; \quad b = \frac{\sum_i \ln(t_i) \sum_i \ln(y_i) - n \sum_i \ln(t_i) \ln(y_i)}{(\sum_i \ln(t_i))^2 - n \sum_i \ln(t_i^2)}; \quad (2.11)$$

$$a = \exp(\sum \ln(y_i) - b \sum \ln(t_i)) / n;$$

$$y = a * b^t; \quad b1 = \frac{\sum_i t_i \sum_i \ln(y_i) - n \sum_i t_i \ln(y_i)}{(\sum_i t_i)^2 - n \sum_i t_i^2}; \quad b = \exp b1; \quad (2.12)$$

$$a = \exp(\sum \ln(y_i) - b1 \sum t_i) / n;$$

$$y = a + b * t + c * t^2; \quad d1 = n \sum t_i^3 - \sum t_i \sum t_i^2; \quad d2 = n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2; \quad (2.13)$$

$$d3 = n \sum (y_i t_i^2) - \sum y_i \sum t_i^2 + d1(\sum t_i \sum y_i - n \sum (t_i y_i)) / d2;$$

$$c = d3 / (n \sum t_i^4 - \sum t_i^2 \sum t_i^2 - d1^2 / d2);$$

$$b = (n \sum (t_i y_i) - \sum t_i \sum y_i - c * d1) / d2;$$

$$a = (\sum y_i - b \sum t_i - c \sum t_i^2) / n;$$

$$1) y = -5.99 + 5.999 * t; \quad (2.14) \quad 3) y = 3.15 * 1.448^t; \quad (2.16)$$

$$2) y = 3.58 * t^{1.111}; \quad (2.15) \quad 4) y = 6.01 - 2.006 * t + 1.001 * t^2; \quad (2.17)$$

Модели (2.14) - (2.17) отображают взаимосвязь $y=f(t)$ неодинаково.

Шаг 8. Вычислить расчетные y_{ri} (подставляя $t=1,2,...,n$ в 2.14 - 2.17) и записать результаты в табл.2.2.

Анализ и сравнение моделей (2.14) - (2.17) Таблица 2.2.

		2.14			2.15			2.16			2.17		
y_i	y_{ri}	Δy	% Δy	y_{ri}	Δy	% Δy	y_{ri}	Δy	% Δy	y_{ri}	Δy	% Δy	
5	0	5	99.9	3.6	1.4	28.6	4.6	0.5	9.0	5	0	0.01	
6	6	0	0.1	7.7	1.7	28.8	6.6	0.6	10.0	6	0	0.0	
9	12	3	33.4	12.1	3.1	34.8	9.6	0.6	6.3	9	0	0.0	
14	18	4	28.6	16.7	2.7	19.3	13.9	0.1	1.1	14	0	0.0	
21	24	3	14.3	21.4	0.4	1.9	20.1	0.9	4.5	21	0	0.0	
30	30	0	0.0	26.2	3.8	12.6	29.1	0.9	3.1	30	0	0.0	
41	36	5	12.2	31.1	9.9	24.1	42.1	1.1	2.7	41	0	0.0	

Шаг 9. Вычислить абсолютные отклонения фактических y_{if} от расчетных y_{ip}

$$|\Delta y_i| = |y_{if} - y_{ip}| \quad \text{для } i=1,n. \quad (2.18)$$

Шаг 10. Вычислить проценты отклонений фактических $y_{i\phi}$ от расчетных y_{ip}

$$\% \Delta_i = \frac{|\Delta y_i|}{y_{i\phi}} * 100, \text{ для } i=1, n \quad (2.19)$$

Шаг 11. Вычислить среднюю ошибку аппроксимации

$$\Delta e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{i\phi} - y_{ri}|}{y_{i\phi}} * 100 \quad (2.20)$$

Шаг 12. Вычислить остаточную дисперсию y

$$\sigma_{ост}^2 = \sum_i \frac{(y_{i\phi} - y_{ri})^2}{(n - n_p)}, \quad (2.21)$$

где n_p - количество расчетных коэффициентов в модели.

Шаг 13. Вычислить корреляционное отношение

$$\eta_{yt} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{ост}^2}{\sigma_y^2}} \quad (2.22)$$

Шаг 14. Вычислить расчетную оценку F-критерия Фишера

$$F^* = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{ост}^2} \geq F[k_1, k_2, 1 - p_d], \quad (2.23)$$

где $F[k_1, k_2, 1 - p_d]$ - табличное значение квантилей F-распределения (табл.3

Приложения I [1, с.117]) (при $p_d \geq 90\%$ и $k_1 = n - 1, k_2 = n - 1$). При

$F^* \geq F[k_1, k_2, 1 - p]$ модель адекватна.

Шаг 15. Вычислить оценки значимости коэффициентов a, b, c

$$t_a^* = \frac{|a|}{\sigma_a^*} \geq t_{v, p_d}; \quad t_b^* = \frac{|b|}{\sigma_b^*} \geq t_{v, p_d}; \quad t_c^* = \frac{|c|}{\sigma_c^*} \geq t_{v, p_d}; \quad (2.24)$$

$$\text{где } \sigma_a^* = \sigma_y^* \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{\mu_i^2}{(n-1)\sigma_i^2}}; \quad \text{и} \quad \sigma_{b(c)}^* = \frac{\sigma_y^*}{\sigma_i^* * n_p^2 \sqrt{n + n_p - 1}}; \quad (2.25)$$

$$\sigma_y^* = \sigma_{ост} \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \mu_y)^2}{(n - n_p)}}; \quad (2.26) \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \mu_t)^2}{(n - 1)}}. \quad (2.27)$$

где t_{v, p_d} - табличное значение квантиля t-распределения Стьюдента

при входах $v = n - n_p$ и вероятности не менее 90%;

n_p - количество расчетных параметров в модели.

Результаты расчетов критериев адекватности записаны в табл.2.3. Поскольку

$t_a^* = 113.9$, $t_b^* = 2902.6$ и $t_c^* = 1447.9 > 2.36$, то a, b и c значимы. Анализ табл.2.3

позволяет сделать вывод о том, что по совокупности критериев $D_{\min} = 0.02\%$;

$\sigma_{ост \min}^2 = 0.9E-06$; $F^*_{\max} = 30568722 > F_T = 2.7$

Таблица 2.3.

Показатели оценки аспектов адекватности моделей

Критерии	(2.14)	(2.15)	(2.16)	(2.17)
Δe	26.9	21.5	5.2	0.02
$\sigma^2_{ост}$	16.8	26.9	0.8	0.00
η_{yt}	1.0	0.9	1.0	1.00
F^*	10.8	6.8	236.0	30568722.00
Прогноз у	42.0	36.1	61.0	54.00
$\Delta_{уп} = y_n - y_{n+1}$	1.0	4.9	20.0	13.00
t_a^*	0.1	0.0	0.2	113.90
t_b^*	2.4	0.4	2.7	2902.60
t_c^*	0.0	0.0	0.0	1447.90

модель (2.17) $y=6.01-2.006t+ 1.001t^2$ можно считать адекватной .

Шаг 16. Для модели (2.16) рассчитываем доверительный интервал

$$y_{ib/n}^u = y_{ri} \pm t_{\alpha} \sigma_{pi} \quad , \quad (2.28)$$

$$\text{где } \sigma_{pi} = \sigma_y \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t_i - \mu_t)^2}{\sum_i (t_i - \mu_t)^2}}; \quad (2.29) \quad \sigma_{y^{\wedge}} = \sqrt{\frac{\sum (y_{if} - y_{ip})^2}{(n - n_p)}} \quad , \quad (2.30)$$

где $t_{v,p}$ - квантиль критерия Стьюдента при $v=n-n_p$;

Шаг 17. Рассчитываем точечный прогноз $y(t=n+1=8)$, подставляя $t_8=8$ в

модель (2.17) $y_8=6.01-2.006*t_8+1.001*t_8^2 = 54.03$.

Шаг 18. Рассчитываем интервальный прогноз у при $t_{v,p}=1.895$ (где $v= 8-1 = =7$ и $p=0.10$) и записываем результат в табл.2.4.

Таблица 2.4.

Доверительный интервал прогноза x2

Год	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	Прогноз t=8
y_{ib}^u	5.02	6.01	9.01	14.01	21.01	30.01	41.01	54.05
y_{ri}	5.01	6.00	9.00	14.00	21.00	30.00	41.00	54.03
y_{in}^u	5.00	6.00	8.99	13.99	20.99	29.99	40.99	53.99

Итогом решения задачи 1 является прогноз фактора x_2 , величина которого принимается $x_2 = 54.03$ для разработки вытекающих из него УР.

2.2.2. Прогнозирование объема авиаперевозок по 7-й ВЛ

Задача 2 посвящена разработке многофакторной регрессионной модели и многофакторного прогноза спроса на авиаперевозки по 7-й ВЛ Q7 , как

функции факторов x_1 и x_2 $y = a_0 + a_1*x_1 + a_2*x_2,$ (2.31)

где x_1, x_2 - критические факторы, определяющие дисперсию у.

a_0, a_1, a_2 - расчетные коэффициенты уравнения регрессии.

Исходными данными для задачи 2 являются выборки фактических значений за 7 лет: спроса на авиаперевозки по 7-й ВЛ - Q7 (далее обозначен как у), факторов x_1 и x_2 , а также заданный прогноз фактора x_1 и УР₁ - прогноз фактора x_2 на 8-й год.

В задаче 2, необходимо: рассчитать параметры модели 2.31; оценить адекватность модели; сформировать многофакторный прогноз показателя Q7=y, используя заданный прогноз фактора x_1 (в примере $x_1=24.5$ см. табл.2.5, для своего варианта прогноз x_1 брать из табл.9 Приложения) и прогноз $x_2=54.03$ из задачи 1.

Алгоритм решения задачи 2 состоит из 7 шагов и поясняется на примере, исходные данные для которого приведены в табл.2.5.

Таблица 2.5.
Исходные данные для расчета многофакторной регрессионной модели

Q ₇ =y	Св. член	X1	X2
30	1	6.0	5.01
50	1	8.0	6.00
80	1	10.0	9.00
120	1	12.0	14.00
150	1	14.0	21.00
200	1	16.0	30.00
260	1	19.0	41.00
?.		Задано-> 24.5	Прогноз x2 = 54.03

Для расчета коэффициентов уравнения регрессии используется алгоритм многофакторного метода наименьших квадратов, в котором минимизируется целевая функция

$$K = \sum_i (y_i^\phi - y_i^p)^2 + \sum_i \xi_i^2 = (y_i^\phi - y_i^p)^T (y_i^\phi - y_i^p), \quad (2.32)$$

где y_i^ϕ – i-е фактическое значение моделируемой функции у;

y_i^p – i-е расчетное значение моделируемой функции у.

n - количество наблюдений исходных данных (n=7).

Расчет коэффициентов уравнения регрессии (2.31) выполняется путем решения матричного уравнения $A=(X^T X)^{-1} X^T Y$ по следующему алгоритму:

Шаг 1. Транспонируем матрицу X: $M_1 = X^T$ (2.33)

$$M_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 6 & 8 & 10 & 12 & 14 & 16 & 19 \\ 5 & 6 & 9 & 14 & 21 & 30 & 41 \end{vmatrix}$$

Шаг 2. Умножаем M_1 на матрицу X : $M_2 = (X^T X) =$ (2.34)

$$M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 6 & 8 & 10 & 12 & 14 & 16 & 19 \\ 5 & 6 & 9 & 14 & 21 & 30 & 41 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 6 & 5 \\ 1 & 8 & 6 \\ 1 & 10 & 9 \\ 1 & 12 & 14 \\ 1 & 14 & 21 \\ 1 & 16 & 30 \\ 1 & 19 & 41 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 7 & 85 & 126 \\ 85 & 1157 & 1889 \\ 126 & 1889 & 3360 \end{vmatrix}$$

Алгоритмы умножения и обращения см. в [1], Приложение III.

Шаг 3. Обращаем матрицу M_2 : $M_3 = (X^T X)^{-1} = (M_2)^{-1}$ (2.35)

$$M_3 = \begin{vmatrix} 6.10 & -0.91 & 0.28 \\ -0.91 & 0.15 & -0.05 \\ 0.28 & -0.05 & 0.02 \end{vmatrix}$$

Шаг 4. умножаем матрицу M_3 на M_1 : $M_4 = (X^T X)^{-1} X^T =$ (2.36)

$$\begin{vmatrix} 6.10 & -0.91 & 0.28 \\ -0.91 & 0.15 & -0.05 \\ 0.28 & -0.05 & 0.02 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 \\ 6 \\ 5 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 8 \\ 6 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 10 \\ 9 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 12 \\ 14 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 14 \\ 21 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 16 \\ 30 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 19 \\ 41 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 2.059 & 0.520 & -0.451 & -0.857 & -0.699 & 0.025 & 0.404 \\ -0.273 & -0.029 & 0.119 & 0.171 & 0.127 & -0.013 & -0.103 \\ 0.078 & -0.002 & -0.047 & -0.060 & -0.039 & 0.015 & 0.055 \end{vmatrix}$$

Шаг 5. умножаем матрицу M_4 на y : $M_5 = (X^T X)^{-1} X^T y$ (2.37)

$$y = -46.06 + 10.24 * x_1 + 2.71 * x_2 \quad . \quad (2.38)$$

Шаг 6. Вычисляем y_{pi} и прогноз y_p , подставляя x_{1i} , x_{2i} в (2.38).

Модель (2.38) адекватна, когда y_{pi} близки к y_{fi} , а знаки a_j совпадают с направлением влияния x_j на y_{fi} , а критерии адекватности имеют приемлемые величины.

Таблица 2.6.

Анализ регрессионной модели (2.38)

X_1	X_2	Y_{fi}	Y_{pi}	Δy	$\% \Delta y$
6	5	30	28.98	-1.02	3.41
8	6	50	52.14	2.14	4.29
10	9	80	80.76	0.76	0.96
12	14	120	114.82	-5.18	4.32
14	21	150	154.30	4.30	2.87
16	30	200	199.21	-0.79	0.40
19	41	260	259.79	-0.21	0.08

Шаг 7. Оцениваем адекватность модели (2.38) по критериям:

1. Остаточная дисперсия, характеризующая точность воспроизведения дисперсии y уравнением регрессии

$$\sigma_{ост}^2 = \frac{\sum_i (y_{\phi i} - y_{ri})}{(n - n_p)} = 13.058, \quad (2.39)$$

где n - объем выборки;

n_p - количество расчетных параметров;

$y_{\phi i}$ - фактические значения y ;

y_{ri} - расчетные значения y ;

2. Средняя ошибка аппроксимации, оценивающая точность модели

$$\Delta e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{\phi i} - y_{ri}|}{y_{\phi i}} * 100 = 2.33 \% \quad . \quad (2.40)$$

3. F^* -критерий Фишера, оценивающий однородность дисперсий

$$F^* = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{ост}^2} = \frac{6857.143}{13.058} = 525.12, \quad (2.41)$$

где $\sigma_{ост}^2$ - остаточная дисперсия;

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \mu_y)^2}{(n-1)} = 6857.143 \quad - \text{системная дисперсия } y. \quad (2.42)$$

Модель адекватна, если $F^* \geq F_{\text{табл}[.95, k1, k2]}$, (2.43)

где F^* - расчетное значения F-критерия Фишера;

$F_{\text{табл}[k1, k2]}$ - табличное значение квантиля F-распределения Фишера (см. табл.3 Приложения I [1, с.117]);

$k1 = (n-1)$ и $k2 = (n-n_p-1)$ - входы в таблицу F-распределения Фишера.

4. Коэффициент множественной корреляции R , оценивающий гипотезу о линейности уравнения регрессии

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{ост}^2}{\sigma_y^2}} = 0.999 \quad . \quad (2.44)$$

По R оценивается достоверность гипотезы H_0 о линейности зависимости y от $\{X\}$. Коэффициент R значим, когда $t_R^* > t_{v, k}$,

$$t_R^* = \frac{R}{\mu_R} = \frac{R \sqrt{n - n_p - 1}}{1 - R^2} = 908.672, \quad (2.45)$$

где n - объем выборки;

n_p - число параметров в модели;

μ_R - погрешность коэффициента R ;

$t_{v, k}$ - табличное значение квантиля t-распределения Стьюдента;

$k=n-1$ - число степеней свободы; v - уровень значимости ($\geq 90\%$).

5. Коэффициент множественной детерминации D , оценивающий полноту множества факторов X $D = R^2 = 0.998$ (2.46)

Так, если $R=0.995$, а $D=0.99$, о факторы x_1, x_2 воспроизводят 99% дисперсии y , а 1% дисперсии y приходится на факторы, которых нет в модели.

6. Статистические оценки значимости коэффициентов регрессии

$$t_{ai} = \frac{|a_i|}{\sigma_{ост} \sqrt{M3_{ii}}} > t_{табл(a,k)} \quad (2.47)$$

где a_i - i -й коэффициент регрессии;

$M3_{ii}$ - диагональный элемент матрицы $(x^T x)^{-1}$;

$t_{v,k}$ - табличное значение квантиля t -распределения Стьюдента;

v, k - входы в таблицу квантилей t -распределения Стьюдента;

$\sigma_{ост}$ - остаточная дисперсия.

Коэффициенты a_i значимы, когда $t_{ai} > t_{v,k}$ при $v=0.05$ и $k=n-1$. Уравнение адекватно, когда все a_i – значимы: $t_{a1} = 5.16$; $t_{a2} = 7.41$; $t_{a1} = 5.83$. Так как модель (2.38) адекватна, то прогноз y вычисляем, подставляя в (2.38) прогнозы заданную величину $x_1=24.5$ и найденную $x_2=54.03$, при этом

$$Y_{прог} = -46.06 + 10.24 * x_1 + 2.71 * x_2 = -46.06 + 10.24 * 24.5 + 2.71 * 54.03 = 351.$$

В $УР_2$ утверждается прогноз спроса по 7-й ВЛ - $Q7 = 351$ млн.ткм. , исходя из которого будут разрабатываться следующие $УР$.

2.2.3. Оценка экономического потенциала фактического парка ВС

Задача 3 посвящена оценке экономических потенциалов фактического парка ВС и сети ВЛ , а также облика оптимального парка ВС, состоящего из минимального количества ВС и дающего максимальную прибыль.

Экономический потенциал парка ВС оцениваем по максимальной прибыли (P) от выполнения x_{ij} млн.ткм. заданных объемов перевозок на ВС i -го типа по j -м ВЛ. Для того, чтобы свести модель задачи к модели транспортной задачи умножаем целевую функцию на -1 . При этом максимум прибыли (P) превращается в минимум убытков ($-P$)

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} * x_{ij} \rightarrow \max \rightarrow -P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min \quad , \quad (2.48)$$

при ограничениях: 1. $\sum_j x_{ij} = a_i$ для $i=1,n; j=1,m;$ (2.49)

2. $\sum_i x_{ij} = b_j$ для $i=1,n; j=1,m;$ (2.50)

3. $\sum_i a_i = \sum_j b_j$ для $i=1,n; j=1,m;$ (2.51)

4. $x_{ij} \geq 0;$ для $i=1,n; j=1,m,$ (2.52)

где r_{ij} - прибыль от перевозки 1 ткм. на i -м ВС по j -й ВЛ;

a_i - годовой потенциал провозной способности i -го ВС (млн.ткм);

b_j - спрос на перевозки по j -й ВЛ (млн.ткм).

Первое ограничение балансирует сумму объемов перевозок на i -м типе ВС по всем ВЛ и годовую производительность i -го типа ВС.

Второе ограничение балансирует Σ объемов перевозок по j -й ВЛ на ВС всех типах и прогноза спроса на перевозки по j -й ВЛ.

Третье ограничение балансирует годовую производительности всех ВС и спроса на перевозки по всем ВЛ. Если это ограничение выполняется - задача "закрытая", если нет - "открытая" и не может быть решена методом "потенциалов".

К исходным данным задачи 3 относятся:

1. Типы и численность фактического парка ВС (табл.1 Приложения). Например, в варианте 1, парк ВС состоит из : Ил-96м - 1 шт.; Ту-214-10 шт.; Ту-204м - 24 шт.; Ту-334м - 13 шт.

2. Прогнозы спроса b_j млн.ткм. по $j=1,6$ ВЛ и протяженность всех 7-ми ВЛ (Лвл (км)) (табл.3 Приложения).

В табл.2.7 даны исходные b_j ($j=1,6$) 6-ти ВЛ варианта 1, взятые из табл.2 и табл.3 Приложения, а Q7 7-й ВЛ - результат решения задачи 2.

Таблица 2.7.

Пример исходных данных для варианта 1

Порядковый номер ВЛ АК	1	2	3	4	5	6	7
Прогноз спроса (млн.ткм)	195	316	225	200	83	224	Q7
Протяженность ВЛ /км/	2022	7570	3580	3520	2540	2500	4515

3. Параметры типов ВС АК (табл.4 Приложения):

$A_{эк/ч}$ - часовая экономическая производительность ВС (ткм./ч.);

N_r - плановый годовой налет часов одного ВС;

A_{Γ} - годовая экономическая производительность одного ВС;
 $C_{ВС}$ - (стоимость ВС (млн. руб.);
 $G_{то}$ - часовой расход топлива (тонн);
 G_{klm} - коммерческая загрузка при полете на тах дальность;
 $V_{эко}$ - экономическая скорость ВС;
 $N_{кр}$ - количество кресел в салоне ВС.
 $T_{под}$ - время наземной подготовки ВС к выполнению рейса;
 $V_{кр}$ - крейсерская скорость ВС;

4. Расходы и прибыль от перевозок 1 ткм. на 1 км на i -м типе ВС по j -й ВЛ на дальность $L_{ВЛ}$ /км/ (табл.15 Приложения).

Парк ВС примера состоит из 10 Ил-96м, 6 Ту-154м, 19 Ту-204м и 31 Ил-114, которые должны выполнить перевозки b_j млн.ткм. по 7-ми ВЛ ($j=1,7$) протяженностью $L_{ВЛ}$ км. Ответ задачи 2 : $Q_7=351$ млн.ткм. является прогнозом объема перевозок по 7-й ВЛ.

Таблица 2.8.

Структура парка ВС и параметры сети ВС АК

Порядковый номер ВЛ АК	1	2	3	4	5	6	7
Прогноз спроса b_j (млн.ткм)	89	303	229	115	191	124	$Q_7=351$
Протяженность ВЛ $L_{ВЛ}$ /км/	1500	7500	3000	3500	3500	2000	7500

Годовой потенциал провозной способности ВС i -го типа равен

$$a_i = A_{\Gamma} = A_{\text{эк/ч}} * N_{\Gamma} * f_{\text{кз}}. \quad (2.53)$$

где $f_{\text{кз}}$ – плановый коэффициент коммерческой загрузки ВС (в примере и во всех вариантах $f_{\text{кз}}=0.65$).

Используя модель (2.53) и табл.2 Приложения находим потенциалы a_i всех типов ВС. Так, потенциал 10-ти ВС Ил-96м равен:

$$a_1 = N_{\text{ВС}} * A_{\text{эк/ч}} * N_{\Gamma} * f_{\text{кз}} = 10 * 34000 * 3000 * 0.65 = 663 \text{ млн.ткм.}$$

Аналогично a_i 6-ти Ту-154м, 19-ти Ту-204м и 31-го Ил-114 равны 119, 531 и 91 млн.ткм. Записываем a_i и b_j в табл.2.9, с помощью которой будем оптимизировать расстановку фактического парка ВС по ВЛ. По табл.15 Приложения находим себестоимости c_{ij} и прибыль p_{ij} от перевозок 1 ткм. на 1 км на i -м типе ВС по j -й ВЛ. Умножаем p_{ij} на (-1) и записываем их в табл.2.9.

Таблица 2.9.

Оптимизация расстановки фактического парка ВС по ВЛ

Типы ВС	ВЛ 1	ВЛ 2	ВЛ 3	ВЛ 4	ВЛ 5	ВЛ 6	ВЛ 7	ai = Ag
ИЛ-96м	110	-70	45	30	65	80	-70	663
Ту-154м	32	80	-30	-50	-12	5	80	119
Ту-204м	5	150	-30	-10	-50	-20	150	531
ИЛ-114	-25	250	40	60	20	-5	250	91
bj(млн.ткм.)	89	303	229	115	1911	124	351	1402\1404
Лвлj(км.)	1500	7500	3000	3500	2500	2000	7500	

Сравнив $\sum a_i = 1404$ и $\sum b_j = 1402$, находим, что задача "открытая".

Алгоритм решения задачи состоит из трех основных этапов:

Этап 1. Преобразование "открытой" задачи в "закрытую".

Этап 2. Построение опорного плана методом минимальной стоимости.

Этап 3. Оптимизация плана методом потенциалов.

Этап 1. Преобразование "открытой" задачи в "закрытую"

Если $\sum a_i \neq \sum b_j$, транспортная задача "открытая" и должна быть преобразована в "закрытую". В общем случае возможны два варианта:

$$\text{а) если } \sum a_i > \sum b_j \quad \text{для } i=1,n; j=1,m, \quad (2.54)$$

то вводится дополнительный столбец с $b_j = (\sum a_i - \sum b_j)$ с $p_{ij} = 0$.

$$\text{б) если } \sum a_i < \sum b_j \quad \text{для } i=1,n; j=1,m, \quad (2.55)$$

то вводится дополнительная строка с $a_i = (\sum b_j - \sum a_i)$ и $p_{ij} = 0$.

Провозная способность парка ВС $\sum a_i = 1404$ больше спроса на перевозки по ВЛ 7 $\sum b_j = 1402$ (случай (а)), потому вводим дополнительный столбец (см.рис.2.1.). $B_{j=8} = (\sum a_i - \sum b_j) = 2$ с $p_{ij} = 0$ (см.рис.2.1).

Дополнительный столбец ↓								
110	-70	45	30	65	80	-70	0	663
32	80	-30	-50	-12	5	80	0	119
5	150	-30	-10	-50	-20	150	0	531
-25	250	40	60	20	-5	250	0	91
89	303	229	115	1911	124	351	2	1404

Рис.2.1. Преобразование "открытой" задачи в "закрытую"

Этап 2. Построение опорного плана задачи

Шаг 1. В 1-й строке табл.2.10 находим $\min p_{ij}$ $p_{12}=-70$ и записываем в эту клетку \max возможное $x_{12}=303$. Вновь ищем клетку с $\min p_{17}=-70$ и записываем в неё $x_{17}=351$. В клетку с $p_{18}=0$ записываем $x_{18}=2$, а остаток $663-656=x_{14}=7$ в клетку с $p_{14}=30$.

Таблица 2.10.
Опорный план расстановки фактического парка ВС по ВЛ

Тип ВС	ВЛ 1	ВЛ 2	ВЛ 3	ВЛ 4	ВЛ 5	ВЛ 6	ВЛ 7	ВЛ 8	a_{ij}
Ил-96м	110	-70 303	45	30 7	65	80	-70 351	0 2	663
Ту-154м	32	80	-30 11	-50 108	-12	5	80	0	119
Ту-204м	5	150	-30 218	-10	-50 191	-20 122	150	0	531
Ил-114	-25 89	250	40	60	20	-5 2	250	0	91
b_j	89	303	229	115	191	124	351	2	1404

Шаг 2. Во 2-й строке находим клетку с $\min -p_{ij}=-50$ и записываем в неё \max $x_{24}=108$. Остаток $x_{23}=11$ пишем в клетку с $p_{23}=-30$.

Шаг 3. В строке 3 находим клетку с $\min -p_{35}=-50$ и записываем в неё \max $x_{35}=191$. Остаток $531-191=340$ записываем в оставшиеся клетки с $\min p_{ij}$. Поскольку в столбце 3 в строке 3 $x_{33}=11$, то в клетку с $p_{33}=-30$ записываем $x_{33}=229-11=218$. Остаток $340-218=122 > 0$. Находим клетку с $\min p_{36}=-20$ и записываем в неё \max $x_{36}=122$.

Шаг 4. В 4-й строке находим клетку с $\min -p_{41}=-25$ и записываем в неё \max $x_{41}=89$. Остаток $91-89=2$ записываем в клетку с $p_{46}=-5$.

Этап 3. Оптимизация плана методом потенциалов

Этап 3.1. Построение системы потенциалов

Формируем систему потенциалов $S = (U, V)$, где $U = (u_1, u_2, u_n)$ - потенциалы строк $i=1, n$ и $V = (v_1, v_2, v_m)$ - потенциалы столбцов $j=1, m$.

План оптимален, если выполняются два условия:

$$а) \text{ для "занятых" клеток при } (x_{ij} > 0) \quad u_i + v_j = p_{ij}; \quad (2.56)$$

$$б) \text{ для "незанятых" клеток при } (x_{ij}=0) u_i + v_j \leq p_{ij}. \quad (2.57)$$

Шаг 5. В табл.2.10 находим строку с max числом занятых клеток и записываем в табл.2.11 $u_1=0$.

Шаг 6. Зная $u_1=0$ из (2.56), находим $v_2=-70, v_4=30, v_7=-70, v_8=0$.

Шаг 7. Зная v_4 , из $u_2+v_4=p_{24}=-50$ находим $u_2=-50 - v_4 = -50-30 = -80$.

Шаг 8. Зная u_2 , из $u_2+v_3=p_{23}=-30$ находим $v_3=-30 - u_2 = -30+80 = 50$.

Шаг 9. Зная v_3 , из $u_3+v_3=p_{33}=-30$ находим $u_3=-30 - v_3 = -30-50 = -80$.

Шаг 10. Зная u_3 , из $u_3+v_5=p_{35}=-50$ находим $v_5=-50 - u_3 = -50+80 = 30$.

Шаг 11. Зная u_3 , из $u_3+v_6=p_{36}=-20$ находим $v_6=-20 - u_3 = -20+80 = 60$.

Шаг 12. Зная v_6 , из $u_4+v_6=p_{46}=-5$ находим $u_4=-5-60=-65$.

Шаг 13. Зная u_4 , из $u_4+v_1=p_{41}=-25$ находим $v_1=-25+60 = 45$.

Таблица 2.11.
Оптимизация расстановки фактического парка ВС по ВЛ

Потенциалы	$v_1=45$	$v_2=-70$	$v_3=50$	$v_4=30$	$v_5=30$	$v_6=60$	$v_7=-70$	$v_8=0$	a_{ij}
$u_1=0$	110	-70	+ 45 $\delta_{13}=5$	- 30	65	80	-70	0	663
$u_2=-80$	32	80	┌ -30	└ -50	-12	5	80	0	119
$u_3=-80$	5	150	218	-10	-50	-20	150	0	531
$u_4=-65$	-25	250	40	60	20	-5	250	0	91
b_j	89	303	229	115	191	124	351	2	1404

Этап 3.2. Проверка оптимальности плана

Шаг 13. Проверяем выполнение условия (2.57) в незанятых клетках. В клетках, у которых не выполняется условие (2.57), вычисляем

$$\delta_{ij} = \{(u_i + v_j) - p_{ij}\} \quad (2.58)$$

и записываем их величины в левом нижнем углу (см. табл.2.11). Так, у клетки $(i=1, j=3) \delta_{13} = \{(u_i + v_j) - p_{ij}\} = \{(50 + 0) - 45\} = \delta_{13} = 5$.

Шаг 14. Поскольку в табл.2.11 $\delta_{13} > 0$, то план неоптимален.

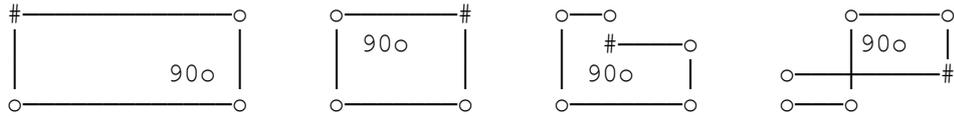
Шаг 15. Вычисляем критерий (2.48), перемножая и складывая в каждой строке табл.2.11 величины $-p_{ij}$ и x_{ij}

$$-P_{\min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij}x_{ij} = -(45570+5730+18530-2235)=-72065 \text{ ден.ед.}$$

Этап 3.3. Построение замкнутого контура для улучшения плана

Шаг 16. Клетка с $\max \delta_{13}=5$, помечается знаком (+).

Шаг 17. Начиная с этой клетки, двигаемся, поворачивая в занятых клетках на 90° , стремясь вернуться в исходную клетку, получив при этом замкнутый контур с вершинами в занятых клетках и углами 90° (рис.2.2),



а)"прямоугольник" б)"квадрат" в)"ступенька" г)"восьмерка"

Рис.2.2. Примеры формы контура

Шаг 18. Последовательно помечаем вершины, начиная со следующей после δ_{13} клетки, знаками (-) и (+). Находим на вершинах со знаком (-) $\Delta=x_{ij\min}=7$. Вычитаем $\Delta=7$ из x_{ij} в клетках со знаком (-) и прибавляем $\Delta=7$ к x_{ij} в клетках со знаком (+). Результаты в табл.2.12.

Таблица 2.12.

Оптимальный план расстановки фактического парка ВС по ВЛ

Потенциалы	$v_1=45$	$v_2=-70$	$v_3=45$	$v_4=25$	$v_5=25$	$v_6=55$	$v_7=-70$	$v_8=0$	a_{ij}
$u_1=0$	110	-70	45	30	65	80	-70	0	663
$u_2=-75$	32	80	-30	-50	-12	5	80	0	119
$u_3=-75$	5	150	-30	-10	-50	-20	150	0	531
$u_4=-60$	89	-25	250	40	60	20	-5	250	91
b_j	89	303	229	115	191	124	351	2	1404

Вычисляем критерий

$$-P_p = -P_{\min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij}x_{ij} = -(45465+5870+18530-2235)=-72100 \text{ ден.ед}$$

Шаг 19. Формируем систему потенциалов:

а) находим строку с \max числом занятых клеток и назначаем $u_1=0$;

б) из условия (2.56) определяем потенциалы $v_2=0$; $v_3=0$; $v_7=0$; $v_8=0$;

в) последовательно вычисляем потенциалы:

$$\text{из } u_2+v_3=-30 \quad u_2=-30-5 = -75, \text{ --> из } u_2+v_4=-50 \quad v_2=-50+75=25;$$

$$\text{из } u_3+v_3=-30 \quad u_3=-30-45 = -75, \text{ --> из } u_3+v_5=-50 \quad u_3=-50+75=25,$$

из $u_3+v_6=-20$ $u_3=-20+75=55$, --> из $u_4+v_6=-5$ $u_3=-5-55=-60$, из $u_4+v_1=-25$ $u_3=-25+60=45$.

Шаг 20. Проверив еще раз (2.56-2.57), находим что план оптимален.

Прибыль от его реализации $\Pi_p=P_{\max}=-P_{\min}=-(-72100)=72100$ ден.ед. Многие транспортные задачи имеют несколько оптимальных планов с одинаковой величиной критерия, но с разным числом и положением занятых клеток ($x_{ij} \leq 0$). У некоторых планов при изменении r_{ij} в занятых клетках критерии меняются меньше, чем у других. Поиск наименее меняющегося плана по методике [1,с.75-87] позволяет найти менее рискованный план использования парка ВС.

2.2.4. Оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок

Экономический потенциал рынка перевозок оценивается максимумом прибыли Π_p , получаемой при выполнении заданного объема перевозок (Q_p млн.ткм.) на оптимальном по типам и численности парке ВС, сформированном из доступных АК типов ВС, оптимально расставленном на сети ВЛ, функционирующем без отказов авиатехники, без задержек по метеоусловиям, при полном и своевременном ресурсном обеспечении, при полной оснащенности аэропортов техническими средствами и сооружениями, при идеальном управлении и т.д.

Оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок и поиск облика оптимального парка ВС выполняется в данной КР с учетом следующих допущений и ограничений:

1. ВС оптимального парка выполняют только беспосадочные рейсы.
2. Превышение фактического годового налета часов списочного ВС может быть не более чем на 2 % планового годового налета. Так, при плановом годовом налете 3000 ч. фактический годовой налет Ил-96м не должен превысить 3060 ч, а у Ту-154м - 2040 ч. при плане 2000 ч.

Оптимальный парк ВС формируется из доступных типов ВС:

1. По табл.15 Приложения для всех ВЛ в зависимости от дальности находим самые выгодные типы ВС (с $\max(-r_{ij})$). Так, для 1-й ВЛ с $L_{вл}=1500$

км. в табл.15 Приложения находим $-p_{ij}$ всех, доступных АК типов и выбираем тип ВС, дающий $\max (-p_{ij}=25)$. Записываем в табл.2.13 под каждой ВЛ выбранный тип ВС.

2. В столбец "Типы ВС" записываем (по одному разу) все выбранные типы ВС (в том же порядке, что и в табл.2.13).

3. В столбцы табл.2.13. "Воздушные линии" записываем $-p_{ij}$.

4. Суммируем прогнозы объемов перевозок в млн.ткм. на ВЛ с одинаковыми типами ВС: Ил-96м (303+351=654 млн.ткм.); Ту-204м (229+ +191+124 =544 млн.ткм.); Ту-154м (115 млн.ткм.); Ил-114 =(89 млн.ткм.).

5. Вычислив $\sum a_i=1402$ и $\sum b_j=1402$ в табл.2.13., находим, что задача "закрытая", поскольку $\sum b_j = \sum a_i$.

Таблица 2.13.

Исходные данные для оценки экономического потенциала рынка

Типы ВС	ВЛ 1	ВЛ 2	ВЛ 3	ВЛ 4	ВЛ 5	ВЛ 6	ВЛ 7	a_i (млн.ткм.)
Ил-96м	110	-70	45	30	65	80	-70	663
Ту-154м	32	80	-30	-50	-12	5	80	119
Ту-204м	5	150	-30	-10	-50	-20	150	531
Ил-114	-25	250	40	60	20	-5	250	91
b_j (млн.ткм.)	89	303	229	115	191	124	351	1402\1404
$L_{ВЛj}$ (км.)	1500	7500	3000	3500	2500	2000	7500	
Opt Тип	Ил-114	Ил-96м	Ту-204м	Ту-154м	Ту-204м	Ту-204м	Ил-96м	

6. Решая "закрытую" задачу алгоритмом , получаем оптимальное решение, показанное в табл.2.14.

Таблица 2.14.

Оптимальное решение

110	303 -70	7 45	30	65	80	351 -70	654
32	80	-30	115 -50	-12	5	80	115
5	150	229 -30	-10	191 -50	124 -20	150	544
89 -25	250	40	60	20	-5	250	89
89	303	229	115	191	124	351	1404

7. По табл.2.14 вычисляем потенциал максимум прибыли авиарынка

$$P_{\max} = -P_{\min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij} x_{ij} = -(-72655) = 72655 \text{ ден.ед.}$$

8. Просуммировав $c_{ij}x_{ij}$ в занятых клетках табл.2.14, вычисляем расходы $P_p = 43905$ ден.ед. Вычислив $P_r + P_p = 72655 + 43905 = 116560$ ден.ед., получаем плановые доходы. Аналогично находим расходы и доходы плана табл.2.14 $P_f = 44005$ ден.ед. и $D_f = 116105$ ден.ед.

9. Оцениваем возможность реализации оптимального плана табл.2.14 фактическим парком ВС с учетом допущений стр.21-22.

2.2.5. Поиск облика оптимального парка ВС

С целью поиска оптимального парка ВС вычисляем :

а) годовые производительности всех типов ВС $A_{г1}c_i = A_{ч1} c_i * H_{г}$,

где $A_{ч1}$ - часовая экономическая производительность i -го типа ВС;

$H_{г}$ - плановый годовой налет часов i -го типа ВС;

б) дробную численность парка ВС i -го типа, способного выполнить прогнозный объем перевозок с учетом $f_{кзи} N_{сi} \sim i = Q_{pi} / (A_{г1} c_i * f_{кзи})$, (2.59)
(для Ил-96м $N_{с1} \sim 1 = 654 / (102 * 0.65) = 9.86$ шт.);

в) дробные части нецелых ВС $\Delta N_{сi}$ (для Ил-96м $\Delta N_{с1} = 0.86$ шт.);

г) целые части ВС $N_{с1i}$ (для Ил-96м $N_{с11} = 9$; Ту-154м - $N_{с12} = 5$, Ту-204м - $N_{с13} = 19$; Ил-114 - $N_{с14} = 30$);

д) доли дробных частей ВС приходящиеся на каждое целое ВС

$$\Delta H_{1ci} = \Delta N_{сi} / N_{с1i} \quad (2.60)$$

(так для Ил-96м $\Delta H_{1c1} = 0.86 / 9 = 0.096$ или +9.6%);

е) дополнительные налеты часов приходящиеся на каждое целое ВС

$$\Delta H_{г1вci} = \Delta H_{1ci} * H_{гi}, \quad (\text{для Ил-96м } \Delta H_{г1вc1} = 0.096 * 3000 = 88 \text{ часов}).$$

Результаты расчетов записываем в табл.2.15:

Таблица 2.15.

Формирование параметров облика оптимального парка ВС

Тип ВС	Спрос МЛН. ТКМ.	фкз %	Аг1м ЛН ТКМ	nBC~ шт.	ΔBC шт.	ΔН1с доля 1BC	%	ΔНг ВС	Нг план ч.	N ₁	A ₁ МЛН. ТКМ.	N ₂	A ₂ МЛН. ТКМ.
Ил-96м	654	0.65	102	9.86	0.86	0.096	9.6	288	3000	9	597	10	663
Ту-154м	115	0.65	31	5.71	0.71	0.14	14.0	280	2000	5	101	6	119
Ту-204м	544	0.65	43	19.46	0.46	0.02	2.0	60	2500	19	531	20	559
Ту-114	89	0.65	4.5	30.43	0.38	0.01	1.0	23	1600	30	88	31	91
Итого:	1402										1317		1432

Из табл.2.15 видно, что увеличение налета каждого из 9-ти Ил-96м на 288 часов (+9.6%) и каждого из 5-ти Ту-154м на 280 часов превосходят 2%-й предел возможного превышения налета. Из этого следует, что выполнить 12 млн.ткм. парком ВС из: 9 Ил-96м, 5 Ту-15м, 19 Ту-2м, 3 Ил-11 невозможно. Для поиска оптимального целочисленного парка ВС, не превышающего 2%-й предел превышения планового налета, воспользуемся граничными численностями ВС i-го типа N_1 и N_2 из табл.2.15.

Сформировав из них все возможные варианты парка ВС, записываем их в табл.2.16. Как показали расчеты, оптимальный целочисленный вариант минимального по численности парка ВС можно найти по минимуму модуля $|\sum b_j - \sum a_i|$. Анализ строки $|\sum b_j - \sum a_i|$ табл.2.16 показывает, что это 13-й или 14-й варианты парка ВС.

Таблица 2.16.

Возможные варианты парка ВС

ВС\Вар-т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ил-96м	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
Ту-154м	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6
Ту-204м	19	19	20	20	19	19	20	20	19	19	20	20	19	19	20	20
Ту-114	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31
$\sum a_i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	1	1	4	4	3	3	6	6	8	8	0	1	0	0	2	3
	5	8	3	6	5	8	3	6	1	4	9	2	1	4	9	2
$\sum b_j - \sum a_i$	87	84	59	56	67	64	39	36	21	18	-7	-10	1	-2	-27	-30

Рассмотрим 13-й вариант парка ВС: 10 Ил-96м, 6 Ту-154м, 19 Ту-204м и 30 Ил-114. Поскольку $(\sum b_j - \sum a_i) = 1$, вводим фиктивную строку с $p_{ij}=0$, преобразуя "открытую" задачу в "закрытую". Решая "закрытую" транспортную задачу, находим оптимальный план (см.табл. 2.17) и прибыль $P_o = 71955$ ден.ед., расходы $P_o=43950$ ден.ед. и доходы $D_o=115905$ ден.ед.

Экономический потенциал рынка, используемый оптимальным парком ВС без превышения планового налета всеми ВС равен 71955 ден.ед. прибыли, получаемой при расходах 43950 ден.ед.

Для фактического (14-го) и оптимального (13-го) вариантов парка ВС вычисляем $R_{ПА} = P_3/P_2$ рентабельность парка ВС, как отношение прибыли

к расходам, и $Ry\Pi = \Pi_3 / (P_3 + \text{уп} + \text{упр})$ – расчетную рентабельность парка ВС, учитывающую упущенную прибыль (уп) от неудовлетворенного спроса при нехватке ВС и убытки от простоя ВС (упр) в случае избытка парка ВС, определяемую как отношение прибыли к затратам-потерям. 14-й вариант парка ВС характеризуется 2 млн.ткм. избытка провозной способности, что приводит к расстановке парка, при которой перевозка 2 млн.ткм. на Ил-96м.

Таблица 2.17.
Расстановка оптимального парка ВС

110	-70	45	30	65	80	-70	663
303	7					351	
32	80	-30	-50	-12	5	80	119
4	115						
5	150	-30	-10	-50	-20	150	531
216	191	124					
88	-25	250	40	60	20	-5	250
88							
1	0	0	0	0	0	0	1
1							
89	303	229	115	191	124	351	1402

Поскольку суммарная прибыль от перевозок на Ил-96м по 2-й и 7-й ВЛ равна $303*70-9*45+351*70=45375$ ден.ед., то в среднем перевозки 1 млн.ткм. на Ил-96м дают $45375/663=68.4$ ден.ед. Следовательно, недоиспользование 2 млн.ткм. потенциала Ил-96м дает убытки 136.8 ден.ед.

У оптимального парка ВС фактическая провозная способность на 1 млн. ткм. меньше потребной. В табл.2.18 перевозка 1 млн.ткм. запланирована фиктивному типу ВС по 1-й ВЛ. Поскольку оптимальным для 1-й ВЛ является Ил-114, то упущенную прибыль уп от недоперевозки 1 млн.ткм. можно считать равной у при $\sim 1*25=25$ ден.ед.

Сравнивая результаты использования фактического и оптимального парков ВС, по табл.2.18 оценим какой вариант парка ВС лучше.

Таблица 2.18.
Сравнение итогов работы фактического и оптимального парков ВС

Парк ВС	Прибыль	УП	УПР	Расходы	РПА	Ry\Pi	$\sum a_i$	$\sum b_j - \sum a_i$
13	71995	25	0	43950	1.637	1.636	1401	1
14	72100	0	136.8	44005	1.638	1.633	1404	-2
13н	71975	0	0	43975	1.637	1.637	1402	0

Большая величина $Ry\Pi$ у варианта (13) означает, что лучше не выполнить перевозки 1 млн.ткм по 1-й ВЛ протяженностью в 1500 км на 30 Ил-114, чем недоиспользовать потенциал провозной способности Ил-96м при перевозках 2-х млн.ткм. Исследуя вариант парка 13н, в котором превышением планового каждым Ил-114 налетает за год на 2% больше, находим, что:

1) поскольку расчетный дробный парк ВС состоит из $N_c = 89 / (4.5 * 0.65) = 30.42$ шт. ВС, то целая часть парка ВС равна $N_{Тс14} = 30$ шт., а остаток равен $\Delta N_{с4} = 0.42$ шт.;

2) доли превышения налета каждым из 30-ти Ил-114 при распределении между ними избыточного налета дробного ВС, необходимого для перевозки 1 млн.ткм., равны $\Delta N_{14} = 0.42 / 30 = 0.014$ или +1.4% и, стало быть, дополнительный налет часов каждого Ил-114 составит $dN_{Г1вс1} = 0.014 * 1600 = 22.4$ часа, что вполне выполнимо;

3) прибыль от реализации плана табл.2.17 с превышением налета Ил-114 из-за перевозок $|\sum b_j - \sum a_i| = 1$ млн.ткм. по 1-й ВЛ составит $71955 + 25 = 71980$ ден.ед. при расходах 43975 ден.ед. и $\max Ry\Pi = 1.637$.

Исходя из вышесказанного суть УРЗ заключается в следующем:

а) фактический парк ВС может перевезти 1402 млн.ткм. при заданном налете ВС на заданных ВЛ и дать 116105 ден.ед. доходов и 72100 ден.ед. прибыли при расходах 44005 ден.ед., вместе с тем 136.8 ден.ед. убытков от простоя Ил-96м снижают приемлемость 14-го варианта парка ВС;

б) экономический потенциал рынка перевозок равен $71955 + 25 = 71980$ ден.ед. и лучше всего может быть реализован при полном удовлетворении спроса на перевозки по плану табл.2.17 (с превышением налета каждым Ил-114 на 22.4 ч.) оптимальным и принимаемым для дальнейших расчетов 13н-м вариантом парка ВС: 10 Ил-96м, 6 Ту-154м, 19 Ту-204м, 30 Ил-114.

2.3. Оценка оптимального облика наземного комплекса

В выполнении рейсов принимает участие не только парк ВС АК, но и технические средства и сооружения наземного комплекса НК = {АП + УВД +

АРЗ + АТЦ} : аэропорты (АП), средства управления воздушным движением (УВД), авиаремонтные заводы (АРЗ) и авиационно-технических центры (АТЦ) или базы (АТБ). Совокупность парка ВС+НК образует корпоративный объект управления КОУ = АК + НК.

Успех в выполнении запланированных парных рейсов (ПР) зависит не только от оптимальности облика парка ВС, но и от соответствия облика НК интенсивностям поступления на обслуживание ВС - $\lambda_{вс}$ и пассажиров - $\lambda_{пасс}$. Он зависит не только от наличия у АК необходимого и достаточного количества экипажей (ЭК), бортпроводников (БПП), всех видов расходуемых ресурсов (керосин, спецжидкости, масла, запасные части, оборотные денежные средства и т.д.), но и от оснащенности элементами НК (базового, промежуточных и конечного АП, АРЗ, АТЦ, АТБ, УВД) взлетно-посадочными полосами (ВПП), местами стоянки (МС) ВС, бригадами перронного обслуживания (БПО) ВС, радиолокаторами, цехами, персоналом, средствами регистрации пассажиров, средствами доставки пассажиров, аэровокзалами, трапами, тягачами, стойками регистрации, билетными кассами, топливозаправщиками ВС, машинами для обливания ВС противообледенительной жидкостью ("Элефант"), спецмашинами и т.д.

Недостаток технических средств и сооружений НК приводит к возникновению "узких мест", в которых замедляется движение потоков заявок - ВС, пассажиров, грузов и багажа, что вызывает простои заявок, задержки и отмены ПР, снижает регулярность и безопасность полетов, а также экономические показатели работы сложной системы АК+НК в целом.

Для использования потенциала рынка перевозок и парка ВС АК необходимо оценить и обеспечить потребные количества элементов КОУ.

Потребные количества элементов КОУ определяются исходя из величин $\lambda_{вс}$ и $\lambda_{пасс}$ по разным методикам. Так, оптимизация облика парка ВС, ЭК и БПП выполняется путем решения комплекса взаимосвязанных задач, в который входят: оптимизация расстановки ВС по ВЛ, задача "о назначениях", оптимизация графиков оборота ВС, ЭК и БПП, оценка риска реализации планов

и графиков оборотов [1,с.93-95]. Оптимизацию элементов НК можно выполнить математическими моделями теории массового обслуживания или компьютерными имитационными моделями.

Система КОУ=АК+НК призвана способствовать полной реализации потенциалов рынка перевозок и парка ВС, путем выполнения всех ПР в течение всего года и в том числе в период интенсивных перевозок.

2.3.1. Оценка параметров периода наиболее интенсивной работы НК

Задача 4 КР посвящена поиску периода наиболее интенсивной работы НК базового АП, что необходимо для оптимизации облика НК.

Искомыми величинами в задаче 4 являются интенсивности поступления на обслуживание в НК самолетов - λ_{bc} и пассажиров - $\lambda_{пасс}$, необходимых для оптимизации облика элементов НК, оценки достаточности ресурсов и поиска "узких мест" КОУ. Исходными данными для решения задачи 4 являются: план использования ВС из табл.2.17, $L_{вл}$, крейсерская скорость и др. параметры ВС.

Методология оптимизации облика элементов КОУ одинакова для многих видов элементов НК, поэтому в КР предлагается выполнить оптимизацию количества только одного элемента НК – аэродромных тягачей (ТГА), фактические количества которых приведены в табл.11 Приложения.

Для оценки \max интенсивности прибытия ВС λ_{bc} находим число парных рейсов (ПР), выполнив которые можно освоить заданные объемы авиаперевозок. Так, для оценки числа ПР, необходимых для перевозки 33 млн.ткм. на ИЛ-96м по ВЛ-7 протяженностью 7500 км вычисляем:

1. Время рейса до конечного аэропорта i -го ВС по j -й ВЛ

$$t_{pij} = \frac{L_{влj}}{V_{pij}} = \frac{7500}{896} = 8.65 \text{ ч.} \quad (2.61)$$

где V_{pij} - рейсовая скорость i -го типа ВС на j -й ВЛ.

2. Рейсовую скорость V_{pij} с учетом числа посадок и потерь времени на взлет и посадку

$$V_{pij} = \frac{L_{вл} * V_{kpi}}{L_{вл} + N_{ni} * dt_i * V_{kpi}} = \frac{75 * 9}{75 + 1 * 0.3 * 9} = 869 \text{ км.ч} \quad (2.62)$$

где $V_{крі}$ - крейсерская скорость ВС i -го типа;

$N_{пј}$ - число посадок при выполнении рейса по j -й ВЛ;

$dt_{ј} \sim .3$ - время набора высоты и снижения при взлете-посадке

Поскольку время парного рейса $t_{пріј} = 2t_{ріј} = 8.63 * 2 = 17.27$ ч., а

производительность ВС за парный рейс $A_{пр} = A_{экч} * f_{кзі} * t_{пріј} = 34 * 0.65 * 17.27 =$

381593 ткм., то число ПР, необходимых для выполнения 33 млн.ткм равно

$$N_{прі₂} = \frac{Q_{прі₂}}{A_{пр}} = \frac{33}{381593} = 794 \text{ (парных рейса)} \quad (2.63)$$

Аналогично находим количества ПР каждого i -го типа ВС по каждой j -й ВЛ $N_{пріј}$ и записываем их в табл.2.19.

Таблица 2.19.

Годовой план парных рейсов оптимального парка ВС

ВС \ ВЛ	1	2	3	4	5	6	7	ПР	$N_{Г}$	$N_{ЭК}$	$N_{ІВС}$
Ил-96М	0	794	56	0	0	0	920	1770	12590	24	8
Ту-154	0	0	55	1359	0	0	0	1414	25541	49	8
Ту-204М	0	0	2523	0	2635	2090	0	7248	33631	64	5
Ту-114	7357	0	0	0	0	0	0	7357	27227	52	5
Лвл _і	1500	7500	3000	3500	2500	2000	7500	-			
Всего ПР								17789			

Аэропортам характерны неравномерности распределения объемов работы в течение года, недели и суток, индивидуальные для каждого АП. Предлагаемые для расчетов в табл.6,7,8 Приложения неравномерности одинаковы во всех вариантах КР. умножив $N_{пріј}$ табл.2.18 на %% неравномерности табл.6 Приложения, получаем план ПР по месяцам года, приведенный в табл.2.20.

Таблица 2.20.

Месячный план выполнения парных рейсов парком ВС

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого
%% г.	6	5	6	8	9	10	11	14	11	8	6	6	ПР
Ил-96М	106	89	106	142	159	177	195	248	195	142	106	106	1770
Ту-214	85	71	85	113	127	141	156	198	156	113	85	85	1414
Ту-204М	435	362	435	580	652	725	797	1015	797	580	435	435	7248
Ту-334	441	368	441	589	662	736	809	1030	809	589	441	441	7357
Итого:	1067	889	1067	1423	1601	1779	1957	2491	1957	1423	1067	1067	17789

Согласно табл.2.20 в месяц-пик АК должна выполнить 2491 ПР. Распределяем их между ВС и ВЛ, умножая $N_{пріј}$ табл.2.20 на 0.14, и записывая

$N_{прмij}=N_{пргij}*0.14$ в табл.2.20. Так, число ПР на Ил-96 по 2-й ВЛ равно $N_{прм12}=794*0.14 \approx 111$.

Недельное число ПР находим, считая, что недельные объемы работ равны друг другу и определяются как $N_{прн}=N_{прм}/4$, записываем их в табл.2.21. Так, $N_{прн}$ для Ил-96м по 2-й ВЛ равно $N_{прн}=111*0.25 \approx 28$

**Таблица 2.21.
План парных рейсов в месяц-пик**

ВС \ ВЛ	1	2	3	4	5	6	7	ПР
Ил-96м	0	111	8	0	0	0	129	248
Ту-214	0	0	8	190	0	0	0	198
Ту-204м	103	0	353	0	369	293	0	1015
Ту-114	0	0	0	0	0	0	0	1030
Всего								2491

Число ПР в сутки-пик в пятницу, субботу и воскресенье согласно табл.7 Приложения равно 20% недельного объема работ. Записываем их в табл. 2.22. Так, на Ил-96м по 2-й ВЛ в сутки-пик будет выполнено $28*0.20 \approx 6$ ПР. Количество пассажиров, убывающих из АП на i -м ВС по j -й ВЛ в час-пик согласно табл.8 Приложения определяем равным 18% от объема работы в сутки-пик $N_{пасij}=0.18*N_{прij}*N_{крj}*fk_{zi}$ (табл.2.24).

**Таблица 2.22.
План парных рейсов в неделю-пик**

ВС\ВЛ	1	2	3	4	5	6	7	ПР
Ил-96м	0	28	2	0	0	0	32	62
Ту-154	0	0	2	48	0	0	0	50
Ту-204м	0	0	88	0	92	73	0	253
Ту-114	257	0	0	0	0	0	0	257
Всего								622

Таблица 2.23.

Парные рейсы в час-пик

ВС\ВЛ	1	2	3	4	5	6	7	ПР
Ил-96м	0	1	0	0	0	0	1	2
Ту-154	0	0	0	2	0	0	0	2
Ту-204м	0	0	3	0	3	3	0	9
Ту-114	9	0	0	0	0	0	0	9
λ_{bc}								22

Таблица 2.24.

Пассажиры, вылетающие в час-пик

	1	2	3	4	5	6	7	Пасс
	0	195	0	0	0	0	19	195
	0	0	0	228	0	0	0	274
	0	0	139	0	139	139	0	554
	378	0	0	0	0	0	0	390
$\lambda_{пасс}$								1413

Итогом решения задачи 4 является УР4, согласно которому для разработки последующих УР принимаются $\lambda_{bc}=22$ вс/ч и $\lambda_{пасс}=1413$ пасс/ч. В задачах 5

и 6 КР формируется УР об оптимальном числе тягачей (ТГА) ВС моделями теории массового обслуживания. ТГА считаются каналами обслуживания N_k , а ВС – заявками, приходящими в систему массового обслуживания (СМО) с ожиданием.

2.3.2. Оценка возможности использования теории массового обслуживания

В задаче 5 оценивается возможность использования моделей теории массового обслуживания для оптимизации N_c , что обусловлено обязательностью распределения времен между моментами поступления на обслуживание $t_{по}$ по закону Пуассона и времен обслуживания $t_{об}$ по экспоненциальному закону.

Исходными данными для задачи 5 являются 2 матрицы (табл.12 и табл.13 Приложения), содержащие по $n=36$ наблюдений величин интервалов времени между моментами начала буксировки ВС $t_{по} \{X_1\}=\{x_{1i}\} \quad i=1,n$ (табл.12 Приложения) и времен буксировки тягачем (ТГА) $t_{об} \{X_2\}=\{x_{2i}\}; \quad i=1,n$ (табл.13 Приложения). В примере в качестве исходных данных использованы матрицы $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$, показанные на рис.2.3 и рис.2.4.

8	2	3	1	1	2	22	21	22	22	22	23
4	1	6	3	2	2	25	30	23	22	22	22
2	1	1	3	3	2	21	25	29	24	22	30
1	3	2	2	4	3	20	22	29	23	21	22
1	5	3	5	2	1	22	24	20	33	20	35
1	2	3	4	3	3	22	52	24	22	20	22

Рис.2.3. Времена $t_{по} \{X_1\}$ (мин) Рис.2.4. Времена $t_{об} \{X_2\}$ (мин)

Алгоритм оценки гипотез о распределении времен между приходами заявок на обслуживание $t_{по} \{X_1\}$ по закону Пуассона о гипотезе о распределении времен обслуживания $\{X_2\}$ по экспоненциальному закону $t_{об}$ состоит из шагов, на которых вычисляются:

Шаг 1. Точечные оценки математического ожидания (МОЖ) случайных величин $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$ $\mu_{x_1} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_{1i} = 2.639$; $\mu_{x_2} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i} = 24.444$; $i=1,n$; (2.64)

где μ_{xi} - точечная оценка МОЖ выборки;

x_i - текущее значение случайной величины в выборке;

n_1, n_2 - количество наблюдений случайной величины ($n = n_1 = n_2 = 36$).

Шаг 2. Точечная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) σ_{x_i} $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$

$$\sigma_{x_1}^* = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \mu_{x_1})^2} = 2.466; i=1, n_1; \sigma_{x_2}^* = \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \mu_{x_2})^2} = 35.797; i=1, n_2; \quad (2.65)$$

Шаг 3. Максимальное (x_{\max}) и минимальное (x_{\min}) значения $\{X_i\}$, предварительно расположив все наблюдения $\{X_i\}$ в порядке возрастания от

$$x_{\min} \text{ до } x_{\max} : x_{\min 1} = 1; x_{\max 1} = 8; x_{\min 2} = 52; x_{\max 2} = 20.$$

Шаг 4. Число интервалов n_{ii} в выборке $n_{i1} = n_{i2} = 5 * \log(n) = 8$. (2.66)

Шаг 5. Ширина интервалов разбиений рядов случайных величин $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$ $\Delta x_1 = (x_{\max 1} - x_{\min 1}) / n_{i1} = (8 - 1) / 8 = 0.875$; $\Delta x_2 = (x_{\max 2} - x_{\min 2}) / n_{i2} = (52 - 20) / 8 = 4.0$ (2.67)

Шаг 6. Границы диапазонов изменения случайных величин, используя Δx_1 и Δx_2 , начиная с x_{\min} .

Шаг 7. Количества попаданий n_i случайных величин в i -й ($i=1, n_{ii}$) интервал ряда (см. табл. 2.25 и табл. 2.27).

Оценка гипотезы H_0 о распределении $\{X_1\}$ по закону Пуассона

Шаг 8. Оцениваем гипотезу H_0 о распределении $\{X_1\}$ по закону Пуассона с параметром $\lambda = \sum_{i=1}^{n_i} \frac{i * n_i}{n} = 2.63889$ и $e^{-\lambda} = 0.07144$.

Таблица 2.25.

Теоретические F_{Ti} и p_{Ti} для закона Пуассона

Интервал	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервала	1.000-1.875	1.885-2.760	2.770-3.645	3.655-4.530	4.540-5.415	5.425-6.300	6.310-7.185	7.195-8.070
n_i	9	10	10	3	2	1	0	1
F_{Ti}	0.260	0.509	0.728	0.872	0.948	0.982	0.994	0.998
p_{Ti}	0.260	0.249	0.219	0.144	0.076	0.034	0.013	0.004
χ^{2*}	0.014	0.120	0.568	0.920	0.198	0.041	1.000	5.089

Шаг 9. Определяем теоретические $F_{Ti}(x_i)$ каждого интервала по модели закона Пуассона (см. табл. 2.26). Для интервала $i=1$ k меняется от до 1, а $F_{T1}(x_i)$ определяется по модели табл. 2.26 как

$$F_{T1} = \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \frac{\lambda^0}{0!} e^{-2.63889} + \frac{\lambda^1}{1!} e^{-2.63889} = \frac{1}{1} * 0.07144 + \frac{2.63889}{1} * 0.07144 = 0.260 .$$

Таблица 2.26.

Модели стандартных законов распределения случайных величин

Вид закона	Параметры	Модели $F_T(x)$ и $f_T(x)$
Закон Пуассона	$\lambda = \sum_{i=1}^n (i * n_i) / n$	$F_T(x) = \sum_{k=0}^x \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda}$; $0 < x < 4$; $f_T(x) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$; $k=0,1,2..n$;
Нормальный закон	$\mu = \mu^*$ $\sigma^2 = \sigma^{*2}$	$F_T(x) = \int f(x) dx$; $f_T(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$; $0 < x < 4$;
Экспоненциальный закон	$\lambda = 1/\mu^*$	$F_T(x) = 1 - e^{-\lambda x}$; $0 < x < 4$; $f_T(x) = \lambda e^{-\lambda x}$;

Для интервала $i=2$ k изменяется от 0 до 2, а F_{T2} определяется как

$$\sum_{k=0}^2 \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \left(\frac{\lambda^0}{0!} + \frac{\lambda^1}{1!} + \frac{\lambda^2}{2!} \right) e^{-2.63889} = \frac{1}{1} * 0.07144 + \frac{2.63889}{1} * 0.07144 + \frac{2.63889^2}{2} * 0.07144 = 0.509 .$$

Для интервала $i=3$ k изменяется от до 3, при этом F_{T3} определяется как

$$\sum_{k=0}^3 \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \left(\frac{\lambda^0}{0!} + \frac{\lambda^1}{1!} + \frac{\lambda^2}{2!} + \frac{\lambda^3}{3!} \right) * e^{-2.63889} = \left(\frac{1}{1} + \frac{2.63889}{1} + \frac{2.63889^2}{2!} + \frac{2.63889^3}{3!} \right) * 0.07144 = 0.728 .$$

и т.д. Результаты вычисления F_{Ti} см. в табл.2.25.

Шаг 10. Вычисляем теоретические вероятности попадания p_{Ti} случайной величины $\{X\}$ в i -й интервал

$$p_{Ti} = F_{T(x)i} - F_{T(x)(i-1)} , \quad (2.68)$$

где $F_{T(x)i}$ и $F_{T(x)(i-1)}$, вычисленные по моделям табл.2.1. $P_{Ti} = F_{Ti} - F_{Ti-1}$,
 $P_{T1} = F_{T1} = 0.216$; $P_{T2} = F_{T2} - F_{T1} = 0.509 - 0.260 = 0.249$. и т.д. (см. P_{Ti} в табл.2.25).

Шаг 11. Вычисляем расчетную статистику χ^{2*}

$$\begin{aligned} \chi^{2*} &= \sum_{i=1}^{nu} \frac{(n_i - n * p_{Ti})^2}{n * p_{Ti}} = \frac{(9 - 36 * 0.260)^2}{36 * 0.260} + \frac{(10 - 36 * 0.249)^2}{36 * 0.249} + \frac{(10 - 36 * 0.219)^2}{36 * 0.219} + \frac{(3 - 36 * 0.144)^2}{36 * 0.144} + \\ &+ \frac{(2 - 36 * 0.076)^2}{36 * 0.076} + \frac{(1 - 36 * 0.034)^2}{36 * 0.034} + \frac{(0 - 36 * 0.013)^2}{36 * 0.013} + \frac{(1 - 36 * 0.004)^2}{36 * 0.004} = \\ &= 0.014 + 0.120 + 0.568 + 0.920 + 0.198 + 0.041 + 1.000 + 5.089 = 7.95 \quad (2.69) \end{aligned}$$

где n_i - количество интервалов;

n_i - количество попаданий случайной величины в i -й интервал;

p_{Ti} - теоретическая вероятность попадания $\{Xi\}$ в i -й интервал.

Шаг 12. Сравниваем χ^{2*} с $\chi_{v,p}^2$ при $v = n_i - n_{ii} - 1 = 8 - 1 - 1 = 6$ и $p = 1 - p_d = 1 - 0.95 = 0.05$ (при доверительной вероятности 95%), где $\chi_{v,p}^2$ - табличное значение

квантиля критерия χ^{2*} , при $v = (n_{и}-n_{п}-1)=7-1-1=5$ и $p = (1-p_d)$ (табл.2 Приложения); $n_{п}$ - число параметров в модели закона; p_d - доверительная вероятность рекомендуется $p_d=95\%$); Поскольку $\chi^{2*} = 7.949 < \chi_{v,p}^2 = 12.590$ гипотеза H_0 о распределении $\{X_1\}$ по закону Пуассона не отвергается.

Оценка гипотезы H_0 о распределении $\{X_2\}$ по экспоненциальному закону

Шаг 13. Выдвигаем гипотезу H_0 об экспоненциальном законе распределения случайной величины $\{X_2\}$ с параметром $\lambda = \frac{1}{\mu_{x_2}} = \frac{1}{69.528} = 0.04091$.

Шаг 14. Определяем $F_{Ti}(x_i)$, подставляя x_i правой границы каждого интервала в модель экспоненциального закона из табл.2.26. Так, для интервала $i=1$

$$F_{T1} = 1 - e^{-\lambda x_i} = 1 - e^{-0.04091 \cdot 20} = 0.559. \quad \text{и т.д.} \quad \text{Результаты расчетов в табл.2.27.}$$

Таблица 2.27.

Теоретические F_{Ti} и p_{Ti} для экспоненциального закона

Интервал	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервала	20.00-24.00	24.01-28.01	28.02-32.02	32.03-36.03	36.04-40.04	40.05-44.05	44.06-48.06	48.07-52.07
n_i	27	2	4	2	0	0	0	1
F_{Ti}	0.559	0.626	0.682	0.730	0.771	0.806	0.835	0.860
p_{Ti}	0.559	0.067	0.057	0.048	0.041	0.035	0.029	0.025
χ^{2*}	2.349	0.070	1.849	0.043	1.476	1.260	1.044	0.011

Шаг 15. Определяем теоретические вероятности p_{Ti} попадания $\{X_1\}$ в i -й интервал, исходя из $F_{Ti}(x_i)$. Так, для $i=1$ $p_{T1}=0.559$; $p_{T2}=0.626-0.559=0.067$ и т.д. Результаты записываем в табл.2.27.

Шаг 16. Вычисляем расчетную статистику χ^{2*}

$$\chi^{2*} = \sum_{i=1}^{nu} \frac{(n_i - n \cdot p_{Ti})^2}{n \cdot p_{Ti}} = \frac{(27 - 36 \cdot 0.559)^2}{36 \cdot 0.559} + \frac{(2 - 36 \cdot 0.067)^2}{36 \cdot 0.067} + \frac{(4 - 36 \cdot 0.057)^2}{36 \cdot 0.057} + \frac{(2 - 36 \cdot 0.048)^2}{36 \cdot 0.048} + \frac{(0 - 36 \cdot 0.041)^2}{36 \cdot 0.041} + \frac{(0 - 36 \cdot 0.035)^2}{36 \cdot 0.035} + \frac{(0 - 36 \cdot 0.029)^2}{36 \cdot 0.029} + \frac{(1 - 36 \cdot 0.025)^2}{36 \cdot 0.025} = 8.102.$$

Шаг 17. Определив табличное значение $\chi_{v,p}^2$ при $v=n_{и}-n_{п}-1=7-1-1=5$ и $p=1-p_d=1-0.95=0.05$ (при доверительной вероятности 95%), сравниваем расчетное χ^{2*} с табличным $\chi_{v,p}^2$. Поскольку $\chi^{2*} = 8.102 < \chi_{v,p}^2 = 12.59$, гипотеза H_0 об экспоненциальном законе распределения $\{X_1\}$ не отвергается.

Поскольку обе гипотезы H_0 : а) о распределении $\{X_1\}$ - времен между началом буксировки ВС по закону Пуассона и б) о распределении времен

буксировки ВС $\{X_2\}$ по экспоненциальному закону не отвергаются, принимаем что УР₅ о возможности оптимизации элементов НК моделями теории массового обслуживания.

2.3.3. Оптимизация облика элементов НК

В задаче 6 выполняется оптимизация числа каналов обслуживания (ТГА) математическими моделями теории массового обслуживания. К качеству исходных данных заданы: $\lambda_{\text{пасс}}$ - интенсивность поступления заявок (ВС) на обслуживание, $t_{\text{об}}$ - среднее время обслуживания заявки, $c_{\text{оз}}$ - средние потери от простоя заявки за час, $c_{\text{ок}}$ - средние потери от простоя канала за час, c_3 - часовые эксплуатационные расходы канала. В примере: $\lambda=22$ (ВС/час), нормативное время заправки ВС $t_{\text{об}}=0.407$ ч. (24.4 мин.); $c_{\text{оз}}=150$ ден.ед., $c_{\text{ок}}=50$ ден.ед. и $c_3=1$ ден. ед. (см. табл.10 Приложения).

Алгоритм оптимизации СМО с ожиданием состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Интенсивность обслуживания одной заявки

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{об}}} = 1/0.407 = 2.46, \quad (2.70)$$

где $t_{\text{об}}$ - среднее время обслуживания заявки.

Шаг 2. Коэффициент загрузки канала $\alpha = \lambda / \mu = 22/2.46 = 8.94$, (2.71)

где $\lambda = 22$ - интенсивность потока заявок;

$\mu=2.46$ - интенсивность обслуживания заявок.

Шаг 3. Начальное количество каналов должно обеспечивать выполнение условия $(n - \alpha) > 0$ $n = \text{int}(\alpha + 0.5) = \lfloor 8.94 + 0.5 \rfloor = 9$. (2.72)

Шаг 4. Коэффициент загрузки СМО

$$\rho = \frac{1}{n\mu} = \frac{1}{9 * 2.46} = 0.045. \quad (2.73)$$

Шаг 5. Вероятность того, что все каналы свободны и ждут заявки

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}} = 0.0000751 \quad \text{при } \frac{\alpha}{n} < 1, \quad (2.74)$$

где k - текущее число занятых каналов СМО

Шаг 6. Вероятность занятости всех каналов обслуживанием ($k > n$)

$$P = \frac{\alpha^n P_0}{(n-1)!(n-\alpha)} = 0.655. \quad (2.75)$$

Шаг 7. Среднее время ожидания начала обслуживания каждой заявкой

$$t_{ож} = P \frac{t_{об}}{(n - \alpha)} = 0.25 \quad . \quad (2.76)$$

Шаг 8. Среднее количество ВС, ожидающих каналов обслуживания

$$N_o = \frac{P\alpha}{n(1 - \frac{\alpha}{n})^2} = 53.6 \quad . \quad (2.77)$$

Шаг 9. Вероятность нахождения на обслуживании n заявок

$$P_n = \frac{\alpha^n P_o}{k!} = 0.056. \quad (2.78)$$

Шаг 10. Среднее количество заявок на обслуживании

$$N_{сc} = N_o + \frac{nP_n}{1 - \frac{\alpha}{n}} + P_o \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\alpha^k}{(k-1)!} = 59.32 \quad . \quad (2.79)$$

Шаг 11. Среднее количество простаивающих каналов СМО

$$N_n = P_o \sum_{k=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \alpha^k = 1.0 \quad . \quad (2.80)$$

Шаг 12. Среднее число занятых каналов $N_3 = n - N_n = 10 - 1 = 9$. (2.81)

Шаг 13. Суммарные затраты-потери

$$Cs(N_k) = (c_{оз} \lambda t_{ож} + c_{ок} N_n + c_3 N_k) t = 903 \text{ ден.ед.} \quad (2.82)$$

где t=1 - длительность расчетного периода (час).

Увеличиваем n на 1 единицу и повторяем Шаги-13, пока первоначально уменьшающиеся Cs(N_k) не начнут расти. Результаты расчетов в табл.2.28.

Таблица 2.28.

Оптимизация СМО с ожиданием

Po	P	Pn	tож	No	Nok	Nk	Nn	Nз	Cs(Nk)	
0.0000751	0.655	0.056	0.25	53.6	59.32	10	1	9	903	
0.0001053	0.421	0.058	0.08	9.9	16.98	11	2	9	387	
0.0001186	0.259	0.045	0.03	3.0	10.74	12	3	9	275	
0.0001245	0.153	0.030	0.02	1.1	9.24	13	4	9	262	opt
0.0001271	0.086	0.019	0.01	0.4	8.86	14	5	9	284	
0.0001284	0.046	0.010	0.00	0.2	8.81	15	6	9	322	

Итогом решения задачи 6 является УР6, согласно которому оптимальное число машин равно N_k=13.

2.3.4. Оценка потребности в ресурсах и поиск «узких мест»

Оценка потребности КОУ в ресурсах осуществляются путем сравнения их фактических и оптимальных значений. Анализируя УР₁₋₆ необходимо оценить достаточность: 1) парка ВС для выполнения заданного объема перевозок

млн.ткм.; 2) тягачей; 3) денежных оборотных средств для начального периода реализации планов использования оптимального парка ВС; 4) резерва ГСМ, необходимого для выполнения оптимального плана табл.2.17.

Анализируя УР₁₋₆ делаем выводы и формулируем УР по улучшению УС:

1) фактический парк ВС может выполнить 1402 млн.ткм. и дать 71955 ден. ед. прибыли на сети ВЛ, имеющей потенциал прибыли в 72655 ден.ед. ;

2) в фактическом парке ВС есть один лишний самолет Ил-114;

3) оптимальный парк ВС : 10 Ил-96м,6 Ту-154м,19 Ту-204м, 30 Ил-114;

4) оптимальный парк ВС при плановом налете часов Ил-96м, Ту-154м, Ту-204м и превышении налета часов на Ил-114 на 1.4% может выполнить план табл.2.17 и дать 72100 ден. ед. прибыли, что на 145 ден.ед. больше, чем у фактического парка ВС;

5) сравнивая оптимальное количество тягачей с заданным в табл.11 Приложения, необходимо сделать вывод об их достаточности или недостаточности и сформировать необходимое УР;

6) сравнивая расходы на выполнение всех ПР за I-й квартал, как долю суммарных годовых расходов, зависящую от числа ПР за i-й квартал из табл.2.20 с заданным в табл.10 Приложения наличием у АК

$$P_{ik} = P_{\phi} \frac{N_{ПРi}}{N_{ПРС}} = 43975 \frac{(1067 + 889 + 1067)}{17789} = 43975 \frac{3023}{17789} = 7473 \text{ ден.ед.}$$

денежных оборотных средств, необходимо сделать вывод об их достаточности или недостаточности и сформулировать УР;

7) вычислив расход ГСМ, как сумму произведений числа ПР на всех типах ВС по всем ВЛ на их продолжительность и на часовой расход топлива, и сравнив его с, заданным в табл.14 Приложения, запасом ГСМ, необходимо сделать вывод о его достаточности или недостаточности и сформировать УР.

Исходные данные к выполнению КР
Фактический парк самолетов авиакомпании Таблица 1.

Типы ВС	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ил-96-300	1	1	1	5	2	2	1	4	3	1
Ту-214	10	7	6	13	12	9	3	14	10	10
Ту-204М	24	23	27	17	17	26	27	11	11	28
Ту-334	13	1	19	0	0	0	6	2	34	6
Ил-114	0	0	0	18	2	3	0	0	0	0
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ил-96-300	2	1	3	2	3	5	1	1	3	1
Ту-214	2	6	5	11	4	6	8	3	3	8
Ту-204М	30	15	15	12	7	8	24	25	15	18
Ту-334	11	20	0	16	23	1	3	8	2	28
Ил-114	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0

Спрос на перевозки (млн.ткм.) по (1-6)-й ВЛ Таблица 2.

ВЛ	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	195	134	418	342	36	256	42	36	253	125
2	316	187	122	292	363	373	98	382	284	169
3	225	186	197	379	114	91	197	286	159	290
4	200	145	191	78	103	70	322	81	186	288
5	83	254	292	312	278	179	199	146	26	191
6	224	74	118	187	115	112	118	201	303	174
ВЛ	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	210	122	80	259	18	82	183	150	157	187
2	375	252	132	118	152	44	206	197	186	410
3	180	142	243	269	131	167	98	177	110	15
4	98	138	78	112	63	77	111	124	51	234
5	96	354	197	123	271	101	68	117	91	73
6	194	98	89	191	121	91	78	123	48	268

Протяженность (1-7)-й воздушных линий (км) Таблица 3.

ВЛ	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-										
1	2022	2533	2024	6315	1036	4093	2208	2104	6536	7339
2	7570	4560	4050	4540	4130	2520	2010	7520	7530	7570
3	3580	7570	3560	6560	2570	2800	7590	4180	4590	3580
4	3520	4530	3040	1550	3040	1030	2550	3540	2530	4140
5	2540	3050	7540	2530	7520	3530	3540	5050	1520	3030
6	2500	1500	4500	7500	7500	3000	4100	3000	4500	2000
7	4515	3500	3000	2511	3500	7519	3000	7423	2000	3031
-	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2118	4127	1536	7435	2014	7513	7122	3501	3302	7503
2	2560	3550	3030	4150	3040	2120	4130	7540	6550	4160
3	4070	2560	6550	3560	3570	3580	4070	4160	4150	2160
4	3550	6510	4100	2590	4180	2570	5510	2520	3530	2540
5	7540	2050	7500	2330	7540	4200	3030	2040	2100	2030
6	6400	4500	3500	7500	2500	6500	2030	3000	3000	3990
7	3000	6500	2510	2013	2012	7700	3090	3080	3300	2100

Летно-технические характеристики самолетов (ВС) Таблица 4.

Тип ВС	А эк/ч	Нг	Аг	Свс	Гто	Гкмх	Gklm	Веко	Нкр	Тпод	Вкр
	ткм/ч	ч	млн. ткм	млрн. руб.	т/ч	т	т	км/ч	шт.	ч.	км/ч
Ил-96-300м	34000	4200	142.8	1125	7.7	40.0	20.0	850	300	2.0	900
Ту-214	20000	4250	85.0	750	5.0	25.2	20.0	850	210	2.0	850
Ту-204м	17200	2800	48.2	700	4.2	21.0	13.0	810	214	1.0	828
Ту-334	10000	2800	28.0	625	2.0	9.0	3.0	800	100	1.0	830
Ил-114	2820	2000	5.6	250	1.2	6.0	1.5	470	64	1.0	500

Динамика критического фактора ВНС x₂ Таблица 5.

Годы	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	19	24	55	102	29	33	90	112	33	42
2	39	34	56	123	59	42	92	125	71	53
3	59	45	57	148	90	52	93	138	111	64
4	79	55	59	177	121	62	94	153	154	76
5	99	65	60	213	153	71	95	170	197	87
6	119	76	61	255	184	81	96	189	242	98
7	140	86	63	306	216	90	97	210	287	109
8	160	97	64	367	249	100	99	233	334	121
9	181	107	65	441	281	110	100	259	381	132
10	201	117	67	529	314	119	101	287	428	143

Годы	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	43	72	22	57	99	61	57	69	58	48
2	45	85	46	67	100	78	150	71	60	100
3	47	101	71	76	102	101	263	72	61	152
4	49	121	97	86	104	130	393	74	62	206
5	52	143	124	96	105	168	536	76	64	261
6	54	171	152	106	107	217	690	78	65	316
7	56	203	179	115	108	280	855	79	66	371
8	58	242	207	125	110	361	1030	81	68	427
9	60	288	236	135	111	466	1213	83	69	483
10	63	342	265	144	113	601	1404	84	71	540

Сезонная неравномерность Таблица 6.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого
% Q	6	5	6	8	9	10	11	14	11	8	6	6	100%

Недельная неравномерность Таблица 7.

День недели	Понедель- ник	Вторни к	Среда	Четверг	Пятниц а	Суббота	Воскре- сенье
%% Qн	11	9	9	11	20	20	20

Суточная неравномерность Таблица 8.

Время	0- 6	6- 8	8- 10	10- 12	12- 14	14- 16	16- 18	18- 20	20- 22	22- 24
%% Qс	0	5	5	18	13	15	13	18	7	6

Многофакторное прогнозирование Q₇ (млн.ткм.) Таблица 9.

Q ₇	-	X ₁	X ₂	Q ₇	-	X ₁	X ₂	Q ₇	-	X ₁	X ₂	Q ₇	-	X ₁	X ₂
Вариант 1				Вариант 2				Вариант 3				Вариант 4			
301	1	6	79	113	1	8	55	210	1	31	57	111	1	32	177
305	1	8	99	134	1	10	65	220	1	32	59	122	1	34	213
309	1	10	119	156	1	12	76	230	1	33	60	133	1	36	255
312	1	12	140	175	1	13	86	240	1	34	61	145	1	38	306
317	1	14	160	197	1	14	97	250	1	35	64	155	1	36	367
321	1	16	181	204	1	13	107	260	1	34	65	167	1	34	441
367	1	23	201	225	1	12	117	270	1	33	67	178	1	32	529
?.	1	27	?.	?.	1	11	?.	?.	1	32	?.	?.	1	30	?.
Вариант 5				Вариант 6				Вариант 7				Вариант 8			
312	1	35	121	431	1	48	62	202	1	24	94	312	1	21	153
324	1	44	153	444	1	46	71	204	1	25	95	324	1	20	170
336	1	46	184	457	1	44	81	208	1	26	96	334	1	19	189
348	1	48	216	469	1	42	90	213	1	27	97	346	1	18	210
350	1	46	249	482	1	40	100	216	1	29	99	354	1	19	233
362	1	49	281	493	1	38	110	221	1	26	100	366	1	20	259
375	1	52	314	508	1	34	119	233	1	25	101	378	1	21	287
?.	1	50	?.	?.	1	32	?.	?.	1	24	?.	?.	1	22	?.
Вариант 9				Вариант 10				Вариант 11				Вариант 12			
512	1	19	154	308	1	22	76	200	1	22	49	261	1	22	121
524	1	24	197	314	1	24	87	211	1	24	52	245	1	24	143
538	1	27	242	321	1	26	98	221	1	29	54	229	1	26	171
543	1	29	287	330	1	28	109	230	1	30	56	213	1	28	203
556	1	31	334	346	1	33	121	241	1	31	58	196	1	29	242
561	1	29	381	361	1	28	132	251	1	28	60	180	1	28	288
572	1	27	428	380	1	25	143	270	1	23	63	166	1	25	342
?.	1	23	?.	?.	1	23	?.	?.	1	22	?.	?.	1	23	?.
Вариант 13				Вариант 14				Вариант 15				Вариант 16			
359	1	21	97	459	1	21	86	329	1	17	104	412	1	14	138
347	1	22	124	447	1	22	96	337	1	20	105	424	1	17	168
335	1	23	152	434	1	23	106	340	1	28	107	432	1	19	217
323	1	25	179	421	1	20	115	351	1	22	108	444	1	20	280
311	1	27	207	412	1	19	125	362	1	28	110	462	1	18	361
298	1	25	367	406	1	12	135	376	1	20	111	475	1	16	466
286	1	34	265	399	1	12	144	380	1	28	113	487	1	14	601
?.	1	33	?.	?.	1	11	?.	?.	1	32	?.	?.	1	11	?.
Вариант 17				Вариант 18				Вариант 19				Вариант 20			
512	1	10	293	220	1	43	74	380	1	28	62	490	1	28	60
524	1	12	336	230	1	40	76	370	1	27	64	480	1	30	72
532	1	13	390	240	1	37	78	360	1	26	65	470	1	32	85
544	1	15	455	250	1	33	79	350	1	24	66	460	1	36	102
562	1	18	530	260	1	30	81	340	1	25	68	450	1	38	121
574	1	20	613	270	1	26	83	330	1	23	69	440	1	39	144
583	1	20	704	280	1	22	84	315	1	22	71	430	1	37	171
?.	1	23	?.	?.	1	14	?.	?.	1	21	?.	?.	1	35	?.

Технико-экономические параметры СМО Таблица 10.

Вид СМО	Усл.об.	Цена тыс. \$	c _{оз}	c _{ок ден. ед.}	c _з	t _{об ч}
Тягач аэродромный	ТГА	500	150	50	1	0.400

Число аэродромных тягачей (N тга) в аэропорту /шт./ Таблица 11.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
N кю	15	6	8	13	6	8	9	12	6	7	9	11	14	11	9	7	12	9	8	10

Интервалы между началом буксировки ВС (мин) Таблица 12.

Вариант 1						Вариант 2						Вариант 3					
12	6	3	7	5	6	11	4	5	5	2	1	1	2	3	1	6	6
11	3	5	3	7	8	11	5	8	3	8	8	9	1	3	10	1	8
10	3	3	8	1	2	10	1	6	4	16	6	2	6	1	12	5	3
11	9	7	4	6	3	3	1	6	2	7	11	4	6	10	21	9	2
11	5	1	2	4	5	2	1	6	6	3	5	2	3	5	13	4	1
12	1	4	6	2	8	13	1	6	2	5	7	1	2	2	7	7	1
Вариант 4						Вариант 5						Вариант 6					
8	7	8	1	1	5	11	7	5	1	5	8	10	6	5	6	3	2
2	4	1	2	2	3	7	7	3	3	3	11	11	5	5	12	6	6
18	4	6	7	7	4	13	3	6	3	3	12	10	4	8	4	2	3
10	6	4	7	9	6	14	1	7	1	9	9	3	12	1	6	7	6
5	4	9	2	1	3	10	6	1	3	5	9	10	7	8	10	6	1
11	8	1	1	5	1	13	2	2	2	2	6	4	17	8	1	7	4
Вариант 7						Вариант 8						Вариант 9					
12	2	5	1	2	6	10	2	2	2	11	9	10	3	6	6	1	3
4	3	3	1	2	2	14	2	1	1	16	6	11	6	1	2	1	2
12	2	8	2	1	4	7	5	5	1	7	3	5	11	1	1	3	3
14	1	4	1	1	4	15	2	4	1	14	1	4	5	10	2	5	5
2	2	9	9	4	1	15	2	4	5	1	9	4	12	4	1	6	7
8	1	5	9	4	2	13	1	3	2	7	3	7	7	3	4	7	1
Вариант 10						Вариант 11						Вариант 12					
12	6	1	7	4	4	4	5	4	3	11	3	7	2	2	3	11	6
14	1	3	4	4	3	6	4	4	3	6	7	18	11	15	9	11	6
7	2	6	4	4	5	9	7	4	2	2	13	13	3	9	3	9	1
10	5	1	5	7	2	2	1	3	3	2	2	10	3	4	7	9	2
11	3	2	3	3	9	4	2	3	3	5	12	6	1	10	6	3	7
3	7	3	3	8	1	10	1	7	2	9	8	16	1	5	1	2	2
Вариант 13						Вариант 14						Вариант 15					
7	1	2	8	5	3	11	6	7	1	14	4	14	1	4	3	3	9
2	7	7	5	8	9	9	7	4	2	3	3	7	2	4	3	6	5
10	2	4	6	2	4	5	2	1	1	5	6	11	7	8	5	2	4
6	2	8	2	4	4	12	5	4	1	2	2	3	3	9	13	8	8
2	2	1	1	9	7	4	3	8	8	1	5	9	1	1	4	2	2
1	1	4	5	6	7	10	6	1	2	4	1	12	6	1	6	11	2
Вариант 16						Вариант 17						Вариант 18					
10	2	1	2	3	6	3	2	2	2	4	8	2	8	10	3	1	2
12	1	6	1	2	2	10	2	4	1	1	3	4	6	10	3	1	1
6	5	1	6	9	6	14	5	5	1	2	3	2	3	1	12	6	1
13	7	5	3	2	3	6	4	3	8	10	3	11	2	2	3	6	1
5	3	1	8	1	4	11	5	2	5	7	3	3	1	7	1	4	1
10	3	3	3	6	3	12	4	6	3	4	6	11	3	1	6	4	9
Вариант 19						Вариант 20											
6	4	3	5	8	5	4	2	4	3	6	5						
11	8	5	1	6	6	10	5	2	1	5	7						
5	2	5	5	4	1	5	3	6	2	8	10						
7	7	2	3	2	9	2	2	3	4	5	17						
10	2	3	4	6	2	1	5	7	6	1	3						
10	2	1	5	1	2	12	2	3	2	4	1						

Времена буксировки ВС тягачем (мин) Таблица 13.

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
22 22 21 20 22 22	22 24 23 24 22 22	24 22 21 22 23 21	22 22 22 23 24 23
22 20 25 22 24 32	24 22 20 35 20 24	22 21 20 25 22 30	20 20 24 24 20 34
22 25 24 23 20 24	22 25 22 20 22 24	24 24 45 21 24 23	22 22 22 22 24 20
23 22 24 23 23 22	21 22 24 20 20 24	25 22 22 22 22 22	22 20 25 24 22 21
22 22 22 21 22 24	22 25 22 22 21 24	21 21 22 23 25 24	22 24 25 41 23 22
22 22 20 22 25 42	21 22 22 24 20 21	25 22 41 20 24 22	22 22 22 22 23 22
Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
22 24 22 21 22 22	24 23 20 23 22 25	20 23 21 23 24 22	24 21 22 22 24 23
22 22 24 35 23 22	22 30 25 22 22 23	34 25 20 22 22 21	24 25 22 22 33 20
20 22 24 22 22 22	20 22 20 24 24 22	24 22 22 23 25 24	24 44 23 24 21 20
22 22 22 25 25 22	24 22 22 22 22 24	22 20 23 24 25 22	22 24 24 21 25 22
24 24 22 20 25 24	24 24 24 23 22 23	22 24 22 21 21 22	21 22 22 23 24 20
21 25 23 23 22 24	20 24 22 20 25 22	22 25 24 21 20 20	25 20 24 22 23 23
Вариант 10	Вариант 11	Вариант 9	Вариант 12
24 20 22 21 22 22	42 22 23 24 24 25	23 23 24 22 22 21	22 20 22 22 25 20
32 20 24 23 24 22	22 32 25 20 21 20	44 30 21 23 22 22	22 24 32 22 22 23
20 22 21 22 22 22	22 24 22 22 25 22	21 21 24 24 22 24	24 25 20 22 24 22
21 25 22 22 23 22	22 22 20 24 20 21	22 20 24 22 23 21	24 25 21 42 21 24
22 24 22 20 22 24	24 22 24 22 24 24	22 22 23 20 24 22	23 22 22 22 22 24
22 23 25 24 22 22	20 20 22 21 22 24	21 22 20 23 24 21	22 20 22 22 20 42
Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
20 24 22 21 22 25	27 20 21 20 22 20	22 22 22 22 21 41	27 22 21 20 22 20
22 22 22 20 34 22	20 20 36 22 21 20	25 22 35 25 24 24	22 22 35 20 20 20
22 22 20 24 22 24	20 25 24 22 21 24	24 22 25 22 22 20	22 20 24 25 20 24
24 22 20 20 21 20	33 22 24 22 21 20	22 22 22 22 22 22	33 22 24 22 20 20
22 23 21 22 22 42	20 22 22 21 21 35	20 25 22 25 22 22	22 22 22 22 20 35
23 22 23 22 22 22	20 22 20 20 36 42	22 22 20 22 22 22	22 20 21 22 38 42
Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
25 24 22 24 20 25	23 22 24 22 22 22	24 20 22 24 24 22	22 22 25 22 22 25
24 30 22 22 22 24	22 31 23 22 22 22	33 22 22 20 24 25	34 23 24 20 21 21
22 22 22 22 21 23	22 22 22 20 21 24	25 21 23 21 22 21	24 22 21 22 22 21
23 20 22 22 22 22	20 25 21 24 22 21	22 22 25 22 24 22	21 22 22 22 20 22
23 22 40 24 25 21	20 21 22 20 20 24	24 42 21 22 22 22	20 23 22 22 22 22
24 22 21 20 22 22	22 20 22 20 20 25	20 22 20 20 25 21	22 22 24 23 20 20

Запасы ресурсов предприятия

Таблица 14.

Таблица 15.

Вариант	ГСМ	Оборотные средства	Вариант	ГСМ	Оборотные средства
1	800000	20000	11	487950	8415
2	705000	14210	12	600000	12000
3	590000	7800	13	630000	10500
4	650000	10000	14	589000	12000
5	550000	12000	15	505000	10800
6	550000	11000	16	650000	15000
7	560000	10000	17	480000	10000
8	520000	9500	18	790000	13000
9	670000	11000	19	472000	8100
10	850000	11800	20	543600	7850

Расходы и прибыль от перевозки 1 ткм.

Лвл (км)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Расходы							
Ил-96-300	66.7	50.0	41.7	33.3	30.0	26.7	23.3
Ту-214	50.0	33.3	30.0	25.0	20.0	15.0	13.3
Ту-204м	26.7	23.3	18.3	16.7	10.0	11.7	13.3
Ту-334	11.7	10.0	8.3	11.7	13.3	16.7	20.0
Ил-114	10.0	8.3	8.3	10.0	13.3	23.3	30.0
Прибыль							
Ил-96-300	-66.7	-49.7	-40.0	-31.0	-26.0	-17.7	-11.0
Ту-214	-50.0	-33.0	-27.0	-18.3	-10.7	-2.3	1.0
Ту-204м	-26.7	-16.7	1.3	2.7	5.3	6.0	9.0
Ту-334	0.3	1.5	1.9	3.3	1.0	-9.7	-20.0
Ил-114	0.2	0.7	1.7	-3.3	-10.7	-23.3	-30.0
Лвл (км)	4000	4500	5000	5500	6500	7500	8000
Расходы							
Ил-96-300	20.0	16.7	13.3	12.7	11.7	10.0	9.3
Ту-214	11.7	15.0	18.3	20.0	21.7	23.3	25.7
Ту-204м	16.7	13.3	33.3	36.7	40.0	50.0	56.7
Ту-334	23.3	28.3	33.3	50.0	58.3	83.3	90.0
Ил-114	40.0	50.0	66.7	83.3	91.7	100.0	106.7
Прибыль							
Ил-96-300	-5.3	-1.7	1.0	2.0	6.7	11.0	8.7
Ту-214	3.3	0.7	-2.0	-2.3	-3.3	-10.0	-24.3
Ту-204м	-0.1	-3.3	-28.3	-36.0	-40.0	-50.0	-66.7
Ту-334	-23.3	-28.34	-33.3	-50.0	-58.3	-83.3	-100.0
Ил-114	-40.0	-50.0	-66.7	-83.3	-91.7	-100.0	-116.7

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов В.В. Алгоритмы методов разработки управленческих решений. Учебное издание. - М.: МГТУ ГА, 2001. - 124 с.
2. Андрианов В.В. Управленческие решения: Учебное пособие. - М.: МГТУ ГА, 2003. - 124 с.
3. Андрианов В.В. Экономико-математические методы и модели. Часть II. Компьютерная реализация: Учебное пособие. - М.: МГТУ ГА, 1998. - 104с.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение.....	3
1.1.	Цели и содержание курсовой работы.....	3
1.2.	Определение номера варианта.....	4
1.3.	Требования к оформлению пояснительной записки.....	4
2.	Методические рекомендации к выполнению курсовой работы.....	5
2.1.	Концепции проблемы КР	5
2.2.	Декомпозиция проблемы КР	6
2.2.1.	Прогнозирование критического фактора внешней среды x_2	6
2.2.2.	Прогнозирование объема авиаперевозок по 7-й ВЛ.....	10
2.2.3.	Оценка экономического потенциала фактического парка ВС.....	14
2.2.4.	Оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок.....	21
2.2.5.	Формирование облика оптимального парка ВС.....	23
2.3.	Формирование оптимального облика наземного комплекса.....	26
2.3.1.	Оценка параметров периода наиболее интенсивной работы НК	28
2.3.2.	Оценка возможности использования теории массового обслуживания	31
2.3.3.	Оптимизация облика элементов НК.....	35
2.3.4.	Оценка потребности в ресурсах и поиск «узких мест».....	36
Приложение	Исходные данные к выполнению КР.....	37
Литература	43