

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУГА)**

Кафедра «Экономика ГА»

АНДРИАНОВ В.В.

ПОСОБИЕ

по выполнению курсовой работы

по дисциплине

«УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ»

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

МОСКВА – 2013

ББК 33.05

А65

Рецензент к.э.н. Степанова Н.И.

Андрианов В.В.

Управленческие решения: Пособие по выполнению курсовой работы для студентов IV-го курса заочного обучения спец.08.05.07.-М.:МГТУ ГА, 2013.-40с.

Пособие издается в соответствии с учебным планом для студентов IV-го курса специальности 08.05.07. заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры __.03.13 г. и методического совета __.04.13 г.

1. Введение

1.1. Цели и содержание курсовой работы

В ходе изучения дисциплины "Управленческие решения" студенты заочной формы обучения специальности 080507 должны выполнить курсовую работу (КР), 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 экономико-математических методов моделирования, поиска оптимальных вариантов и оценки последствий реализации УР.

Субъект управления (СУ) воздействует на управленческую ситуацию (УС) и объект управления (ОУ) управленческими решениями (УР), созданными с учетом влияния факторов внешней среды (ВНС), параметров и процесса функционирования (ПФ) ОУ – выполнения его целевого назначения.

В КР предлагается решить комплекс экономико-математических задач, для которых: сформулированы словесные постановки цепочки взаимосвязанных задач, заданы исходные данные, перечислены искомые величины и приведены примеры их решения.

Результаты, полученные при решении каждой предыдущей задачи, нужны для решения последующей задачи. Часть задач решается вручную без ЭВМ, а часть с помощью ЭВМ-программ [6], реализующих базовые алгоритмы ЭММ [1]. По итогам решения каждой задачи формулируется УР.

Более подробно с информацией об особенностях реализации алгоритмов экономико-математических методов разработки УР можно ознакомиться в учебных пособиях [1; 2; 3].

1.2. Определение номера варианта КР

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

Номера вариантов курсовой работы Таблица 1.1

Последние цифры N зачетной книжки	N вари- анта	Последние цифры N зачетной книжки	N вари- анта	Последние цифры N зачетной книжки	N вари- анта	Последние цифры N зачетной книжки	N вари- анта
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 оформляется в виде переплетенной пояснительной записки, с названиями на титульном листе: университета, дисциплины, ф.и.о. лектора, кафедры, автора работы и номерами зачетной

книжки, варианта и регистрации в журнале регистрации в заочном деканате. На втором листе КР приводятся результаты решения задач (табл. 1.2).

Результаты решения задач КР **Таблица 1.2**

Задача	Результат решения задачи
1.	Прогноз фактора внешней среды (ВНС) $x_2 = \dots$
2.	Прогноз спроса на авиаперевозки $Q_7 = \dots$ млн. ткм по 7-й ВЛ
3.	а) экономический потенциал рынка = ...млрд. руб.; б) оптимальный парк ВС : Ил-...; ...Ту-...; ...Ту-...; ...Ту-...
4.	Расчетные интенсивности прибытия в аэропорт $\lambda_{\text{вс}} = \dots$; $\lambda_{\text{пасс}} = \dots$
5.	$\chi^2 = \dots$ у закона Пуассона для прибывающих ВС; $\chi^2 = \dots$ у эксп. закона для t обслуживания ВС
6.	Оптимальное количество машин "Элефант" $N_9 = \dots$

В КР рекомендуется:

- 1) вычислять с точностью до 0.001, округляя до 0.01;
- 2) привести в записке: исходные данные, модели, промежуточные и итоговые и результаты, перечень литературы;
- 3) модели, страницы, таблицы и графики нумеровать арабскими цифрами.

В КР не рекомендуется:

- 1) приводить в записке материал, не относящийся к задачам КР и делать некорректные сокращения;
 - 2) на калькуляторах пересчитывать результаты, вычисленные ЭВМ.
- Автор заранее благодарит студентов, обнаруживших опечатки и ошибки.

2. Методические рекомендации к выполнению курсовой работы

2.1. Постановка задачи КР

Авиакомпания (АК) выполняет полеты по 7-ми воздушным линиям. **Исходные данные** для вариантов КР приведены в Приложении I. Содержание Приложения I в табл. 2.1.

Содержание Приложения I **Таблица 2.1**

$N_{\text{ин}}$	Наименование таблицы	$N_{\text{таб}}$
1.	Летно-технические характеристики ВС	1
2.	Прогноз спроса и протяженности ВЛ	2
3.	Динамика фактора x_2	3
4.	Объемы перевозок Q (млн. ткм) и факторы x_1 и x_2	4
5.	Сезонная неравномерность перевозок	5
6.	Недельная неравномерность перевозок	6
7.	Суточная неравномерность перевозок	7
8.	Расходы, доходы и прибыль, получаемые за перевозку 1 ткм	8
9.	Число машин "Элефант" в базовом аэропорту	9
10.	Интервалы t между приходами ВС на обслуживание	10
11.	Времена обслуживания ВС	11
12.	Запасы ресурсов АК	12

Необходимо найти: прогноз фактора x_2 и спроса Q_7 ; max прибыли, которую можно получить на рынке авиаперевозок; оптимальный парк ВС и прибыль, которую можно на нем получить; расчетные интенсивности прибытия в базовый аэропорт ВС λ_{bc} и пассажиров $\lambda_{пасс}$; достаточность количества машин "Элефант", необходимых для обслуживания взлетов-посадок оптимального парка ВС в базовом аэропорту.

2.2. Декомпозиция проблемы КР

Проблема КР представлена в виде цепочки задач табл. 2.2.

Таблица 2.2

Декомпозиция проблемы УС КР

Задача	Суть задачи
1.	Однофакторное прогнозирование фактора внешней среды x_2
2.	Многофакторное прогнозирование спроса Q_7 по 7-й ВЛ
3.	Оптимизация парка ВС: а) оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок; б) оптимизация расстановки и облика парка ВС
4.	Оценка интенсивностей прибытия в базовый аэропорт ВС λ_{bc} и пассажиров $\lambda_{пасс}$ в пиковый период работы
5.	Оценка возможности использования теории массового обслуживания при оптимизации облика элементов НК
6.	Оптимизация облика элемента наземного комплекса

3. Примеры решения задач курсовой работы

3.1. Однофакторное прогнозирование фактора внешней среды x_2

В задаче 1 оценивают точечный и интервальный прогнозы критического фактора внешней среды x_2 . Исходные данные для варианта КР находятся в табл. 3 Приложения I. Исходные данные примера – в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные для прогнозирования фактора x_2

Номер года (t_i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фактор x_{2i}	5	14	21	28	34	39	43	46	48	49	?.

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

1. Рассчитать параметры моделей зависимости $x_2 = f(t)$:

$$а) \quad x_2 = a + b * t; \quad (3.1)$$

$$б) \quad x_2 = a * b^t; \quad (3.2)$$

$$в) \quad x_2 = a * t^b; \quad (3.3)$$

$$г) \quad x_2 = a + b * t + c * t^2. \quad (3.4)$$

2. Оценить адекватность моделей (3.1-3.4) и выбрать модель прогноза x_2 .

3. Сформировать прогноз $x_2 = f(t)$ по выбранной модели.

Алгоритм решения задачи 1 последовательно вычисляет:

Шаг 1. Коэффициенты уравнений регрессии 3.1-3.4 по моделям табл. 3.2.

Результаты оценки a и b для уравнения $x_2 = a + b * t$ в табл. 3.3.

Модели расчета параметров уравнений 3.1-3.4. Таблица 3.2

Модель	Расчетные коэффициенты	
$x_2 = a + b * t$	$b = \frac{\sum_i t_i \sum_i x_{2i} - n \sum_i t_i x_{2i}}{(\sum_i t_i)^2 - n \sum_i t_i^2}$	$a = \frac{(\sum_{i=1}^n x_{2i} - b \sum_{i=1}^n t_i)}{n};$
$x_2 = a * b^t$	$b_1 = \frac{\sum_i t_i \sum_i Ln(x_{2i}) - n \sum_i t_i Ln(x_{2i})}{(\sum_i t_i)^2 - n \sum_i t_i^2};$	$a = \frac{\exp(\sum Ln(x_{2i}) - b_1 \sum t_i)}{n};$ $b = \exp(b_1);$
$x_2 = a * t^b$	$b = \frac{\sum_i Ln(t_i) \sum_i Ln(x_{2i}) - n \sum_i Ln(t_i) Ln(x_{2i})}{(\sum_i Ln(t_i))^2 - n \sum_i Ln(t_i^2)}$	$a = \frac{\exp(\sum Ln(x_{2i}) - b \sum Ln(t_i))}{n};$
$x_2 = a + b * t + c * t^2$	$d_1 = n \sum t_i^3 - \sum t_i \sum t_i^2;$ $d_2 = n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2;$ $d_3 = n \sum (x_{2i} t_i^2) - \sum x_{2i} \sum t_i^2;$ $d_3 = d_3 + d_1 (\sum t_i \sum x_{2i} - n \sum (t_i x_{2i})) / d_2;$	$c = \frac{d_3}{n \sum t_i^4 - \sum t_i^2 \sum t_i^2 - d_1^2 / d_2};$ $b = \frac{n \sum (t_i x_{2i}) - \sum t_i \sum y_i - c * d_1}{d_2};$ $a = \frac{\sum x_{2i} - b \sum t_i - c \sum t_i^2}{n};$

Таблица 3.3

Пример расчета элементов моделей (3.5-3.8)

t_i	$\sum_i t_i$	x_{2i}	$\sum_i x_{2i}$	$t_i * x_{2i}$	$\sum_i t_i x_{2i}$	t_i^2	$\sum_i t_i^2$	$(t_i - \mu_{t2})$	$(t_i - \mu_{t2})^2$	$\sum_i (t_i - \mu_{t2})^2$	σ_y^2
1	1	5	5	5	5	1	1	-4.50	20.25	20.25	85.25
2	3	14	19	28	33	4	5	-3.50	12.25	32.50	124.11
3	6	21	40	63	96	9	14	-2.50	6.25	38.75	139.32
4	10	28	68	112	208	16	30	-1.50	2.25	41.00	141.77
5	15	34	102	170	378	25	55	-0.50	0.25	41.25	141.96
6	21	39	141	234	612	36	91	0.50	0.25	41.50	146.37
7	28	43	184	301	913	49	140	1.50	2.25	43.75	158.16
8	36	46	230	368	1281	64	204	2.50	6.25	50.00	177.81
9	45	48	278	432	1713	81	285	3.50	12.25	62.25	203.82
10	55	49	327	490	2203	100	385	4.50	20.25	82.50	233.34

$$b = \frac{\sum_i t_i \sum_i x_{2i} - n \sum_i t_i x_{2i}}{(\sum_i t_i)^2 - n \sum_i t_i^2} = \frac{(55 * 327 - 10 * 2203)}{55 * 55 - 10 * 385} = \frac{17985 - 22030}{3025 - 3850} = \frac{-4045}{-825} = 4.903;$$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n x_{2i} - b \sum_{i=1}^n t_i)}{n} = \frac{327 - 4.903 * 55}{10} = \frac{327 - 269.669}{10} = \frac{57.33}{10} = 5.73.$$

Подставляем a и b в (2.1) и получаем модель $x_2 = 5.73 + 4.903 * t$.

Шаг 2. Математические ожидания x_2 и t

$$\mu_{x_2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{2i} = \frac{327}{10} = 32.7; \quad (3.9) \quad \mu_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{55}{10} = 5.5. \quad (3.10)$$

Шаг 3. Системную дисперсию x_2 $\sigma_{x_2}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{2i} - \mu_{x_2})^2}{(n-1)} = 233.34$. (3.11)

Таблица 3.4**Расчет элементов моделей**

t_i	$\sum (x_{2i} - \mu_{x_2})(t_i - \mu_t)$	$\sum_i (t_i - \mu_{t_2})^2$	$\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \mu_{x_2})^2$
1	124.65	20.25	767.29
2	190.10	32.50	1116.98
3	219.35	38.75	1253.87
4	226.40	41.00	1275.96
5	225.75	41.25	1277.65
6	228.90	41.50	1317.34
7	244.35	43.75	1423.43
8	277.60	50.00	1600.32
9	331.15	62.25	1834.41
10	404.50	82.50	2100.10

Шаг 4. Коэффициент парной корреляции x_2 и t

$$r_{x_2t} = \frac{\sum (x_{2i} - \mu_{x_2})(t_i - \mu_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \mu_{x_2})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - \mu_t)^2}} = \frac{404.50}{\sqrt{82.50 * 2100.1}} = \frac{404.50}{416.24} = 0.97195 = 0.972$$
 . (3.12)

Шаг 5. Оценку значимости коэффициента парной корреляции

$$t_r = |r_{yt}| \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r_{yt}^2)}} = |0.972| \sqrt{\frac{(10-2)}{(1-0.972^2)}} = 0.972 * \sqrt{144.875} = 11.654$$
 . (3.13)

Шаг 6. Критерий значимости r_{yt} $t_r \geq t_{v,p}$; $t_r=11.654 \geq t_{v,p}=2.36$, (3.14)

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

$v = n - n_p$ – вход в табл. t-критерия Стьюдента (табл. 1 Приложения II);

n – количество наблюдений y ;

n_p – количество расчетных параметров;

$p = 1 - p_d$ – вероятность ошибки;

p_d – доверительная вероятность.

Поскольку $t_r=11.7 \geq t_{v,p}=2.36$, то r_{yt} значим.

Шаг 7. Расчетные x_{2i}^p , подставив $t = 1, 2, \dots, n+1$ в модель $x_2 = 5.73 + 4.903 * t$.

Шаг 8. Абсолютные отклонения фактических x_{2i}^ϕ от расчетных x_{2i}^p

$$|\Delta x_{2i}| = |x_{2i}^\phi - x_{2i}^p|, \quad \text{при } i = 1, n.$$
 (3.15)

Шаг 9. Проценты отклонений фактических x_{2i}^ϕ от расчетных x_{2i}^p

$$\% \Delta_i = \frac{|x_{2i}^\phi - x_{2i}^p|}{x_{2i}^\phi} * 100\%, \quad \text{для } i = 1, n.$$
 (3.16)

Шаг 10. Среднюю ошибку аппроксимации

$$\Delta e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{2i}^\phi - x_{2i}^p|}{x_{2i}^\phi} * 100$$
 . (3.17)

Таблица 3.5

Расчет элементов моделей (3.15-3.17)

t_i	x_{2i}^ϕ	x_{2i}^p	$ x_{2i}^\phi - x_{2i}^p $	$\frac{ x_{2i}^\phi - x_{2i}^p }{x_{2i}^\phi}$	$\frac{ x_{2i}^\phi - x_{2i}^p }{x_{2i}^\phi n} * 100.$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ x_{2i}^\phi - x_{2i}^p }{x_{2i}^\phi} * 100.$	$\sigma_{осм}^2$	η
1	5	10.64	5.64	1.13	11.27	11.27	4.54	0.990
2	14	15.54	1.54	0.11	1.10	12.37	4.88	0.989
3	21	20.44	0.56	0.03	0.27	12.64	4.92	0.989
4	28	25.35	2.65	0.09	0.95	13.59	5.93	0.987
5	34	30.25	3.75	0.11	1.10	14.69	7.94	0.983
6	39	35.15	3.85	0.10	0.99	15.68	10.05	0.978
7	43	40.05	2.95	0.07	0.68	16.36	11.29	0.976
8	46	44.96	1.04	0.02	0.23	16.59	11.45	0.975
9	48	49.86	1.86	0.04	0.39	16.98	11.94	0.974
10	49	54.76	5.76	0.12	1.18	18.15	16.69	0.964

Шаг 11. Остаточную дисперсию

$$\sigma_{осм}^2 = \sum_i \frac{(x_{2i}^\phi - x_{2i}^p)^2}{(n - np - 1)} = 16.69 \quad (3.18)$$

Шаг 12. Корреляционное отношение

$$\eta_{x_{2i}} = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{осм}^2}{\sigma_{x_{2i}}^2}} = \sqrt{1 - \frac{16.69}{233.34}} = 0.964 \quad (3.19)$$

Шаг 13. Критерий Фишера

$$F_{кр}^* = \frac{\sigma_{x_2}^2}{\sigma_{осм}^2} \geq F_{[k_1, k_2, 1-p_d]}^{табл}; \quad \frac{233.34}{16.69} = 13.98, \quad (3.20)$$

где $F_{[k_1, k_2, 1-p_d]}^{табл}$ – табличный квантиль критерия Фишера при $p_d=90\%$, $k_1=n-1$; $k_2=n-p-1$. (табл.3 Приложения II).

Модель адекватна при $F_{кр}^* \geq F_{[k_1, k_2, 1-p_d]}^{табл}$.

Шаг 14. Оценки значимости коэффициентов a, b, c

$$t_a^* = \frac{|a|}{\sigma_a^*} \geq t_{v, pd}; \quad t_b^* = \frac{|b|}{\sigma_b^*} \geq t_{v, pd}; \quad t_c^* = \frac{|c|}{\sigma_c^*} \geq t_{v, pd}, \quad (3.21)$$

$$\text{где } \sigma_a^* = \sigma_{x_2}^\wedge \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{\mu_i^2}{(n-1)\sigma_i^2}}; \quad (3.22) \quad \sigma_{b(c)}^* = \frac{\sigma_{x_2}^\wedge}{\sigma_i n_p^2 \sqrt{n+n_p-1}}; \quad (3.23)$$

$$\sigma_{x_2}^\wedge = \sigma_{осм} \sqrt{\frac{\sum_i (x_{2i} - \mu_{x_2})^2}{(n-n_p)}}; \quad (3.24) \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \mu_i)^2}{(n-1)}}, \quad (3.25)$$

где $t_{v, pd}$ – табличный квантиль t-критерия Стьюдента при входах $v = n-n_p$ и вероятности не менее 90% (табл. 1 Приложения II).

Так как у всех моделей $t_a^*, t_b^*, t_c^* > 2.36$, то все a, b и c значимы (табл. 3.2).

Повторяя шаги 1-14 для (3.2-3.4), вычисляем их a, b, c по моделям (3.6-3.9) и критерии адекватности $\Delta\varepsilon, \sigma_{осм}^2, F_{кр}^*$. Результаты в табл. 3.6.

Шаг 15. По критериям адекватности в табл. 3.6 находим модель $x_2 = -4.60 + 10.07t - 0.470t^2$, имеющую $F_{кр}^* \max = 4125.2$; $\Delta\varepsilon = 0.6\%$ и $\sigma_{ocm}^2 = \min$.

Шаг 16. Точечный прогноз $x_2 = 49.33$ вычисляем, подставив в модель $x_2 = -4.60 + 10.07t - 0.470t^2$ $t=11$. Другие модели дают нереальные прогнозы.

Таблица 3.6

Показатели оценки аспектов адекватности моделей x_2

Модель	$\Delta\varepsilon$	σ_{ocm}^2	$F_{кр}^*$	η	Прог X_2	t_a	t_b	t_c
$x_2 = 5.73 + 4.90*t$;	18.2	16.7	13.98	0.964	59.67	2.20	11.65	-
$x_2 = 8.73 * 1.233^t$	29.6	122.3	1.91	0.690	87.11	0.23	0.20	-
$x_2 = 6.39 * t^{0.968}$	12.0	12.0	8.71	0.941	65.11	2.45	2.30	-
$x_2 = -4.60 + 10.07t - 0.470t^2$	0.6	0.10	4125.2	1.000	49.33	14.84	201.53	9.40

Шаг 16. Интервальный прогноз x_2 вычисляем по моделям (3.26, 3.28)

$$y_{ib/n}^u = y_{ri} \pm t_{v,p} \sigma_{pi}, \quad (3.26)$$

где $\sigma_{pi} = \sigma_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_i - \mu_t)^2}{\sum_i (t_i - \mu_t)^2}}$; $\sigma_{y^{\wedge}} = \sqrt{\frac{\sum (y_{i\phi} - y_{i\phi})^2}{(n - n_p)}} = 0.45$; (3.27) (3.28)

где $t_{v,p} = 2.26$ – квантиль критерия Стьюдента (при $v = n - n_p = 10 - 1 = 9$ и $p = 0.05$).

Результаты расчета оценок $x_{2в}$ и $x_{2н}$ при $t=1$ приведены ниже

$$\sigma_{pi} = \sigma_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_i - \mu_t)^2}{\sum_i (t_i - \mu_t)^2}} = 0.45 \sqrt{1 + \frac{1}{10} + \frac{(1 - 5.5)^2}{82.5}} = 0.45 \sqrt{1.1 + 0.246} = 0.522; \quad (3.29)$$

$$y_{ib/n}^u = y_{ri} \pm t_{\alpha} \sigma_{pi} = \{5.0 + 2.26 * 0.522 = 6.18 = 6.2\}; \quad \{5.0 - 2.26 * 0.522 = 3.82 = 3.8\}. \quad (3.30)$$

Параметры всего доверительного интервала приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Доверительный интервал x_2

Год	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=7$	$t=8$	$t=9$	$t=10$	$t=11$
$x_{2в}$	6.2	14.8	22.5	29.3	35.1	40.0	44.0	47.0	49.1	50.3	50.6
x_2	5.0	13.7	21.4	28.2	34.0	38.9	42.9	45.9	48.0	49.1	49.3
$x_{2н}$	3.8	12.5	20.3	27.1	32.9	37.8	41.8	44.8	46.8	47.9	48.1

$УР_1$ – точечный прогноз фактора $x_2 = 49.33$ и его интервальная оценка $50.6 \geq 49.33 \geq 48.1$ при доверительной вероятности 95%.

3.2. Многофакторное прогнозирование спроса Q_7 по 7-й ВЛ

В задаче 2 рассчитывается многофакторная регрессионная модель и прогноз спроса на авиаперевозки по 7-й ВЛ Q_7

$$Q_7 = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2. \quad (3.31)$$

Исходными данными в задаче 2 являются: динамика спроса на перевозки по 7-й ВЛ - Q_7 (далее обозначено y), динамика и прогнозы факторов x_1 и x_2 .

Необходимо вычислить: a_0 , a_1 , a_2 , критерии адекватности и прогноз $Q_7 = y$.

Алгоритм решения состоит из шагов, поясняемых на примере, исходные данные которого приведены в табл. 3.8. Для расчета коэффициентов регрессии использован алгоритм многофакторного метода наименьших квадратов

$$K = \sum_i^n (y_i^\phi - y_i^p)^2 + \sum_i^n \xi_i^2 = (y_i^\phi - y_i^p)^T (y_i^\phi - y_i^p), \quad (3.32)$$

где n – объем выборки;
 y_i^ϕ – фактические значения y ;
 y_i^p – расчетные значения y .

Исходные данные **Таблица 3.8**

$Q_7=y$	Св. член	x_1	x_2
110.0	1.0	11.0	28.0
120.0	1.0	14.0	34.0
140.0	1.0	15.0	39.0
160.0	1.0	15.0	43.0
170.0	1.0	16.0	46.0
180.0	1.0	16.0	48.0
194.0	1.0	15.0	49.0
203.0	1.0	Дано-> 14.0	Прогноз $x_2 = 49.33$

Коэффициенты уравнения $Q_7 = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2$ находим путем решения уравнения $A = (X^T X)^{-1} X^T Y$ алгоритмом метода наименьших квадратов:

Шаг 1. Транспонируем матрицу X : $M_1 = X^T$. (3.33)

$$M_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 11 & 14 & 15 & 15 & 16 & 16 & 15 \\ 28 & 34 & 39 & 43 & 46 & 48 & 49 \end{vmatrix}$$

Шаг 2. Умножаем M_1 на X : $M_2 = (X^T X)$. (3.34)

$$M_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 11 & 14 & 15 & 15 & 16 & 16 & 15 \\ 28 & 34 & 39 & 43 & 46 & 48 & 49 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 11 & 28 \\ 1 & 14 & 34 \\ 1 & 15 & 39 \\ 1 & 11 & 28 \\ 1 & 14 & 34 \\ 1 & 15 & 39 \\ 1 & 15 & 43 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 7.0 & 102.0 & 287.0 \\ 102.0 & 1504.0 & 4253.0 \\ 287.0 & 4253.0 & 12131.0 \end{vmatrix}$$

$1*1+1*1+1*1+1*1+1*1+1*1+1*1=7$
 $1*1+1*11+1*14+1*15+1*11+1*14+1*15+1*15=102$
 $1*28+1*34+1*39+1*28+1*34+1*39+1*43=287$

Шаг 3. Обращаем матрицу M_2 : $M_3 = (X^T X)^{-1}$. (3.35)

$M_2 =$	$M_3 = (X^T X)^{-1}$	Матрица E
$\begin{vmatrix} [7.0] & 102.0 & 287.0 \\ 102.0 & 1504.0 & 4253.0 \\ 287.0 & 4253.0 & 12131.0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{vmatrix}$	
Итерация 1	$\begin{vmatrix} 1.00 & 14.57 & 41.00 \\ 0.00 & [17.71] & 71.00 \\ 0.00 & 71.00 & 364.00 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0.14 & 0.00 & 0.00 \\ -14.57 & 1.00 & 0.00 \\ -41.00 & 0.00 & 1.00 \end{vmatrix}$
Итерация 2	$\begin{vmatrix} 1.00 & 0.00 & -17.40 \\ 0.00 & 1.00 & 4.01 \\ 0.00 & 0.00 & [79.43] \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 12.13 & -0.82 & 0.00 \\ -0.82 & 0.06 & 0.00 \\ 17.40 & -4.01 & 1.00 \end{vmatrix}$
Итерация 3	$\begin{vmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 15.94 & -1.70 & 0.22 \\ -1.70 & 0.26 & -0.05 \\ 0.22 & -0.05 & 0.01 \end{vmatrix}$

Шаг 4. Умножаем M_3 на M_1 : $M_4 = (X^T X)^{-1} X^T$. (3.36)

$$= \begin{vmatrix} 15.94 & -1.70 & 0.22 \\ -1.70 & 0.26 & -0.05 \\ 0.22 & -0.05 & 0.01 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 11 & 14 & 15 & 15 & 16 & 16 & 15 \\ 28 & 34 & 39 & 43 & 46 & 48 & 49 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3.369 & -0.419 & -1.024 & -0.148 & -1.191 & -0.753 & 1.167 \\ -0.268 & 0.205 & 0.212 & 0.010 & 0.117 & 0.016 & -0.293 \\ 0.017 & -0.059 & -0.047 & 0.004 & -0.009 & 0.016 & 0.079 \end{vmatrix}$$

Шаг 5. Умножая M_4 на Y : $M_5 = (X^T X)^{-1} X^T Y$, (3.37)

получаем многофакторную регрессионную модель

$$y = 41.511 - 7.511 * x_1 + 5.399 * x_2. \quad (3.38)$$

Шаг 6. Вычисляем y_{pj} и прогноз y_n , подставляя x_{1i} , x_{2i} в (3.38) (табл. 3.9).

Анализ регрессионной модели (2.39) Таблица 3.9

x_1	x_2	Y_{fi}	Y_{pi}	Δy	$\% \Delta y$
11.0	28.0	110.00	110.06	0.06	0.06
14.0	34.0	120.00	119.93	-0.07	0.06
15.0	39.0	140.00	139.41	-0.59	0.42
15.0	43.0	160.00	161.01	1.01	0.63
16.0	46.0	170.00	169.69	-0.31	0.18
16.0	48.0	180.00	180.49	0.49	0.27
15.0	49.0	194.00	193.40	-0.60	0.31

Шаг 7. Вычисляем критерии адекватности модели (табл. 3.10).

Критерии адекватности модели

Таблица 3.10

Критерий	Модель	Значимость	
Системная дисперсия σ_y^2	$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^\phi - \mu_y)^2}{(n-1)} = 975.62$		(3.39)
Остаточная дисперсия $\sigma_{ост}^2$	$\sigma_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^\phi - y_i^p)^2}{(n-n_p)} = 0.516$		(3.40)
F-критерий Фишера	$F_{кр}^* = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{ост}^2} \geq F_{[kl, k2, v]}^{табл.} = \frac{975.62}{0.516} = 1890 \geq 3.11$	значим	(3.41)
Коэффициент R	$R = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{ост}^2}{\sigma_y^2}} = \sqrt{1 - \frac{0.516}{975.62}} = 0.9997$		(3.42)
Коэффициент D	$D = R^2 = 0.9994$		(3.43)
t_R -критерий значимости R	$t_R = \frac{R}{\mu_R} = \frac{R \sqrt{n-n_p-1}}{1-R^2} = 3272.75$	значим	(3.44)
Средняя ошибка	$\Delta \varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ y_i^\phi - y_i^p }{y_i^\phi} * 100\% = 0.276\%$	значим	(3.45)
Оценки значимости a_i :	$t_{a_i} = \frac{ a_i }{\sigma_{ост} \sqrt{c_{ii}}} \geq t_{\alpha, k}$		(3.46)
t_{a_1}	$t_{a_1} = \frac{ a_1 }{\sigma_{ост} \sqrt{M_{3ii}}} = \frac{41.511}{0.7183 * \sqrt{15.94}} = 14.47 > 2.447$	значим	
t_{a_2}	$t_{a_2} = \frac{ a_2 }{\sigma_{ост} \sqrt{M_{3ii}}} = \frac{7.511}{0.7183 * \sqrt{0.26}} = 20.51 > 2.447$	значим	
t_{a_3}	$t_{a_3} = \frac{ a_3 }{\sigma_{ост} \sqrt{M_{3ii}}} = \frac{5.399}{0.7183 * \sqrt{0.01}} = 75.16 > 2.447$	значим	

где n – объем выборки;

n_p – количество расчетных параметров;

y_i^{ϕ} – фактические значения y ;

y_i^p – расчетные значения y ;

$F_{кр}^*$ – расчетное значение критерия Фишера;

$F_{[k1, k2, v]}^{табл}$ – табличное значение квантиля критерия Фишера;

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

$k = n - 1$ – число степеней свободы – вход в табл. t-кр Стьюдента;

α – уровень значимости ($\geq 90\%$) – вход в табл. t-кр Стьюдента;

μ_R – погрешность коэффициента R ;

a_i – i -й коэффициент многофакторного уравнения регрессии;

M_{3ii} – диагональный элемент матрицы $M_3 = (X^T X)^{-1}$.

Модель (3.38) адекватна, поскольку $F_{кр}^* = 1890 > F_{кр [k1, k2, 1-pd]}^{табл} = 3.11$ при

$$k_1 = n - 1 = 6, k_2 = n - n_p - 1 = 3 \text{ и } pd = 0.1 \text{ все } a_i \text{ значимы.}$$

1. **Остаточная дисперсия** – оценивает точность отображения.

2. **Средняя ошибка аппроксимации** оценивает точность модели.

3. $F_{кр}^* \geq F_{кр [k1, k2, 1-pd]}^{табл}$ – **критерий Фишера** оценивает однородность дисперсий.

4. **Коэффициент множественной корреляции R** оценивает гипотезу о

линейности связи y и x .

5. **Коэффициент множественной детерминации D** оценивает полноту множества факторов x , включенных в модель (3.38). Так, если $R=0.9997$, а $D=0.9994$, то x_1, x_2 отображают 99.94% дисперсии Y , а 0.06% приходится на факторы, которых нет в модели.

6. **Статистические оценки значимости коэффициентов регрессии.**

Коэффициенты a_i значимы при $t_{ai} \geq t_{v,k}$, при $v=0.05$ и $k=n-1$.

Модель (3.38) адекватна, когда $y_{pi} \approx y_{\phi i}$, знаки a_j совпадают с вектором влияния x_i на $y_{\phi i}$, а критерии адекватности подтверждают её значимость. Прогноз y находим тогда, когда модель адекватна, подставляя прогнозы $x_1=14$ и $x_2=49.3$ в

$$(3.38): \quad Q_{7\text{прог}} = 41.511 - 7.511 * x_1 + 5.399 * x_2 = 41.511 - 7.511 * 14 + 5.399 * 49.3 = \\ = 41.511 - 105.154 + 266.33 = 202.69.$$

UR_2 утверждает прогноз спроса $Q_7 = 202.69 \approx 203$ млн. ткм, на основании которого будут разрабатываться все последующие УР.

3.3. Оптимизация парка ВС

Задача 3 посвящена поиску оптимального парка ВС, максимально использующего экономический потенциал рынка перевозок.

Экономический потенциал рынка авиaperевозок оцениваем величиной прибыли Pr , получаемой на рынке авиaperевозок на оптимальном парке ВС, сформированном из доступных типов, оптимально расставленном на сети ВЛ и выполняющем рейсы по оптимальному расписанию без отказов и задержек в благоприятных метеорологических условиях, при своевременном обеспечении ресурсами, полной оснащенности аэропортов и т.д.

К исходным данным задачи 3 относятся:

1. Протяженности ВЛ ($L_{\text{вл}} / \text{км}$) (табл. 2 Приложения I).

2. Прогнозы спроса b_j млн. ткм по $j=1,6$ ВЛ и $УР_2$ $Q_7=203$ млн. ткм – прогноз объема перевозок по 7-й ВЛ даны в табл. 2 Приложения I. Исходные величины b_j ($j=1,6$) 6-ти ВЛ и $Q_7=УР_2$ – результат решения задачи 2 приведены в табл. 3.11.

Исходные данные примера

Таблица 3.11

Порядковый номер ВЛ	1	2	3	4	5	6	7
Прогноз спроса (млн. ткм)	460	260	345	222	199	256	$Q_7=203$
Протяженность ВЛ /км/ $L_{\text{вл}}$	7800	4550	3560	2700	3100	1700	3570

3. Параметры располагаемых типов ВС АК (табл. 1 Приложения I):

$A_{\text{эк/ч}}$ (млн. ткм)	– часовая экономическая производительность ВС;
$A_{\text{г}}$ (млн. ткм)	– годовая экономическая производительность ВС;
$T_{\text{под}}$ (ч)	– время наземной подготовки ВС к выполнению рейса;
G_{klm} (т)	– коммерческая загрузка при полете на тах дальность;
$H_{\text{г}}$ (ч)	– плановый годовой налет часов одного ВС;
$G_{\text{т}}$ (т)	– часовой расход топлива;
$G_{\text{км}}$ (т)	– тах коммерческая загрузка;
$V_{\text{ек}}$ (км/ч)	– экономическая скорость ВС;
$V_{\text{кг}}$ (км/ч)	– крейсерская скорость ВС;
$N_{\text{кр}}$ (шт.)	– количество кресел в салоне ВС;
$C_{\text{вс}}$ (млн. руб.)	– стоимость ВС по каталогу.

4. Доходы, расходы и прибыль от перевозок 1 т на 1 км на i -м типе ВС по j -й ВЛ на дальность $L_{\text{вл}}$ (км) (табл. 8 Приложения I).

3.3.1. Оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок

Алгоритм оценки экономического потенциала рынка авиаперевозок состоит из следующих шагов:

Шаг 1. *Записываем в столбец “Тип ВС”* табл. 3.12 названия располагаемых типов ВС (табл. 1 Приложение I), а внизу $L_{\text{вл}}$ и прогнозы спроса по каждой ВЛ.

Оценка экономического потенциала рынка Таблица 3.12

Тип ВС	Воздушные линии							a_i млн. ткм
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Ил-96м</i>								
<i>Ту-214</i>								
<i>Ту-204м</i>								
<i>Ту-334</i>								
b_j /млн. ткм/	460	260	345	222	199	256	203	
$L_{\text{вл}}$ (км)	7800	4550	3560	2700	3100	1700	3570	

Шаг 2. *Вычисляем прибыли с 1 ткм* для каждого типа ВС на каждой ВЛ. На рис. 3.1, показана схема, по которой оценивается искомая p_{7800} для ИЛ-96 на

ВЛ дальностью 7800 км, исходя из прибыли с 1 ткм для 7500 км=33 руб/ткм и 8000 км=26 руб/ткм (табл. 8 Приложения 1).

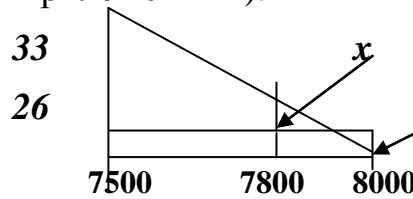


Рис. 3.1. Расчет прибыли с 1 ткм при $L_{ВЛ}=7800$ км

Прибыль с 1 ткм при $L_{ВЛ}=7800$ км для Ил-96 равна $p_{7800} = 26+x$, где x находим из отношения $\frac{x}{8000-7800} = \frac{33-26}{8000-7500}$. Из $\frac{x}{200} = \frac{7}{500}$ $x = \frac{7 \cdot 200}{500} = 2.8$.

Искомая $p_{7800} = 26+x = 26+2.8=28.8$ записана в табл. 3.13. Находим p_{7800} для Ту-214, Ту-204м, Ту-334 и записываем в 1-й столбец. Аналогично были вычислены p_{4500} , p_{3560} и т.д. и записаны в табл. 3.13.

Оценка экономического потенциала рынка

Таблица 3.13

Тип ВС	Воздушные линии							a_i млн. ткм
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	28.80	-3.60	-30.96	-60.00	-45.00	-82.20	-30.62	
Ту-214	-55.80	1.20	3.84	-22.00	-5.00	-64.60	3.98	
Ту-204м	-180.00	-17.50	5.04	15.60	13.20	-21.80	4.88	
Ту-334	-280.00	-86.50	-61.20	-23.00	-40.00	10.00	-61.40	
b_i /млн. ткм/	460	260	345	222	199	256	203	1945
$L_{ВЛ}$ (км)	7800	4550	3560	2700	3100	1700	3570	
Тип ВС	Ил-96м	Ту-214	Ту-204м	Ту-204м	Ту-204м	Ту-334	Ту-204м	

Шаг 3. В каждом столбце находим \max прибыль $p_{L_{ВЛ}}$ и пишем в строке Тип ВС табл. 3.14 наиболее выгодный тип ВС для данной ВЛ.

Оценка экономического потенциала рынка

Таблица 3.14

Тип ВС	Воздушные линии							a_i млн. ткм
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	28.80	-3.60	-30.96	-60.00	-45.00	-82.20	-30.62	460
Ту-214	-55.80	1.20	3.84	-22.00	-5.00	-64.60	3.98	260
Ту-204м	-180.00	-17.50	5.04	15.60	13.20	-21.80	4.88	969
Ту-334	-280.00	-86.50	-61.20	-23.00	-40.00	10.00	-61.40	256
b_i /млн. ткм/	460	260	345	222	199	256	203	1945
$L_{ВЛ}$ (км)	7800	4550	3560	2700	3100	1700	3570	
Тип ВС	Ил-96м	Ту-214	Ту-204м	Ту-204м	Ту-204м	Ту-334	Ту-204м	

Шаг 4. Суммируем объемы перевозок каждого типа ВС по всем ВЛ, по которым он должен летать (табл. 3.15). Суммарные объемы перевозок каждого типа ВС пишем в соответствующие клетки столбца A_i табл. 3.14. Находим сумму объемов перевозок на всех ВЛ $p_{Ту-204м}=460+260+969+256=1945$ млн. ткм.

Суммарные объемы авиаперевозок по типам ВС Таблица 3.15

Тип ВС	ВЛ	Объем перевозок
Ил-96м	ВЛ ₁	$p_{Ил-96} = 460$ млн. ткм
Ту-214	ВЛ ₂	$p_{Ту-214} = 260$ млн. ткм
Ту-204м	ВЛ ₃ , ВЛ ₄ , ВЛ ₅ и ВЛ ₇	$p_{Ту-204м} = 345+222+199+203=969$ млн. ткм
Ту-334	ВЛ ₆	$p_{Ту-334} = 256$ млн. ткм

Шаг 5. В клетки с $\max p_{L&l}$ пишем прогнозы объемов перевозок (табл. 3.16). Умножаем объемы перевозок на прибыль с 1 ткм, суммируем произведения и получаем экономический потенциал рынка (табл. 3.16):

$$28.8*460+1.2*260+5.04*345+15.6*222+13.2*199+10*256+4.88*202.7= \\ =13248+312+1738.8+3463.2+2626.8+2560+989.18 = \mathbf{24.937 \text{ млрд. руб.}}$$

Оценка экономического потенциала рынка Таблица 3.16

Тип ВС	Воздушные линии							a _i млн. ткм
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	28.80 460	-3.60	-30.96	-60.00	-45.00	-82.20	-30.62	460
Ту-214	-55.80	1.20 260	3.84	-22.00	-5.00	-64.60	3.98	260
Ту-204м	-180.00	-17.50	5.04 345	15.60 222	13.20 199	-21.80	4.88 203	969
Ту-334	-280.00	-86.50	-61.20	-23.00	-40.00	10.00 256	-61.40	256
b _j /млн. ткм/	460	260	345	222	199	256	203	1945
L _{ВЛ} (км)	7800	4550	3560	2700	3100	1700	3570	
Тип ВС	Ил-96м	Ту-214	Ту-204м	Ту-204м	Ту-204м	Ту-334	Ту-204м	

Экономический потенциал рынка авиаперевозок, вычисленный на калькуляторе, равен **24.937 млрд. руб.** ЭВМ оценила потенциал в **24.939 млрд. руб.** Расхождение в расчетах на ЭВМ и на калькуляторе - **2 млн. руб.**

3.3.2. Оптимизация расстановки и облика парка ВС

Экономический потенциал парка ВС оцениваем по критерию – максимум прибыли (P)

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (3.47)$$

полученной в результате выполнения объема авиаперевозок x_{ij} млн. ткм на ВС i -го типа по j -й ВЛ. Для решения задачи линейного программирования умножаем правую и левую части критерия 2.51 на (-1), **преобразуя максимум прибыли в**

минимум убытков

$$-P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min \quad (3.48)$$

и находим экстремум функции (3.48) при ограничениях:

$$1. \quad \sum_j x_{ij} = a_i, \quad \text{для } i=1, n; j=1, m; \quad (3.49)$$

$$2. \quad \sum_i x_{ij} = b_j; \quad (3.50)$$

$$3. \quad \sum_i a_i = \sum_j b_j; \quad (3.51)$$

$$4. \quad x_{ij} \geq 0, \quad (3.52)$$

где p_{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).

Ограничение 1 балансирует сумму объемов перевозок на i -м типе ВС по всем m ВЛ и годовую производительность i -го типа ВС.

Ограничение 2 балансирует Σ объемов перевозок по j -й ВЛ на ВС всех типах и прогноза спроса на перевозки по j -й ВЛ.

Ограничение 3 балансирует годовую производительность парка ВС и спрос на перевозки по всем ВЛ. Если оно выполнено – задача "закрытая", если нет – "открытая" и не может быть решена методом "потенциалов".

Оптимальный парк ВС формируем при условии, что: ВС выполняют только беспосадочные рейсы; превышение годового налета часов не может быть более 2 % планового годового налета; $\phi_{кз}=0.65\%$ по следующему алгоритму:

Шаг 1. Оцениваем годовую производительность каждого типа ВС A_i^G

$$A_i^G = A_i^{ЭК} H_i^G \phi_{кз}, \quad (3.53)$$

где A_i^G – годовая экономическая производительность i -го типа ВС;

H_i^G – годовой налет часов i -го типа ВС;

$\phi_{кз}$ – плановый коэффициент загрузки ВС;

$$A_{Ил-96м}^G = A_i^{ЭК} H_i^G \phi_{кз} = 34000 * 4200 * 0.65 = 92.82 \text{ млн. ткм};$$

$$A_{Гу-214}^G = A_i^{ЭК} H_i^G \phi_{кз} = 20000 * 4200 * 0.65 = 54.60 \text{ млн. ткм};$$

$$A_{Гу-204м}^G = A_i^{ЭК} H_i^G \phi_{кз} = 17200 * 2800 * 0.65 = 31.30 \text{ млн. ткм};$$

$$A_{Гу-334}^G = A_i^{ЭК} H_i^G \phi_{кз} = 10000 * 2800 * 0.65 = 18.20 \text{ млн. ткм}.$$

Шаг 2. Вычисляем потребное количество ВС i -го типа, необходимое

для выполнения заданного объема перевозок $N_{Ил-96м} = \frac{Q_i^p}{A_i^G} = \frac{460}{92.82} = 4.96;$ (3.54)

$$N_{Гу-214} = \frac{Q_i^p}{A_i^G} = \frac{260}{54.60} = 4.76; \quad N_{Гу-204м} = \frac{Q_i^p}{A_i^G} = \frac{969}{31.30} = 30.95; \quad N_{Гу-334} = \frac{Q_i^p}{A_i^G} = \frac{256}{18.20} = 14.06,$$

где Q_i^p – годовой объем перевозок типа ВС.

Результаты в табл. 3.17.

Формирование оптимального парка ВС Таблица 3.17

Тип ВС	Q_i^p , млн. ткм	$A_i^{ЭК}$, млн. ткм	A_i^G , млн. ткм	$N_{ВС}$, шт.	$\Delta N_{ВС}$, шт.	$\Delta H_{Г}$ ВС, ч	ΔH_1 , ч	$H_{Г}$, ч	N_1 , шт.	A_1 , млн. ткм	N_2 , шт.	A_2 , млн. ткм
Ил-96м	460	142.8	92.82	4.96	0.96	-168	-33.6	4200	4	371	5	464
Гу-214	260	85.0	55.25	4.71	0.71	-201.6	+1008	4250	4	221	5	276
Гу-204м	969	48.2	31.33	30.93	0.93	-140	-4.5	2800	30	940	31	971
Гу-334	256	28.0	18.20	14.07	0.07	+168	+12	2800	14	256	15	273
Итого:	1945									1788		1984

Шаг 3. Область существования оптимального парка целых ВС находится в интервале между левой и правой границей $\{N_1, N_2\}$ (табл. 3.18).

Область существования оптимального парка ВС Таблица 3.18

Тип ВС	N ₁	N ₂
ИЛ-96М	4	5
ТУ-214	4	5
ТУ-204М	30	31
ТУ-334	14	15

Число вариантов парка ВС равно числу комбинаций из левой и правой границ структуры парка ВС. В примере 16 вариантов парка (табл. 3.19), один из которых – оптимальный, способный удовлетворить спрос и дать тах прибыли. Расчеты показывают, что только один вариант дает тах прибыль и в 90% случаев он находится в столбце около точки, в которой ΔQ млн. ткм меняет знак с (+) на (-). В табл. 3.19 $\Delta Q=+10$ 13-го варианта переходит в $\Delta Q=-8$ 14-го варианта. В табл. 3.19 парк 14 дает тах прибыли **23.071 млрд. руб.** В (3.1) было найдено, что тах прибыль ВС типов на сети ВЛ - **24.937 млрд. руб.**

Все варианты парка ВС Таблица 3.19

ИЛ-96М	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5
ТУ-214	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5
ТУ-204М	30	30	31	31	30	30	31	30	31	30	31	31	30	30	31	31
ТУ-334	14	15	14	15	14	15	14	14	15	15	14	15	14	15	14	15
Q млн. ткм	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	7	8	8	8	8	8	8	8	9	8	9	9	9	9	9	9
	8	0	1	3	4	6	7	8	8	9	1	2	3	5	6	8
	7	5	8	6	2	0	3	0	1	8	1	9	5	3	7	4
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	9	8	10	11	12	13	14	15	16
ΔQ млн. ткм	158	140	127	109	103	85	72	65	54	47	34	16	10	-8	-21	-39
Прибыль	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3
	3	6	7	0	1	4	6	1	0	3	5	7	9	0	0	0
	6	4	6	1	7	7	8	0	5	9	0	6	1	7	3	4
	4	6	3	7	0	9	3	8	7	0	7	1	4	1	6	1

В КР достаточно исследовать только два выделенных варианта.

Оптимизация расстановки парка ВС формируется по табл. 3.16 и табл. 3.17. В табл. 3.16. берем p_{ij} , b_j и положение типов на строках таблицы. Умножаем p_{ij} на (-1). Рассмотрим 14-й вариант парка: Ил-96м - 5; Ту-214 – 5; Ту-204м – 30; Ту-334 – 15. Величины a_i находим для варианта парка в табл. 3.17 и 3.19. Например, $a_{ил-96} = 92.82 * 5 = 464$ млн. ткм и т.д. Результаты в табл. 3.20.

Расстановка 14-го варианта парка ВС Таблица 3.20

Тип ВС	Воздушные линии							a _i млн. ткм
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96М	-28.80	3.60	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	464
Ту-214	55.80	-1.20	-3.84	22.00	5.00	64.60	-3.98	276
Ту-204М	180.00	17.50	-5.04	-15.60	-13.20	21.80	-4.88	940
Ту-334	280.00	86.50	61.20	23.00	40.00	-10.00	61.40	273
b _j /млн. ткм/	460	260	345	222	199	256	203	1945/ 1953

Поскольку $\sum a_i = 1953$ и $\sum b_j = 1945$ – транспортная задача "открытая".

Далее необходимо решить транспортную задачу.

Алгоритм решения транспортной задачи состоит из трех этапов:

1. Преобразование "открытой" задачи в "закрытую".
2. Построение опорного плана методом min стоимости.
3. Оптимизация плана методом потенциалов.

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

Если $\sum a_i \neq \sum b_j$, транспортная задача "открытая" и ее надо преобразовать в "закрытую". При этом возможны два варианта:

а) $\sum a_i > \sum b_j$, (3.55)

при этом вводим дополнительный столбец с $b_j = (\sum a_i - \sum b_j)$ и $p_{ij} = 0$;

б) $\sum a_i < \sum b_j$, (3.56)

в данном случае вводим дополнительную строку с $a_i = (\sum b_j - \sum a_i)$ и $p_{ij} = 0$.

Потенциал парка ВС $\sum a_i = 1953$ больше спроса $\sum b_j = 1945$ (а), поэтому вводим 8-й столбец табл. 3.21 $b_{j=8} = (\sum a_i - \sum b_j) = 8$ и $p_{i8} = 0$.

Преобразование "открытой" задачи в "закрытую" Таблица 3.21

Тип ВС	Воздушные линии								a_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ИЛ-96М	-28.80	3.60	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Ту-214	55.80	-1.20	-3.84	22.00	5.00	64.60	-3.98	0.0	276
Ту-204М	180.00	17.50	-5.04	-15.60	-13.20	21.80	-4.88	0.0	940
Ту-334	280.00	86.50	61.20	23.00	40.00	-10.00	61.40	0.0	273
b_j /млн.ткм/	460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Этап 2. Построение опорного плана задачи методом min стоимости.

Шаг 1. В 1-й строке табл. 3.22 находим min $p_{12} = -28.8$ и пишем в эту клетку max $x_{12} = 460$. Вновь ищем в 1-й строке клетку с min $p_{10} = 0$ и пишем $x_{18} = 4$.

Построение опорного плана задачи Таблица 3.22

Тип ВС	Воздушные линии								a_i	P_Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8		
ИЛ-96М	-28.80 460	3.60	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0 4	464	-13248
Ту-214	55.80	-1.20	-3.84 73	22.00	5.00	64.60	-3.98 203	0.0	276	-1088.26
Ту-204М	180.0	17.50 243	-5.04 272	-15.60 222	-13.20 199	21.80	-4.88	0.0 4	940	-3208.38
Ту-334	280.0	86.50 17	61.20	23.00	40.00	-10.00 256	61.40	0.0	273	-1089.5
b_j /млн.ткм/	460	260	345	222	199	256	203	8	1953	-18634.14

Шаг 2. Во 2-й строке находим min $p_{27} = -3.98$ и пишем в эту клетку max

$x_{27}=203$. Ищем во 2-й строке следующую клетку с $\min p_{23}=-3.84$ и записываем в неё $\max x_{23}=73$.

Шаг 3. В 3-й строке находим $\min p_{34}=-15.60$ и пишем в эту клетку $\max x_{34}=222$. Ищем в 3-й строке следующую клетку с $\min p_{35}=-13.2$ и записываем в неё $\max x_{35}=199$. Ищем в 3-й строке следующую клетку с $\min p_{33}=-5.04$ и записываем в неё $\max x_{33}=345$. Ищем в 3-й строке следующую клетку с $\min p_{38}=-0$ и записываем в неё $\max x_{38}=4$. Ищем во 3-й строке следующую клетку с $\min p_{32}=17.50$ и записываем в неё $\max x_{32}=940-345-222-199-4=243$.

Шаг 4. В 4-й строке находим $\min p_{27}=-10.0$ и пишем в эту клетку $\max x_{47}=256$. Проверяем суммы x_{ij} по столбцам и записываем $x_{42}=17$. Проверяем суммы x_{ij} по столбцам $\sum_i x_{ij} = b_j$ и по строкам $\sum_j x_{ij} = a_i$. Поскольку условия выполняются для всех строк и столбцов, считаем, что опорный план построен.

Оцениваем величину целевой функции $P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij}x_{ij}$ по строкам:

$$i=1 \quad 460 * (-28.8) = -13248;$$

$$i=2 \quad 73*(-3.84)+203*(-3.98)=280.32+807.94 = -1088.26;$$

$$i=3 \quad 243*17.5+272*(-5.04)+222*(-15.6)+199*(-13.2)+4*0 = \\ =4252.5-1370.88-3463.2-2626.8+0 = -3208.38;$$

$$i=4 \quad 17*86.5+256*(-10)= 1470.5 - 2560 = -1089.5;$$

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m -p_{ij}x_{ij} = -13248 - 1088.26 - 3208.38 - 1089.5 = -18.634 \text{ млрд. руб.}$$

Таким образом, суммарная прибыль опорного плана $P_{\Sigma} = 18.634 \text{ млрд. руб.}$

Шаг 5. Оптимальность плана оцениваем системой потенциалов $S=(u,v)$, где $u = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$ – потенциалы строк ($i = 1, n$);

$v = (v_1, \dots, v_j, \dots, v_m)$ – потенциалы столбцов ($j = 1, m$).

План оптимален, если выполняются два условия:

$$а) \text{ для "занятых" клеток } (x_{ij} > 0) \quad u_i + v_j = p_{ij}; \quad (3.57)$$

$$б) \text{ для "незанятых" клеток } (x_{ij} = 0) \quad u_i + v_j \leq p_{ij}. \quad (3.58)$$

Шаг 6. Построение системы потенциалов начинаем со строки с \max числом занятых клеток, которой присваиваем потенциал $u_3=0$ (табл. 3.23).

Построение системы потенциалов Таблица 3.23

			$v_2=$ 17.50	$v_3=$ -5.04	$v_4=$ -15.60	$v_5=$ -13.20			$v_8=$ 0	
Тип ВС		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М		-28.80 460	3.60	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0 4	464
Ту-214		55.80	-1.20	-3.84 73	22.00	5.00	64.60	-3.98 203	0.0	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	17.50	-5.04	-15.60	-13.20	21.80	-4.88	0.0 4	940
Ту-334		280.00	86.50 17	61.20	23.00	40.00	-10.00 256	61.40	0.0	273
b_j /млн.ткм/		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Исходя из условия (3.57), для занятых клеток находим потенциалы столбцов $v_2=17.50$, так как $u_3+v_2=p_{32}$; $0+17.5=17.5$;

$v_3=-5.04$, так как $u_3+v_3=p_{33}$; $0-5.04=-5.04$;

$v_4=-15.6$, так как $u_3+v_4=p_{34}$; $0-15.6=-15.6$;

$v_5=-13.2$, так как $u_3+v_5=p_{35}$; $0-13.2=-13.2$;

$v_8=0$, так как $u_3+v_8=p_{38}$; $0-0=0$,

продолжаем расчет элементов системы потенциалов, используя (3.57).

Таблица 3.24

Построение системы потенциалов (Итерация 1)

Тип ВС		$v_1=$ -28.80	$v_2=$ 17.50	$v_3=$ -5.04	$v_4=$ -15.60	$v_5=$ -13.20	$v_6=$ -79.00	$v_7=$ -2.78	$v_8=$ 0	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1=0$ 460	-28.8	3.60 $\delta=13.9$	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Ту-214	$u_2=1.2$	55.80	-1.20 $\delta=19.9$	-3.84 73	22.00	5.00	64.60	-3.98 203	0.0 $\delta=1.2$	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	(+)17.50 243	-5.04 272	-15.60 222	-13.20 199	21.80	-4.88 $\delta=2.1$	(-)0.0 4	940
Ту-334	$u_4=69$	280.00	86.50 17 (-)	61.20 $\delta=2.76$	23.00 $\delta=30.4$	40.00 $\delta=30.4$	-10.00 256	61.40 $\delta=48.2$	(+)0.0 $\delta=69$	273
b_j /млн.ткм/		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Так как $u_2+v_3=p_{23}=-3.84$, а $v_3=-5.04$, то $u_2-5.04=-3.84$ и $u_2=5.04-3.84=1.2$.

Так как $u_2+v_7=p_{27}$, то $v_7=p_{27}-u_2=-3.98-1.2=-2.78$.

Так как $u_4+v_2=p_{24}$, то $u_4=p_{24}-u_2=86.5-17.5=69$.

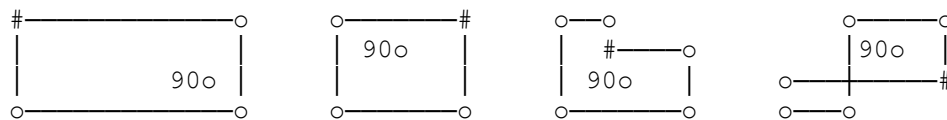
Так как $u_4+v_6=p_{26}$, то $v_6=p_{26}-u_4=-10-69=-79$.

Так как $u_1+v_8=p_{28}$, то $u_1=p_{18}-u_8=0$.

Так как $u_1+v_1=p_{11}$, то $v_1=p_{11}-u_1=-28.8-0=-28.8$.

Шаг 7. Проверяем оптимальность плана, оценивая условия (3.58) для незанятых клеток $u_i+v_j \leq p_{ij}$. Когда (3.58) не выполняется, вычисляем $\delta_{ij} = \{(u_i+v_j)-p_{ij}\}$, например, так как $(u_1+v_2)-p_{12} > 0$, $\delta_{12} = (0+17.5)-3.6=13.9$. Вычислив δ_{ij} , находим $\max \delta_{ij}$ и помечаем клетку с δ_{ij} знаком (+).

Шаг 8. Из клетки (+) строим замкнутый контур (рис. 3.2), двигаясь и поворачивая в занятых клетках ($x_{ij} > 0$) на 90° .



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

Рис. 3.2. Примеры формы контура

Маркируем вершины контура знаками { - ; + ; - ; }, выйдя из клетки (+). На вершинах со знаком (-) находим $\Delta = x_{ij \min}$. Вычитаем Δ из x_{ij} на вершинах со знаком (-) и прибавляем $\Delta=4$ к x_{ij} на вершинах со знаком (+) (табл. 3.25).

Оптимизация плана (Итерация 2)

Таблица 3.25

Тип ВС		$V_1=$ -97.8	$V_2=$ 17.50	$V_3=$ -5.04	$V_4=$ -15.6	$V_5=$ -13.2	$V_6=$ -79	$V_7=$ -5.18	$V_8=$ -69	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1=69$	-28.8 460	(+) 3.60 $\delta=86.5$	30.96 $\delta=33$	60.00	45.00 $\delta=10.8$	82.20	30.62 $\delta=33.2$	(-) 0.0	464
Ту-214	$u_2=1.2$	55.80	- 1.20 $\delta=18.5$	-3.84 73	22.00	5.00	64.60	-3.98 203	0.0	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	17.50	-5.04	-15.60	-13.20	21.80	- 4.88	0.0	940
Ту-334	$u_4=69$	280.00	(-) 86.50 13	61.20 $\delta=2.76$	23.00 $\delta=30.4$	40.00 $\delta=30.4$	-10.00	61.40 $\delta=48.2$	(+) 0.0	273
b_j /млн.ткм/		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Итерации оптимизации плана останавливаются после выполнения условий (3.57) и (3.58) во всех клетках.

Оптимизация плана (Итерация 3)

Таблица 3.26

Тип ВС		$V_1=$ -14.9	$V_2=$ 17.5	$V_3=$ -5.04	$V_4=$ -15.6	$V_5=$ -13.2	$V_6=$ -79	$V_7=$ -5.98	$V_8=$ -69	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1=-13.9$	-28.8 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Ту-214	$u_2=2$	55.80	- 1.20	(+)-3.84 73	22.00	5.00	64.60	(-)-3.98 203	0.0	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	(+) 7.50	-5.04 247	-15.60	-13.20	21.80	- 4.88 $\delta=-1$	0.0	940
Ту-334	$u_4=69$	280.00	- 86.50 9 (-)	61.20 $\delta=2.76$	23.00 $\delta=30.4$	40.00 $\delta=30.4$	-10.00	(+)61.40 $\delta=48.2$	0.0	273
b_j /млн.ткм/		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Оптимизация плана (Итерация 4) $\Delta=9$

Таблица 3.27

Тип ВС		$V_1=$ -14.9	$V_2=$ 17.50	$V_3=$ -5.04	$V_4=$ -15.6	$V_5=$ -13.2	$V_6=$ -77.38	$V_7=$ -5.98	$V_8=$ 67.38	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_2=-13.9$	-28.80 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Ту-214	$u_2=2$	55.80	- 1.20 $\delta=18.3$	(-) -3.84 82	22.00	5.00	64.60	(+)-3.98 194	0.0	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	17.50	-5.04 256	(-) -15.6 263(+)	-13.2 222	21.80	- 4.88	0.0	940
Ту-334	$u_4=67.38$	280.00	86.50	61.20 $\delta=1.14$	(+)23.0 $\delta=28.78$	40.00 $\delta=14.18$	-10.00	(-) 61.4	0.0	273
b_j /млн.ткм/		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Оптимизация плана (Итерация 5) $\Delta = 73$ Таблица 3.28

Тип ВС		$v_1 =$ -14.9	$v_2 =$ 17.50	$v_3 =$ -5.04	$v_4 =$ -15.6	$v_5 =$ -13.2	$v_6 =$ -76.24	$v_7 =$ -5.18	$v_8 =$ -66.24	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1 = -13.9$	-28.80 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Гу-214	$u_2 = 1.2$	55.80	(+)-1.2 $\delta = 17.5$	(-)-3.84 73	22.00	5.00	64.60	-3.98 203	0.0	276
Гу-204М	$u_3 = 0$	180.00	(-) 17.5	(+) -5.04	-15.6	-13.2	21.80	- 4.88	0.0	940
Гу-334	$u_4 = 38.6$	280.00	86.50	61.20	23.0 9	40.00	-10.00 256	61.4	0.0 8	273
$b_i / \text{млн.ткм/}$		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Оптимизация плана (Итерация 6) $\Delta = 183$ Таблица 3.29

Тип ВС		$v_1 =$ -14.9	$v_2 =$ 17.50	$v_3 =$ -5.04	$v_4 =$ -15.6	$v_5 =$ -13.2	$v_6 =$ -48.6	$v_7 =$ 14.72	$v_8 =$ -38.6	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1 = -13.9$	-28.80 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Гу-214	$u_2 = -18.7$	55.80	(+)-1.2 73	-3.84	22.00	5.00	64.60	(-)-3.98 203	0.0	276
Гу-204М	$u_3 = 0$	180.00	(-) 17.5 183	-5.04	-15.6	-13.2	21.80	(+) 4.88 $\delta = 9.84$	0.0	940
Гу-334	$u_4 = 38.6$	280.00	86.50	61.20	23.0 9	40.00	-10.00 256	61.4	0.0 8	273
$b_i / \text{млн.ткм/}$		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Оптимальный план расстановки 14-го варианта Таблица 3.30

Тип ВС		$v_1 =$ -14.9	$v_2 =$ 17.50	$v_3 =$ -5.04	$v_4 =$ -15.6	$v_5 =$ -13.2	$v_6 =$ -48.6	$v_7 =$ 14.72	$v_8 =$ -38.6	
		1	2	3	4	5	6	7	8	a_i
ИЛ-96М	$u_1 = -13.9$	-28.80 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	0.0	464
Гу-214	$u_2 = -18.7$	55.80	-1.2 345	-3.84	22.00	5.00	64.60	-3.98 20	0.0	276
Гу-204М	$u_3 = 0$	180.00	17.5	-5.04	-15.6	-13.2	21.80	- 4.88 183	0.0	940
Гу-334	$u_4 = 38.6$	280.00	86.50	61.20	23.0 9	40.00	-10.00 256	61.4	0.0 8	273
$b_i / \text{млн.ткм/}$		460	260	345	222	199	256	203	8	1953

Прибыль 14-го варианта парка ВС из табл. 3.30 равна **24.555 млрд. руб.**

Вычислив c_{ij} также как p_{ij} (рис.3.1) себестоимости 1 ткм и суммируя $c_{ij}x_{ij}$ по занятым клеткам табл. 3.30, находим **расходы 69.292 млрд. руб.**

Коэффициент использования экономического потенциала рынка равен

$$K_{ин} = \frac{24.555}{69.292} = 0.9846. \text{ Рентабельность парка равна } Ren_{BC} = \frac{24.555}{69.292} * 100 = 35.456\% .$$

Аналогично проводим расчеты для 13-го варианта парка ВС – находим оптимальный план расстановки и вычисляем $K_{ин}$ и Ren (табл. 3.31-3.32).

Оптимальный план расстановки 13-го варианта Таблица 3.31

Тип ВС		$V_1=$ -14.9	$V_2=$ 17.50	$V_3=$ -5.04	$V_4=$ -15.6	$V_5=$ -13.2	$V_6=$ -48.6	$V_7=$ 14.72	
		1	2	3	4	5	6	7	a_i
ИЛ-96М	$u_1=-13.9$	-28.80 460	3.60 4	30.96	60.00	45.00	82.20	30.62	464
Ту-214	$u_2=-18.7$	55.80	-1.2 247	-3.84	22.00	5.00	64.60	-3.98 29	276
Ту-204М	$u_3=0$	180.00	17.5	-5.04 345	-15.6 222	-13.2 199	21.80	-4.88 174	940
Ту-334	$u_4=38.6$	280.00 1	86.50	61.20	23.0	40.00	-10.00 255	61.4	256
Фикт.		0.0	0.0 9	0.0	0.0	0.0	0.0 1	0.0	10
b_i /млн. ткм/		460	260	345	222	199	256	203	1945

Прибыль 13-го варианта парка ВС по данным табл. 3.31 равна **24.873 млрд. руб.** Вычислив c_{ij} – себестоимости 1 ткм и суммируя $c_{ij}x_{ij}$ по занятым клеткам табл. 3.30, находим **расходы 68.824 млрд. руб.**

Коэффициент использования экономического потенциала рынка равен

$$K_{ин} = \frac{24.873}{24.939} = 0.999. \text{ Рентабельность парка равна } Ren_{BC} = \frac{24.873}{68.824} * 100 = 36.1\%.$$

Сравнивая итоги использования 13-го и 14-го вариантов парка ВС, находим, что 13-й вариант предпочтительнее.

Сравнение 13-го и 14-го вариантов парка ВС Таблица 3.32

Вариант	Прибыль	Расходы	$K_{ин}$	Ren	$\sum a_i$	$\sum b_j - \sum a_i$
	млрд. руб.	млрд. руб.	-	%	млн. ткм	млн. ткм
13	24.873	68.824	0.999	36.1%	1435	10
14	24.555	69292	0.985	35.5%	1453	-8

3.4. Оценка интенсивностей прибытия в базовый аэропорт ВС λ_{bc} и пассажиров $\lambda_{пасс}$ в пиковый период работы

Для перевозок необходим не только парк ВС, но и керосин, авиатехники, бортпроводники, экипажи, запчасти, сооружения, технические средства и другие элементы наземного комплекса (НК):

$$НК = \{ВТ+АП+УВД+АРЗ+АТЦ(Б)\}, \quad (3.59)$$

где **ВТ** – воздушные трассы:

МА – маршруты:

КО – коридоры;

ЭШ – эшелоны;

ЗО – зоны ожидания;

АП – аэропорты = {АД+КТС+АВ}:

АД – аэродромы {ВПП+РД+МС+зона ожидания}:

ВПП – взлетно-посадочные полосы;

РД – рулежные дорожки;

МС – места стоянки;

КТС – комплекс аэродромных технических средств:

ТР – трапы;

- ТГ – тягачи;
 ТЗ – топливозаправщики;
АВ – аэровокзалы:
 ЗВ – зал вылета;
 ЗП – зал прилета;
 МО – места ожидания;
 БУ – буфеты;
 ТУ – туалеты;
 БГТ – багажные тележки;
 КХ – камеры хранения багажа;
 СР – средства регистрации (стойки, киоски);
АТЦ(Б) – авиационно-технический центр (база):
 ЦОО – цеха оперативного обслуживания;
 ЦПО – цеха периодического обслуживания;
УВД – комплекс управления воздушным движением;
АРЗ – авиаремонтные заводы и т.д.

Совокупность парка ВС и НК – сложная система, представляющая собой корпоративный объект управления $КОУ = АК + НК$. (3.60)

Эффективность освоения рынка авиаперевозок зависит не только от облика парка ВС, но и от соответствия облика НК интенсивностям прибытия ВС – $\lambda_{вс}$ и пассажиров – $\lambda_{пасс}$. Система $КОУ = АК + НК$ должна способствовать реализации потенциалов рынка перевозок и парка ВС, обеспечивая выполнение расписания в течение всего года и особенно в период интенсивных перевозок.

Нехватка элементов НК создает "узкие места", замедляющие потоки ВС, пассажиров, грузов и багажа, вызывает простои, задержки и отмены рейсов, снижение безопасности полетов и эффективности системы в целом.

Для освоения потенциала рынка надо знать и обеспечивать оптимальные количества элементов НК, которые можно определить, исходя из $\lambda_{вс}$ и $\lambda_{пасс}$, моделями теории массового обслуживания или имитационного моделирования.

Задача 4 посвящена оценке $\lambda_{вс}$ и $\lambda_{пасс}$ в период наиболее интенсивных авиаперевозок, необходимых для оптимизации элементов НК базового АП.

Искомymi величинами в задаче 4 являются интенсивности прибытия в базовый аэропорт ВС $\lambda_{вс}$ и пассажиров $\lambda_{пасс}$ в пиковый период работы АП.

Исходные данные задачи 4: план авиаперевозок (табл. 3.30); структура годовой, месячной, недельной и суточной неравномерности авиаперевозок.

Алгоритм оптимизации состоит из шагов, на которых оценивают:

Шаг 1. Число парных рейсов (ПР), необходимых для выполнения объема

перевозок табл. 3.30:
$$N_{ij}^{ПР} = \frac{Q_{ji}^{ВЛ}}{A_{ij}^{ПР}} = \frac{460000}{396.253} = 1161 \text{ парных рейсов}; \quad (3.61)$$

где $V_j^{кР}$ – рейсовая скорость,
$$V_{ij}^P = \frac{L_j^{ВЛ} V_i^{кР}}{L_j^{ВЛ} + n_n \Delta t_j V_i^{кР}}, \quad (3.62)$$

Шаг 5. Число ПР в неделю-пик (табл. 3.36) находим, считая, что недельные объемы работ одинаковы $N_{ij}^H = N_{ij}^{ПРМ} * 0.25$. (3.67)

План парных рейсов в неделю-пик Таблица 3.36

Тип ВС	Воздушные линии							ПР _i
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	41	1	0	0	0	0	0	42
Ту-214	0	61	0	0	0	0	6	67
Ту-204м	0	0	117	94	77	0	62	350
Ту-334	0	0	0	7	0	294	0	301
Итого								760

Шаг 6. Число ПР в день-пик равно 20% от недельного объема. В пятницу, субботу и воскресенье согласно табл. 6 Приложения I выполняется по 20% недельного объема работ. Например, на Ил-96м по 2-й ВЛ в сутки-пик будет выполнено $28 * 0.20 = 6$ ПР. Результат в табл. 3.37.

План парных рейсов в день-пик Таблица 3.37

Тип ВС	Воздушные линии							ПР _i
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	8	0	0	0	0	0	0	8
Ту-214	0	12	0	0	0	0	1	13
Ту-204м	0	0	23	19	15	0	12	69
Ту-334	0	0	0	1	0	59	0	60
Итого								150

Шаг 7. Число ПР в час-пик вычисляется, исходя из того, что число ВС, прибывающих в АП по j-й ВЛ в час-пик по табл. 7 Приложения I равно 18% от объема работы в день-пик $N_{пасij} = 0.18 * N_{rij} * N_{кри} * \varphi_{кзi}$. Результаты в табл. 3.38.

План парных рейсов в час-пик Таблица 3.38

Тип ВС	Воздушные линии							ПР _i
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	1	0	0	0	0	0	0	1
Ту-214	0	2	0	0	0	0	0	2
Ту-204м	0	0	4	3	3	0	2	12
Ту-334	0	0	0	0	0	11	0	11
Итого								26

Шаг 8. Число прибывающих пассажиров в час-пик вычисляется, исходя из того, что число пассажиров, прибывающих в АП на i-м ВС по j-й ВЛ в час-пик согласно табл. 7 Приложения I равно 18% от объема работы в день-пик $N_{пасij} = 0.18 * N_{rij} * N_{кри} * \varphi_{кзi}$. Результаты в табл. 3.39.

План движения пассажиров в час-пик Таблица 3.39

Тип ВС	Воздушные линии							ПР _i
	1	2	3	4	5	6	7	
Ил-96м	195	0	0	0	0	0	0	195
Ту-214	0	273	0	0	0	0	0	273
Ту-204м	0	0	556	417	417	0	278	1668
Ту-334	0	0	0	0	0	715	0	715
Итого								2851

Итогом решения задачи 4 является УР₄, в котором для разработки УР₅ утверждаются и принимаются к расчетам

$$\lambda_{вс} = 26 \text{ ВС/ч} \text{ и } \lambda_{пасс} = 2851 \text{ пасс/ч.}$$

3.5. Оценка возможности использования теории массового обслуживания для оптимизации облика НК

В задаче 5 оценивается возможность использования моделей теории массового обслуживания для оптимизации $N_{\text{с}}$, для чего необходимо, чтобы промежутки t между прибытиями ВС распределялись по закону Пуассона, а времена обслуживания ВС $t_{\text{об}}$ распределялись по экспоненциальному закону.

Для оценки возможности использования теории массового обслуживания используются матрицы 5×5 с $n=25$ наблюдениями интервалов t между прибытиями ВС на обслуживание машиной "Элефант" $t_{\text{по}} \{X_1\} = \{x_{1i}\} i=1, n$ (табл. 10 Приложения I) и времен обслуживания машиной "Элефант" $t_{\text{об}} \{X_2\} = \{x_{2i}\}; i=1, n$ (табл. 11 Приложения I). В примере $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$ (рис. 3.3 и рис. 3.4).

6	2	3	1	1	4	7	7	9	4
4	1	1	1	2	16	7	5	4	11
5	1	1	3	3	8	6	18	12	9
1	3	2	2	4	6	19	12	9	4
1	1	4	5	2	15	14	12	4	15

Рис. 3.3. Времена $t_{\text{по}} \{X_1\}$ Рис. 3.4. Времена $t_{\text{об}} \{X_2\}$

На первом этапе оцениваем гипотезу H_0 о распределении $\{X_1\}$ по закону Пуассона и гипотезу H_1 о распределении $\{X_2\}$ по экспоненциальному закону.

Алгоритм оценки гипотез о законе распределения состоит из шагов, на которых вычисляют:

Шаг 1. Точечные оценки математического ожидания $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$

$$\mu_{x_2} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i} = 9.48, \quad (3.68)$$

где μ_{x_i} – точечная оценка МОЖ выборки;

x_i – i -е значение случайной величины в выборке;

n_1, n_2 – количество наблюдений случайной величины ($n = n_1 = n_2 = 25$).

Шаг 2. Точечные оценки среднего квадратичного отклонения σ_{x_i}

$$\sigma_{x_1}^* = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \mu_{x_1})^2} = 1.50; i=1, n_1; \sigma_{x_2}^* = \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \mu_{x_2})^2} = 4.67. \quad (3.69)$$

Шаг 3. Max x_{max} и min x_{min} значения $\{X_j\}$, предварительно расположенных в порядке возрастания от x_{min} до x_{max} . $x_{\text{min}1}=1$; $x_{\text{max}1}=6$; $x_{\text{min}2}=4$; $x_{\text{max}2}=19$.

Шаг 4. Число интервалов n_u в выборке $n_{u1}=n_{u2}=5 \cdot \log(n) = 7. \quad (3.70)$

Шаг 5. Ширина интервалов динамики случайных величин $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$

$$\Delta x_1 = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{n_u} = \frac{6 - 1}{7} = 0.71 \text{ и } \Delta x_2 = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{n_u} = \frac{19 - 4}{7} = 2.14. \quad (3.71)$$

Шаг 6. Границы интервалов динамики случайных величин, как функции Δx_1 и Δx_2 , начиная с x_{min} .

Шаг 7. Количества попаданий n_i случайных $\{X_1\}$ и $\{X_2\}$ в i -й ($i=1, n_u$) интервал ряда (рис. 3.3 и 3.4).

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

Шаг 8. Вычисляем параметр закона Пуассона

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n_i} \frac{i * n_i}{n} = 2.64 \quad (3.72)$$

Теоретические F_{Ti} и p_{Ti} для закона Пуассона Таблица 3.40

Интервал	1	2	3	4	5	6	7
Границы интервала	1.00-1.71	1.72-2.44	2.45-3.16	3.17-3.89	3.90-4.61	4.62-5.34	5.35-6.06
n_i	10	5	4	0	3	2	1
F_{Ti}	0.260	0.508	0.727	0.872	0.948	0.982	0.994
p_{Ti}	0.260	0.248	0.219	0.144	0.076	0.034	0.013
χ^2_{2*}	1.893	0.238	0.396	3.611	0.627	1.607	1.477

Шаг 9. Теоретические $F_{Ti(x_i)}$, для x_i правой границы каждого интервала в модель закона Пуассона (табл. 3.41).

Модели законов распределения случайных величин Таблица 3.41

Вид закона	Параметры закона	Модели $F_T(x)$ и $f_T(x)$
Закон Пуассона	$\lambda = \sum_{i=1}^n (i * n_i) / n$	$F_T(x) = \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$; $0 < x < 4$; $f_T(x) = \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda}$ $k=0,1,2..n$
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 $i=1$ k изменяется от 0 до 1 и $F_{Ti}(x_i)$, определяется как

$$F_{T1} = \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \frac{\lambda^0}{0!} e^{-2.64} + \frac{\lambda^1}{1!} e^{-2.64} = \frac{1}{1} * 0.071 + \frac{2.64}{1} * 0.071 = 0.260 \quad (3.73)$$

Для интервала $i=2$ k изменяется от 0 до 2 и

$$F_{T2} = \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \left(\frac{\lambda^0}{0!} + \frac{\lambda^1}{1!} + \frac{\lambda^2}{2!} \right) e^{-2.64} = \frac{1}{1} * 0.071 + \frac{2.64}{1} * 0.071 + \frac{2.64^2}{2} * 0.071 = 0.508.$$

Для интервала $i=3$ k изменяется от 0 до 3, при этом

$$F_{T3} = \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} = \left(\frac{\lambda^0}{0!} + \frac{\lambda^1}{1!} + \frac{\lambda^2}{2!} + \frac{\lambda^3}{3!} \right) * e^{-2.64} = \left(\frac{1}{1} + \frac{2.64}{1} + \frac{2.64^2}{2} + \frac{2.64^3}{3!} \right) * 0.071 = 0.727.$$

и т.д. Результаты вычисления F_{Ti} см. в табл. 3.40.

Шаг 10. Теоретические вероятности попадания p_{Ti} $\{X\}$ в i -й интервал

$$p_{Ti} = F_{T(x)i} - F_{T(x)(i-1)}, \quad (3.74)$$

где $F_{T(x)i}$ и $F_{T(x)(i-1)}$, вычисленные по моделям табл. 3.40.

$P_{T1} = F_{T1} = 0.260$; $P_{T2} = F_{T2} - F_{T1} = 0.508 - 0.260 = 0.248$ и т.д. (см. p_{Ti} в табл. 3.40).

Шаг 11. Статистику χ^2_{2*}

$$\chi^2_{2*} = \sum_{i=1}^{m} \frac{(n_i - n * p_{Ti})^2}{n * p_{Ti}} = \frac{(10 - 25 * 0.260)^2}{25 * 0.260} + \frac{(5 - 25 * 0.248)^2}{25 * 0.248} + \frac{(4 - 25 * 0.219)^2}{25 * 0.219} + \frac{(0 - 25 * 0.144)^2}{25 * 0.144} + \frac{(3 - 25 * 0.076)^2}{25 * 0.076} + \frac{(2 - 25 * 0.034)^2}{25 * 0.034} + \frac{(1 - 25 * 0.013)^2}{25 * 0.013} = 9.84. \quad (3.75)$$

где n_i – количество интервалов;

n_i – количество попаданий случайной величины в i -й интервал;
 p_{Ti} – теоретическая вероятность попадания $\{X_i\}$ в i -й интервал.

Шаг 12. Сравниваем χ^{2*} с $\chi_{v,p}^2$, (3.76)

где $\chi_{v,p}^2$ – табл. квантиль критерия χ^{2*} ;

v, p – входы в табл. квантилей $v=(n_i-n_{ii}-1)=7-1-1=5$ и $p=1-p_d=1-0.95=0.05$;

n_{ii} – число параметров в модели закона;

p_d – доверительная вероятность ($p_d=95\%$).

Находим $\chi_{v,p}^2=11.07$ в табл. 2 Приложения I и сравниваем

$$\chi^{2*}=9.84 < \chi_{v,p}^2=11.07.$$

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. Параметр экспоненциального закона для $\{X_2\}$

$$\lambda = \frac{1}{\mu_{x_2}} = \frac{1}{9.48} = 0.106. \quad (3.77)$$

Шаг 14. Определяем $F_{Ti(x_i)}$, подставляя x_i правой границы интервалов в модель экспоненциального закона (табл. 5.2).

Для интервала $i=1$ $F_{T1} = 1 - e^{-\lambda x_i} = 1 - e^{-0.106 \cdot 6.14} = 0.477$. и т.д. Результаты в табл. 3.42.

Теоретические F_{Ti} и p_{Ti} для экспоненциального закона Таблица 3.42

Интервал	1	2	3	4	5	6	7
Границы интервала	4.00 - 6.14	6.15 - 8.30	8.31 - 10.45	10.46 - 12.60	12.61 - 14.75	14.76 - 16.91	16.92 - 19.06
n_i	8	4	3	4	1	3	2
F_{Ti}	0.477	0.583	0.668	0.735	0.789	0.832	0.866
p_{Ti}	0.477	0.106	0.085	0.067	0.054	0.043	0.034
χ^{2*}	1.288	0.668	0.372	3.182	0.088	3.449	1.546

Шаг 15. Теоретические вероятности p_{Ti} попадания $\{X\}$ в i -й интервал, исходя из $F_{Ti(x)}$. Так, для $i=1$ $p_{T1}=0.477$; $p_{T2}=0.583-0.477=0.106$ и т.д.

Шаг 16. Статистику χ^{2*}

$$\chi^{2*} = \sum_{i=1}^{m} \frac{(n_i - n \cdot p_{Ti})^2}{n \cdot p_{Ti}} = \frac{(8 - 25 \cdot 0.477)^2}{25 \cdot 0.477} + \frac{(4 - 25 \cdot 0.106)^2}{25 \cdot 0.106} + \frac{(3 - 25 \cdot 0.085)^2}{25 \cdot 0.085} + \frac{(4 - 25 \cdot 0.067)^2}{25 \cdot 0.067} + \frac{(1 - 25 \cdot 0.054)^2}{25 \cdot 0.054} + \frac{(3 - 25 \cdot 0.043)^2}{25 \cdot 0.043} + \frac{(2 - 25 \cdot 0.034)^2}{25 \cdot 0.034} = 10.592.$$

Шаг 17. Сравниваем расчетное χ^{2*} с $\chi_{v,p}^2$, $\chi^{2*}=10.59 < \chi_{v,p}^2=11.07$ и делаем вывод, что гипотеза H_0 об экспоненциальном законе не отвергается. Поскольку гипотезы о распределении: а) $\{X_1\}$ – t между приходами ВС по закону Пуассона и б) $t_{об}$. ВС $\{X_2\}$ по экспоненциальному закону не отвергаются, принимаем УР₅ о возможности оптимизации НК моделями теории массового обслуживания.

3.6. Оптимизация облика элементов наземного комплекса

В задаче 6 оптимизируем количество машин «Элефант» моделями теории массового обслуживания.

Исходными данными в задаче 6 являются:

λ – интенсивность прихода ВС на обслуживание;

$t_{об}$ – среднее время обслуживания заявки;

c_{03} – средние потери от простоя заявки (BC) за час;

$c_{ок}$ – средние потери от простоя канала за час;

c_3 – часовые эксплуатационные расходы канала обслуживания.

В примере: $\lambda_{bc}=26$ (BC/ч), $t_{об}=0.167$ ч (~10 мин.). Во всех вариантах КР $c_{03}=10$ ден. ед.; $c_{ок}=1$ ден. ед.; $c_3 = 2$ ден. ед.

Алгоритм оптимизации СМО с ограниченным t ожидания состоит из шагов, на которых вычисляют:

Шаг 1. Интенсивность обслуживания заявки

$$\mu = \frac{1}{t_{об}} = \frac{1}{0.167} = 6, \quad (3.78)$$

где $t_{об}=0.167$ (~10 мин.) – среднее время обслуживания заявки.

Шаг 2. Коэффициент загрузки канала $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{26}{6} = 4.33,$ (3.79)

где $\lambda = 26$ – интенсивность потока заявок;

$\mu = 6$ – интенсивность обслуживания заявок.

Шаг 3. Начальное количество каналов должно выполнять условие

$$(n - \alpha) > 0 \quad n = \text{int}(\alpha + 0.5) = \lfloor 4.33 + 0.5 \rfloor = 5. \quad (3.80)$$

Шаг 4. Коэффициент загрузки СМО

$$\rho = \frac{1}{n\mu} = \frac{1}{5 \cdot 6} = 0.033. \quad (3.81)$$

Шаг 5. Вероятность того, что все каналы свободны

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}} = 0.007, \quad \text{при } \frac{\alpha}{n} < 1, \quad (3.82)$$

где k – текущее число занятых каналов СМО.

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

$$P = \frac{\alpha^n P_0}{(n-1)!(n-\alpha)} = 0.826. \quad (3.83)$$

Шаг 7. Среднее время ожидания обслуживания

$$t_{ож} = P \frac{t_{об}}{(n-\alpha)} = 0.423. \quad (3.84)$$

Шаг 8. Среднее количество ожидающих заявок

$$N_o = \frac{P\alpha}{n(1 - \frac{\alpha}{n})^2} = 114. \quad (3.85)$$

Шаг 9. Вероятность нахождения на обслуживании n заявок

$$P_n = \frac{\alpha^n P_o}{k!} = 0.0183. \quad (3.86)$$

Шаг 10. Среднее количество заявок на обслуживании

$$N_{ac} = N_o + \frac{nP_n}{1 - \frac{\alpha}{n}} + P_o \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\alpha^k}{(k-1)!} = 114. \quad (3.87)$$

Шаг 11. Среднее количество простаивающих каналов

$$N_n = P_o \sum_{k=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \alpha^k = 0.7. \quad (3.88)$$

Шаг 12. Среднее число занятых каналов $N_3 = n - N_{п} = 4. \quad (3.89)$

Шаг 13. Суммарные затраты-потери

$$C_s(N_k) = (c_{o3} \lambda t_{ож} + c_{ок} N_{п} + c_3 N_k) t = 55.09 \text{ ден. ед.}, \quad (3.90)$$

где $t=1$ – длительность расчетного периода (ч).

Число каналов n увеличивается на 1 и шаги 4-13 повторяются до тех пор, пока $C_{s(N_k)}$ уменьшается. После увеличения $C_{s(N_k)}$ расчеты останавливаются. $\min C_{s(N_k)}$ соответствует оптимальному числу каналов обслуживания. Результаты расчетов в табл. 3.43 и на рис. 3.5.

Оптимизация СМО с ограниченным временем ожидания Таблица 3.43

P_o	P_{in}	P_n	$t_{ож}$	$N_{z_{ож}}$	$M_{смо}$	N_k	N_{sk}	N_{zk}	$C_{(t)}$	$K_{п}$	
0.007	0.826	0.018	0.42	114.0	7.08	5	0.7	4	55.09	0.13	
0.011	0.375	0.064	0.04	3.6	6.83	6	1.7	4	20.17	0.28	
0.012	0.189	0.039	0.01	0.8	4.51	7	2.7	4	14.42	0.38	
0.013	0.088	0.019	0.00	0.2	4.20	8	3.7	4	13.38	0.46	opt
0.013	0.038	0.009	0.00	0.1	4.22	9	4.7	4	13.69	0.52	

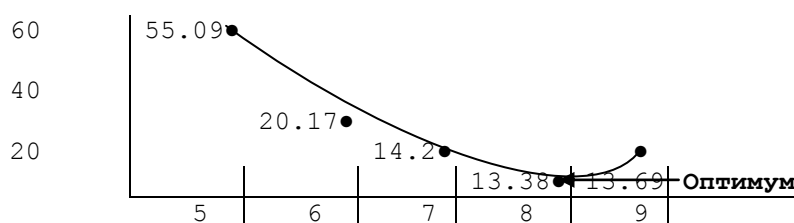


Рис. 3.5. Оптимум

Итогом решения задачи 6 является УР₆, согласно которому оптимальное число машин «Элефант» равно $N_3=8$.

Выводы и заключение

Анализ УР_{1,6} примера позволяет сделать следующие выводы:

- 1. Экономический потенциал рынка** равен 24.939 млрд. руб.
- 2. Оптимальный вариант парка ВС:** Ил-96м – 5; Ту-214 – 5; Ту-204м – 30; Ту-334 – 14 даст 24.873 млрд. руб. прибыли при расходах 68.824 млрд. руб.
- 3. Коэффициент использования экономического потенциала рынка**

$$K_{ип} = \frac{24.873}{24.939} = 0.999 .$$

- 4. Рентабельность предлагаемого парка ВС**

$$Ren = \frac{24.873}{68.824} = 36.1\% .$$

- 5. Оптимальный парк ВС способен выполнить прогнозируемый объем авиaperевозок.**

- 6. Число машин "Элефант" недостаточно для своевременной подготовки ВС к рейсам.**

- 7. Объем денежных средств способен обеспечить эффективное использование оптимального парка ВС.**

- 8. Запас ГСМ способен обеспечить выполнение всех ПР.**

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Исходные данные к выполнению вариантов КР

Таблица 1

Летно-технические характеристики ВС

Тип ВС	$A_{эк/ч}$	H_z	A_z	G_T	G_{km}	G_{kLm}	V_{ek}	N_{kp}	$T_{нод}$	V_{kr}	$C_{вс}$
	ТКМ/ч	ч	млн. ТКМ	т/ч	т	т	км/ч		ч	км/ч	млрд. руб.
ИЛ-96М	34000	4200	143	7.7	40.0	20	850	300	2	900	1.75
ТУ-214	20000	4250	5	5.0	25.2	20	850	210	2	850	1.35
ТУ-204М	17200	2800	48	4.2	21.0	13	810	214	1	828	0.75
ТУ-334	10000	2800	28	2.0	9.0	3	800	100	1	830	0.50

Таблица 2

Прогноз спроса и протяженности ВЛ

$N_{ва}$	Прогноз спроса /млн. ТКМ/						Протяженность ВЛ /км/						
	ВЛ ₁	ВЛ ₂	ВЛ ₃	ВЛ ₄	ВЛ ₅	ВЛ ₆	ВЛ ₁	ВЛ ₂	ВЛ ₃	ВЛ ₄	ВЛ ₅	ВЛ ₆	ВЛ ₇
1	182	133	119	173	232	109	7454	7502	3001	6202	4100	2000	3582
2	81	156	128	108	194	146	7503	7433	3012	6443	4150	2030	3583
3	216	295	117	180	136	292	7515	7414	3203	4355	2501	2010	4904
4	234	157	226	145	255	91	2024	7526	3304	4514	4109	2540	4986
5	35	174	95	127	293	92	2533	4654	7405	4353	3008	2130	3574
6	243	303	63	91	95	185	3044	4415	3403	1414	7506	4136	3066
7	62	195	35	109	239	158	4605	6513	2204	2205	3503	7500	2555
8	239	86	234	75	149	217	3082	4622	2406	3356	7401	1850	3564
9	134	43	199	21	47	204	3693	1531	7305	2407	3502	3040	7073
10	141	174	177	179	215	109	2154	2042	7204	2366	3503	4647	3085
11	52	106	156	436	54	158	2045	7563	4595	3200	4094	3302	7098
12	76	188	234	204	176	167	2656	4654	4406	7364	2105	4701	2787
13	49	197	113	56	195	137	2007	7545	3607	4440	3006	2020	3076
14	198	169	72	144	194	177	2048	2536	7308	2665	7500	2530	4068
15	77	253	224	177	102	84	7239	4227	2505	6500	2007	4540	6555
16	176	22	243	107	119	192	2024	6258	2406	4444	7580	3555	2574
17	35	145	104	117	108	110	6015	7339	1507	4300	4208	7520	3063
18	162	63	155	134	134	177	3026	3048	1308	2242	7500	2503	4229
19	164	64	166	138	136	118	7534	2077	3406	2300	7508	4203	3083
20	113	285	147	243	258	221	7505	2106	2227	2413	7509	4220	3062

Таблица 3

Динамика фактора x_2

N_e	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N_e	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18	35	53	71	89	107	125	143	161	179	11	93	95	97	99	102	104	106	108	110	113
2	26	37	47	58	69	80	90	101	112	122	12	120	131	143	155	169	185	201	219	239	261
3	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	13	23	51	83	117	153	190	228	267	307	348
4	105	115	127	139	153	168	185	204	224	247	14	48	56	63	71	79	87	94	102	110	117
5	29	58	88	119	150	180	211	243	274	305	15	82	83	84	86	87	88	90	91	92	94
6	33	42	52	61	71	80	90	99	109	118	16	24	28	34	40	48	57	68	81	96	114
7	101	102	103	104	105	106	108	109	110	111	17	32	73	99	128	159	192	226	252	290	341
8	132	144	157	171	186	203	221	241	263	287	18	59	68	76	85	94	103	111	120	129	137
9	13	27	41	57	72	88	104	121	137	154	19	71	73	74	75	77	78	79	81	82	83
10	32	43	55	66	77	89	100	112	123	134	20	36	43	51	60	72	85	102	121	144	171

Таблица 4

Объемы перевозок Q (млн. ткм) и факторы x_1 и x_2

Вариант - 1				Вариант - 2				Вариант - 3				Вариант - 4				Вариант - 5			
y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂
401	1	6	71	213	1	10	58	200	1	15	92	211	1	32	139	412	1	35	119
405	1	8	89	234	1	12	69	228	1	14	94	222	1	34	153	424	1	44	150
409	1	10	107	256	1	13	80	240	1	13	95	233	1	36	168	436	1	46	180
412	1	12	125	265	1	14	90	260	1	12	96	245	1	38	185	448	1	48	211
417	1	14	143	287	1	13	101	280	1	7	97	255	1	36	204	450	1	46	243
421	1	16	161	294	1	12	112	305	1	12	99	267	1	34	224	462	1	49	274
467	1	23	179	305	1	11	122	314	1	15	100	278	1	32	247	475	1	52	305
		27	?			10	?			16	?			30	?			50	?
Вариант - 6				Вариант - 7				Вариант - 8				Вариант - 9				Вариант - 10			
y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂
331	1	48	61	202	1	24	104	412	1	20	171	412	1	19	57	408	1	22	66
344	1	46	71	204	1	25	105	424	1	20	186	424	1	24	72	414	1	24	77
357	1	44	80	208	1	26	106	434	1	19	203	438	1	27	88	421	1	26	89
369	1	42	90	213	1	27	108	446	1	19	221	443	1	29	104	430	1	28	100
382	1	40	99	216	1	27	109	454	1	20	241	456	1	31	121	446	1	33	112
393	1	38	109	221	1	26	110	466	1	19	263	461	1	29	137	461	1	28	123
408	1	34	118	233	1	25	111	478	1	19	287	472	1	27	154	480	1	25	134
		32	?			24	?			20	?			23	?			23	?
Вариант - 11				Вариант - 12				Вариант - 13				Вариант - 14				Вариант - 15			
y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂
308	1	22	99	561	1	22	155	459	1	18	117	559	1	21	71	229	1	17	86
314	1	24	102	545	1	24	169	447	1	22	153	547	1	22	79	237	1	20	87
321	1	29	104	529	1	26	185	435	1	25	190	534	1	23	87	240	1	28	88
330	1	28	106	513	1	28	201	423	1	28	228	521	1	20	94	251	1	22	90
346	1	30	108	496	1	29	219	411	1	30	267	512	1	19	102	262	1	28	91
361	1	28	110	480	1	28	239	398	1	33	307	506	1	12	110	276	1	20	92
380	1	23	113	466	1	25	261	386	1	35	348	499	1	12	117	280	1	28	94
		27	?			23	?			37	?			11	?			32	?
Вариант - 16				Вариант - 17				Вариант - 18				Вариант - 19				Вариант - 20			
y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂	y	-	x ₁	x ₂
512	1	14	40	412	1	10	128	420	1	36	85	380	1	22	75	590	1	28	60
524	1	17	48	424	1	12	159	430	1	41	94	370	1	25	77	580	1	30	72
532	1	16	57	432	1	13	192	440	1	44	103	360	1	27	78	570	1	32	85
544	1	16	68	444	1	15	226	450	1	45	111	350	1	29	79	560	1	36	102
562	1	12	81	462	1	18	252	460	1	47	120	340	1	30	81	550	1	38	121
575	1	11	96	474	1	20	290	470	1	50	129	330	1	31	82	540	1	41	144
587	1	13	114	483	1	20	341	480	1	51	137	315	1	26	83	530	1	44	171
		11	?			23	?			52	?			24	?			47	?

Сезонная неравномерность перевозок Таблица 5

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

Недельная неравномерность перевозок Таблица 6

День	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
%%	11	9	9	11	20	20	20

Таблица 7

Суточная неравномерность перевозок

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

Таблица 8

Доходы, расходы и прибыль от перевозки 1 ткм

Тыс.км	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Тип ВС	Доходы от 1 ткм /руб./															
ИЛ-96м	0	1	5	7	12	27	37	44	45	49	53	54	55	59	63	66
ТУ-214	0	1	9	20	28	38	43	45	47	49	53	54	55	48	40	7
ТУ-204м	0	20	28	36	46	50	46	48	30	15	2	0	0	0	0	0
ТУ-334	10	24	35	45	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Расходы на 1 ткм /руб./															
ИЛ-96м	99	95	90	85	80	75	70	60	50	40	47	39	35	33	30	40
ТУ-214	90	85	80	75	60	45	40	35	45	55	60	63	65	67	70	80
ТУ-204м	80	70	55	50	30	35	40	50	40	100	110	115	120	135	150	200
ТУ-334	35	30	25	35	40	50	60	70	85	100	150	162	175	212	250	300
	Прибыль с 1 ткм /руб./															
ИЛ-96м	-99	-94	-85	-78	-68	-48	-33	-16	-5	9	6	15	20	26	33	26
ТУ-214	-90	-84	-71	-55	-32	-7	3	10	2	-6	-7	-9	-10	-19	-30	-73
ТУ-204м	-80	-50	-27	-14	16	15	6	-2	-10	-85	-108	-115	-120	-135	-150	-200
ТУ-334	-25	-6	10	10	-15	-35	-60	-70	-85	-100	-150	-162	-175	-212	-250	-300

Таблица 9

Число машин "Элефант" в базовом аэропорту /шт./

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

Таблица 10

Интервалы t между приходами ВС на обслуживание

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

Таблица 11

Времена обслуживания ВС

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

Запасы ресурсов АК

Таблица 12

N_6	Запас ГСМ	Оборотные средства	N_6	Запас 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

Квантили статистических критериев

Таблица 1

Квантили *t*-распределения Стьюдента

ν - p	0.300	0.200	0.100	0.050	0.020	0.01	0.001
1	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599
3	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	1.130	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
25	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
30	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
35	1.053	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.591
40	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
45	1.049	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.520
50	1.048	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.496
55	1.047	1.297	1.673	2.004	2.396	2.669	3.478
60	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
70	1.045	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	3.435
80	1.044	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.416
90	1.043	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	3.402
100	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.390
120	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Например, $t_{99,0.05}=1.984$.

Источники:

1. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина. – М.: Статистика, 1976.– С. 130-131, – Табл. 28.

2. Fisher R.a., Dyates F. Statistical Tables for biological, agricultural and Medical Research. – Edinburgh: Oliver and boyd Ltd, 1963. – P. 46, – Table II.

Таблица 2

Квантили распределения Пирсона χ^2

v-p	0.975	0.95	0.900	0.100	0.050	0.025	0.010
1	0.00098	0.0039	0.0158	2.710	3.840	5.020	6.630
2	0.0506	0.1026	0.2107	4.610	5.990	7.380	9.210
3	0.216	0.352	0.584	6.250	7.810	9.350	11.340
4	0.484	0.711	1.064	7.780	9.490	11.140	13.280
5	0.831	1.150	1.610	9.240	11.070	12.380	15.090
6	1.240	1.640	2.200	10.640	12.590	14.450	16.810
7	1.690	2.170	2.830	12.020	14.070	16.010	18.480
8	2.180	2.730	3.490	13.360	15.510	17.530	20.090
9	2.700	3.330	4.170	14.680	16.920	19.020	21.670
10	3.250	3.940	4.870	15.990	18.310	20.480	23.210
11	3.820	4.570	5.580	17.280	19.680	21.920	24.730
12	4.400	5.230	6.300	18.550	21.030	23.340	26.220
13	5.010	5.890	7.040	19.810	22.360	24.740	27.690
14	5.630	6.570	7.790	21.060	23.680	26.120	29.140
15	6.260	7.260	8.550	22.310	25.000	27.490	30.580
16	6.910	7.960	9.310	23.540	26.300	28.850	32.000
17	7.560	8.670	10.080	24.770	27.590	30.190	33.410
18	8.230	9.390	10.860	25.990	28.870	31.530	34.810
19	8.910	10.120	11.650	27.200	30.140	32.850	36.190
20	9.590	10.850	12.440	28.410	31.410	34.170	37.570
22	10.980	12.340	14.040	30.810	33.920	36.780	40.290
24	12.400	13.850	15.660	33.200	36.420	39.360	42.980
26	13.840	15.380	17.290	35.560	38.880	41.920	45.640
28	15.310	16.930	18.940	37.920	41.340	44.460	48.280
30	16.790	18.490	20.600	40.260	43.770	46.980	50.890
35	20.570	22.460	24.800	46.060	49.800	53.200	57.340
40	24.430	26.510	29.050	51.810	55.760	59.340	63.690
45	28.520	29.420	33.770	57.320	61.250	65.350	69.560
50	32.360	34.760	37.690	63.170	67.500	71.420	76.160
60	40.480	43.190	46.460	74.400	79.080	83.300	88.380
80	57.150	60.390	64.280	96.580	101.880	106.630	112.330
100	74.220	77.930	82.360	118.500	124.340	129.560	135.810
120	91.570	95.700	100.620	140.230	146.570	152.210	158.950
150	118.700	122.700	128.300	172.600	179.600	185.800	193.200
200	162.700	168.300	174.800	226.000	234.000	241.100	249.400

Например, $\chi^2_{99,0.025}=129.560$; $\chi^2_{99,0.975}=74.220$.

Источники:

1. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина. – М.: Статистика, 1976. – С. 132-133, – Табл. 28.

2. Fisher R.a., Dyates F. Statistical Tables for biological, agricultural and Medical Research. – Edinburgh: Oliver and boyd Ltd, 1963. – P. 47, – Table IV.

Таблица 3

Квантили F-распределения (при $p=0.10$)

k1-k2	1	3	5	10	15	30	60	120	∞
1	39.86	53.59	57.24	60.19	61.22	62.26	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.16	9.29	9.39	9.42	9.46	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.39	5.31	5.23	5.20	5.17	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.19	4.05	3.92	3.87	3.82	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.62	3.45	3.30	3.24	3.17	3.14	3.12	3.10
6	3.78	3.29	3.11	2.94	2.87	2.80	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.07	2.88	2.70	2.63	2.56	2.51	2.49	2.47
8	3.46	2.92	2.73	2.54	2.46	2.38	2.34	2.32	2.29
9	3.36	2.81	2.61	2.42	2.34	2.25	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.73	2.52	2.32	2.24	2.16	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.66	2.45	2.25	2.17	2.08	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.61	2.39	2.19	2.10	2.01	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.56	2.35	2.14	2.05	1.96	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.52	2.31	2.10	2.01	1.91	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.49	2.27	2.06	1.97	1.87	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.46	2.24	2.03	1.94	1.84	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.44	2.22	2.00	1.91	1.81	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.42	2.20	1.98	1.89	1.78	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.40	2.18	1.96	1.86	1.76	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.38	2.16	1.94	1.48	1.74	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.36	2.14	1.92	1.83	1.72	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.35	2.13	1.90	1.81	1.70	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.34	2.11	1.89	1.80	1.69	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.33	2.10	1.88	1.78	1.67	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.32	2.09	1.87	1.77	1.66	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.31	2.08	1.86	1.76	1.65	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.30	2.07	1.85	1.75	1.64	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.29	2.06	1.84	1.74	1.63	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.28	2.06	1.83	1.73	1.62	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.28	2.05	1.82	1.72	1.61	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.23	2.00	1.76	1.66	1.54	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.18	1.95	1.71	1.60	1.48	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.13	1.90	1.65	1.55	1.41	1.32	1.26	1.19
∞	2.71	2.08	1.85	1.60	1.49	1.34	1.24	1.17	1.00

Источник:

1. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина. – М.: Статистика, 1976. – С. 138, – Табл. 30а.

Значения функции e^{-x}

Таблица 4

\	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.000	0.990	0.980	0.970	0.961	0.951	0.942	0.932	0.923	0.914
0.1	.905	.896	.887	.978	.869	.861	.852	.844	.835	.827
0.2	.819	.811	.803	.795	.787	.779	.771	.763	.756	.748
0.3	.741	.733	.726	.719	.712	.705	.698	.691	.684	.677
0.4	.670	.664	.657	.651	.644	.638	.631	.625	.619	.613
0.5	.606	.601	.595	.589	.583	.577	.571	.565	.560	.554
0.6	.549	.543	.538	.533	.527	.522	.517	.512	.507	.502
0.7	.497	.492	.487	.482	.477	.472	.468	.463	.458	.454
0.8	.449	.445	.440	.436	.432	.427	.423	.419	.415	.411
0.9	.407	.403	.399	.395	.391	.387	.383	.379	.375	.372
1.0	.368	.364	.360	.357	.354	.350	.347	.343	.340	.337
1.1	.333	.330	.326	.323	.320	.317	.314	.310	.307	.304
1.2	.301	.298	.295	.292	.289	.287	.287	.281	.278	.275
1.3	.273	.270	.267	.265	.262	.259	.257	.254	.252	.249
1.4	.247	.244	.242	.239	.237	.235	.232	.230	.228	.225
1.5	.223	.221	.219	.217	.214	.212	.210	.208	.206	.204
1.6	.202	.200	.198	.196	.194	.192	.190	.188	.186	.185
1.7	.183	.181	.179	.177	.176	.174	.172	.170	.169	.167
1.8	.165	.164	.162	.160	.159	.157	.156	.154	.153	.151
1.9	.150	.148	.147	.145	.144	.142	.141	.140	.138	.137
2.0	.135	.134	.133	.131	.130	.129	.128	.126	.125	.124
2.1	.123	.121	.120	.119	.118	.117	.115	.114	.113	.112
2.2	.111	.110	.109	.108	.107	.105	.104	.103	.102	.102
2.3	.100	.099	.098	.097	.096	.095	.094	.093	.092	.091
2.4	.091	.090	.089	.088	.087	.086	.085	.085	.084	.083
2.5	.082	.081	.081	.080	.078	.078	.077	.077	.076	.075
2.6	.074	.074	.073	.072	.071	.071	.070	.069	.069	.068
2.7	.067	.067	.066	.065	.065	.064	.063	.063	.062	.061
2.8	.061	.060	.060	.059	.058	.058	.057	.057	.056	.056
2.9	.055	.055	.054	.053	.053	.052	.052	.051	.051	.050
3.0	.050	.049	.049	.048	.048	.047	.047	.046	.046	.046
3.1	.045	.045	.044	.044	.043	.043	.042	.042	.042	.041
3.2	.041	.040	.040	.040	.039	.039	.038	.038	.038	.037
3.3	.038	.037	.036	.036	.035	.035	.035	.034	.034	.034
3.4	.033	.033	.033	.032	.032	.032	.031	.031	.031	.031
3.5	.030	.030	.030	.029	.029	.029	.028	.028	.028	.028
3.6	.027	.027	.027	.027	.026	.026	.026	.026	.025	.025
3.7	.025	.025	.024	.024	.024	.024	.023	.023	.023	.022
3.8	.022	.022	.022	.022	.022	.021	.021	.021	.021	.021
3.9	.020	.020	.020	.020	.020	.019	.019	.019	.019	.019
\	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
4.0	.018	.017	.015	.014	.012	.011	.010	.009	.008	.008
5.0	.007	.006	.006	.005	.005	.004	.004	.003	.003	.003
6.0	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001
7.0	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.000	.000	.000

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов В.В. Алгоритмы методов разработки управленческих решений: учеб. издание. – М.: МГТУ ГА, 2001.
2. Андрианов В.В. Многофакторное экономико-математическое моделирование систем и процессов ГА: учеб. пособие. – М.: МГТУ ГА, 1996.
3. Андрианов В.В. Экономико-математические методы и модели // Компьютерная реализация: учеб. пособие. – М.: МГТУ ГА, 1998. – Ч. II.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
1.1. Цели и содержание курсовой работы.....	3
1.2. Определение номера варианта КР.....	3
1.3. Требования к оформлению пояснительной записки.....	3
2. Методические рекомендации к выполнению курсовой работы.....	4
2.1. Постановка задачи КР	4
2.2. Декомпозиция проблемы КР.....	5
3. Примеры решения задач курсовой работы.....	5
3.1. Однофакторное прогнозирование фактора внешней среды x_2	5
3.2. Многофакторное прогнозирование спроса Q_7 по 7-й ВЛ.....	9
3.3. Оптимизация парка ВС.....	12
3.3.1. Оценка экономического потенциала рынка авиаперевозок..	13
3.3.2. Оптимизация расстановки и облика парка ВС.....	15
3.4. Оценка интенсивностей прибытия в базовый аэропорт ВС λ_{bc} и пассажиров $\lambda_{пасс}$ в пиковый период работы	23
3.5. Оценка возможности использования теории массового обслуживания для оптимизации облика НК.....	27
3.6. Оптимизация облика элементов наземного комплекса	29
Приложение I. Исходные данные к выполнению вариантов КР.....	32
Приложение II. Квантили статистических критериев.....	36
Квантили t-распределения Стьюдента.....	36
Квантили распределения Пирсона χ^2	37
Квантили F-распределения (при $p=0.10$).....	38
Значения функции e^{-x}	39
Литература.....	40