

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая
эксплуатация автомобилей (по направлениям)»
и 1-37 01 07 «Автосервис» очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 005.591.6: 629.113
ББК 65.290: 39.3
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
«31» августа 2023 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. Н. А. Коваленко

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» предназначены для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» и 1-37 01 07 «Автосервис» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение	4
1 Отыскание параметров линейной функции методом наименьших квадратов	5
2 Отыскание параметров многочлена и выбор его оптимальной степени	8
3 Регрессионный анализ результатов многофакторного вычислительного эксперимента	13
4 Описание систем массового обслуживания с ограничением по длине очереди	18
5 Определение оптимальной последовательности обработки изделий	22
6 Использование сетевого планирования при организации технического обслуживания автомобилей	26
7 Принятие решений по управлению ТО и ремонтом в условиях недостатка информации	30
Список литературы	33

Введение

Практические занятия являются частью учебной дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» и имеют своей целью освоение обучающимися теоретических методов проведения научных исследований, получение практических навыков обработки результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Задачами практических занятий по учебной дисциплине являются ознакомление студентов с математическими методами и схемами, используемыми при решении задач анализа и синтеза достаточно сложных технологических и организационных систем на автомобильном транспорте и автосервисе, освоение методик проведения экспериментов как на реальных объектах, так и на моделях.

1 Отыскание параметров линейной функции методом наименьших квадратов

Цель работы

Освоить методику определения параметров линейной функции методом наименьших квадратов (МНК).

1.1 Содержание работы

Получить параметры линейной функции, описывающей результаты однофакторного эксперимента и анализ точности МНК.

1.2 Формулировка метода наименьших квадратов

При экспериментальном изучении функциональной зависимости одной величины y от другой величины x проводят ряд измерений функции при различных значениях аргумента. Результаты этого эксперимента можно представить в табличной форме или графически. Задача состоит в определении аналитической зависимости, адекватно описывающей результаты эксперимента. Причем график функции не должен проходить через все точки, чтобы исключить случайные ошибки измерений при проведении эксперимента (сглаживать «шум»). Сглаживание «шума» будет тем надежнее, чем большее количество экспериментов будет проведено.

Вид эмпирической зависимости выбирается из формул определенного и хорошо изученного типа: линейной, квадратичной, степенной, периодической. При выборе вида формулы исходят из каких-либо теоретических соображений на основе имеющегося опыта или из соображений простоты аналитического представления экспериментальных зависимостей.

Если все измерения функций y_1, y_2, \dots, y_n произведены с одинаковой точностью, то оценка параметров $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ определяется из такого условия, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных значений y_i от расчетных $f(x_i, a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)$ принимала наименьшее значение:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a_0, \dots, a_n)]^2 \Rightarrow \min. \quad (1.1)$$

Для отыскания экстремума функции необходимо взять первые частные производные от S и решить систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{da_0} = 0; \\ \frac{dS}{da_1} = 0; \\ \dots \\ \frac{dS}{da_n} = 0. \end{array} \right. \quad (1.2)$$

Используя данный метод для линейной зависимости, коэффициенты для уравнения $y = ax + b$ получают следующим образом:

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}; \quad b = \bar{y} - a\bar{x} = \bar{y} - \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \bar{x}, \quad (1.3)$$

где

$$\begin{aligned} \overline{xy} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n}; \\ \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \\ \bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}; \\ \overline{x^2} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}. \end{aligned}$$

1.3 Порядок выполнения работы

В результате анализа отчетных данных автотранспортной организации (АТО) получено двенадцать значений (по месяцам года) показателей ее работы за год (таблица 1.1). Необходимо получить линейную функцию в явном виде, описывающую изменение показателя (по своему варианту) для рассматриваемого периода работы АТО и для этого в соответствии с вариантом необходимо взять значения x_i (номер месяца года) и показателя работы y_i , и рассчитать значения a и b для линейной зависимости по рассмотренным формулам. В целях прогноза по полученной функции определить значение показателя по месяцам будущего года и построить график его изменения.

Таблица 1.1 – Исходные данные по вариантам

Месяц года x_i	Значение опытных данных для вариантов		
	1–0	21–40	41–60
	Средняя грузоподъемность парка y_i	Средняя длина ездки с грузом y_i	Среднесуточный пробег автомобиля y_i
1	$10,5 + N^*/20$	$28 + N$	$140 + N$
2	$11,4 + N/20$	$32 + N$	$155 + N$
3	$11,6 + N/20$	$34 + N$	$135 + N$
4	$11,8 + N/20$	$33 + N$	$155 + N$
5	$12,9 + N/20$	$37 + N$	$160 + N$
6	$12,7 + N/20$	$39 + N$	$170 + N$
7	$13,5 + N/20$	$40 + N$	$175 + N$
8	$14,0 + N/20$	$41 + N$	$160 + N$
9	$14,2 + N/20$	$46 + N$	$180 + N$
10	$15,1 + N/20$	$46 + N$	$165 + N$
11	$20,3 + N/20$	$45 + N$	$175 + N$
12	$19,1 + N/20$	$44 + N$	$185 + N$

Примечание – N – номер варианта

1.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать исходные данные, расчетные формулы, результаты расчетов и график, на котором указывают экспериментальные точки и полученную функцию. В выводе следует указать прогноз показателя работы АТО на предстоящие полугодие и год.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается сущность МНК?
- 2 При каких допущениях используется МНК?
- 3 Какие основные виды функций используются при аппроксимации экспериментальных данных?

2 Отыскание параметров многочлена и выбор его оптимальной степени

Цель работы

Изучить методики нахождения коэффициентов многочлена и определения его оптимальной степени.

2.1 Содержание работы

2.1.1 Для своего варианта определить значения коэффициентов уравнения, описывающего зависимость ведущей функции потока отказов от наработки для восстанавливаемой детали.

2.1.2 Определить оптимальную степень аппроксимирующего многочлена.

2.2 Методика определения параметров многочлена и его оптимальной степени

При решении практических задач автомобильного транспорта очень часто необходима аппроксимирующая функция результатов активных или пассивных экспериментов. Для этого используют формулу многочлена

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n, \quad (2.1)$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – коэффициенты многочлена.

Если использовать метод наименьших квадратов, то расчет будет очень трудоемок. Кроме того, при необходимости изменения степени многочлена расчет коэффициентов необходимо вести сначала. Поэтому многочлен записывают в другой форме:

$$y = b_0 P_0(x) + b_1 P_1(x) + \dots + b_n P_n(x), \quad (2.2)$$

где $P_0(x), P_1(x), \dots, P_n(x)$ – ортогональные многочлены Чебышева.

Для упрощения расчетов применяют равноотстоящие значения аргументов:

$$x_{i+1} - x_i = h, \quad (2.3)$$

и используют новую переменную (нормированную величину)

$$u_i = \frac{x_i - \bar{x}}{h},$$

которая принимает значение $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm (n-1)/2$ – при нечетном числе опытов n и $\pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{5}{2}, \dots, \pm (n-1)/2$ – при четном числе опытов n .

Многочлен записывают в виде

$$y = C_0 P_0(u) + C_1 P_1(u) + C_2 P_2(u) + \dots + C_n P_n(u), \quad (2.4)$$

а формулу для вычисления параметров уравнения записывают как

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_j(u_i)}{\sum_{i=1}^n P_j^2(u_i)}, \quad (2.5)$$

где $P_0(u) = 1$, $P_1(u) = u$
и далее по рекуррентной формуле

$$P_{j+1}(u) = u P_j(u) - \frac{H_j}{H_{j-1}} P_{j-1}(u). \quad (2.6)$$

Значения P_1, P_2, P_j и H_j / H_{j-1} – табличные.

При представлении величины y через ортогональные многочлены $P_j(u)$ параметры C_j могут быть вычислены с помощью значений приведенных многочленов $P_j^*(u)$ по формуле

$$C_j = \frac{1}{\gamma_j} \sum_{i=1}^n y_i P_j^*(u_i). \quad (2.7)$$

Значения $P_j^*(u_i)$ и γ_j – табличные.

При выборе оптимальной степени многочлена процедура следующая:

- 1) определяют значения коэффициентов C_0, C_1 ;
- 2) подсчитывают сумму квадратов отклонений

$$S_1 = \sum_{i=1}^n [y_i - y(u_i)]^2; \quad (2.8)$$

- 3) получают нормированную величину

$$T_{n_1} = n - n_1 - 1, \quad (2.9)$$

где n_1 – наибольшая степень многочлена (для линейной функции $n_1 = 1$, для квадратичной – 2 и т. д.);

- 4) находят отношение

$$S_1 / T_{n_1} = q_1; \quad (2.10)$$

5) повышают степень многочлена до двух и определяют отношение q_2 . Увеличивать степень многочлена прекращают, когда показатель q перестает сильно изменяться.

2.3 Методика выполнения работы

Экспериментально были получены вероятности распределения до первого, второго и третьего отказов F_k восстанавливаемых деталей – коленчатых валов двигателей автомобилей МАЗ-437073, и на их основе получена ведущая функция потока отказов y . Необходимо получить аналитическую зависимость, аппроксимирующую экспериментальные значения, которая может быть использована для определения количества ремонтов двигателей для парка автомобилей на любой промежуток времени.

Значения y берутся из таблицы 2.1. Например, для семи точек значения функции $y_{-3}, y_{-2}, y_{-1}, y_0, y_1, y_2, y_3$. В таблице 2.1 N – номер варианта.

Таблица 2.1 – Исходные данные для определения значений ведущей функции потока отказов y_i

Номер варианта	Наработка на отказ, тыс. км						
	50	100	150	200	250	300	350
1–30	0,1 + + $N/10$	1,2 + + $N/10$	1,9 + + $N/10$	2,2 + + $N/10$	3,5 + + $N/10$	3,7 + + $N/10$	4,8 + + $N/10$

Продолжение таблицы 2.1

Номер варианта	Наработка на отказ, тыс. км							
	50	100	150	200	250	300	350	400
31–60	0,2 + + $N/20$	1,1 + + $N/20$	2,5 + + $N/20$	2,8 + + $N/20$	3,9 + + $N/20$	4,3 + + $N/20$	4,9 + + $N/20$	5,1 + + $N/20$

Вначале записывают линейное уравнение в общем виде:

$$y = C_0 + C_1 u.$$

Если хотят описать зависимость многочленом второй степени, например для семи точек ($P_2 = (u^2 - 4)$), то получают

$$y = C_0 + C_1 u + C_2 (u^2 - 4).$$

Если описывать многочленом третьей степени, то для семи точек можно записать

$$y = C_0 + C_1 u + C_2 (u^2 - 4) + C_3 \left(u^3 - \frac{37}{4} u\right) \quad \text{и т. д.}$$

Параметры C_j оценивают по значениям приведенных многочленов P_j^* из таблиц 2.3 и 2.4 (в зависимости от числа экспериментальных точек). Значения приведенных многочленов в этих таблицах даны лишь для неотрицательных значений нового аргумента u_i . Для отрицательных значений u_i значения многочленов $P_j^*(u)$ определяются тем, что многочлены с четными индексами

являются четными функциями, а многочлены с нечетными индексами – нечетными функциями. Например: $P_2^*(-u) = P_2^*(u)$; $P_1^*(-u) = -P_1^*(u)$ и т. д.

Далее по формуле (2.7) определяют значения C_j . Например, т. к. $\gamma_0 = N$, а $P_0^*(u) = 1$, то для C_0 можно записать

$$C_0 = \frac{1}{\gamma_0} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (2.11)$$

Расчет параметров C_j целесообразно проводить в табличной форме (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Результаты расчета (для семи точек)

Y	u_i	P_1^*	yP_1^*	P_2^*	yP_2^*	... и т. д
y_{-3}	-3	-3		5		...
y_{-2}	-2	-2		0		...
y_{-1}	-1	-1		-3		...
y_0	0	0		-4		...
y_1	1	1		-3		...
y_2	2	2		0		...
y_3	3	3		5		...
Σy_i			ΣyP_1^*		ΣyP_2^*	

Таблица 2.3 – Значения ортогональных многочленов Чебышева для семи точек

u_i	P_1^*	P_2^*	P_3^*	P_4^*	P_5^*
0	0	-4	0	6	0
1	1	-3	-1	1	5
2	2	0	-1	-7	-4
3	3	5	1	3	1
γ	28	84	36	264	240

$$N = 7 = H_0; \quad P_0(u) = 1; \quad P_1 = u = P_1^*;$$

$$P_2 = u^2 - 4 = P_2^*; \quad P_3 = u^3 - 7u = 6 P_3^*;$$

$$P_4 = u^4 - \frac{67}{7}u^2 + \frac{72}{7} = \frac{12}{7} P_4^*; \quad P_5 = u^5 - \frac{35}{3}u^3 + \frac{524}{21}u = \frac{20}{7} P_5^*.$$

Таблица 2.4 – Значения ортогональных многочленов Чебышева для восьми точек

u_i	P^*_1	P^*_2	P^*_3	P^*_4	P^*_5
1/2	1	-5	-3	9	15
3/2	3	-3	-7	-3	17
5/2	5	1	-5	-13	-23
7/2	7	7	7	7	7
γ	84	168	396	1056	3120

$$N = 8 = H_0; \quad P_0(u) = 1; \quad P_1 = u = P^*_1; \quad P_2 = u^2 - \frac{21}{4} = P^*_2;$$

$$P_3 = u^3 - \frac{37}{4}u = \frac{3}{2} P^*_3; \quad P_4 = u^4 - \frac{179}{14}u^2 + \frac{297}{16} = \frac{12}{7} P^*_4;$$

$$P_5 = u^5 - \frac{95}{6}u^3 + \frac{15709}{336}u = \frac{10}{7} P^*_5.$$

Первоначально следует использовать многочлен первой степени и определить q_1 по формуле (2.10). Поэтапно повышают степень многочлена и расчет прекращают тогда, когда величина q_i перестанет сильно изменяться. Полученное уравнение будет считаться оптимальным с точки зрения точности описания экспериментальных данных. Далее по оптимальному уравнению необходимо определить число отказов на пробегах 100...150, 200...250 и 300...350 тыс. км по формуле

$$n_{отк} = y(l_{i+1}) - y(l_i), \quad (2.12)$$

где $y(l_{i+1})$; $y(l_i)$ – рассчитанная ведущая функция потока отказов на границах интервала пробега.

Например, для первого интервала наработок автомобилей соответственно $y(150)$ и $y(100)$.

2.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать расчетные формулы, результаты расчета и графики аппроксимирующих зависимостей: многочлена первой степени, второй и т. д. до оптимальной. В выводе следует указать среднее количество отказов, приходящихся на один автомобиль, в интервалах пробега 100...150, 200...250 и 300...350 тыс. км.

Контрольные вопросы

- 1 Какие значения принимает нормированная переменная u_i при четном и нечетном количестве экспериментальных точек?
- 2 Как определяются значения многочленов $P^*_{j(u)}$ при отрицательных зна-

чениях u_i ?

3 При каких условиях прекращают повышение степени многочлена?

3 Регрессионный анализ результатов многофакторного вычислительного эксперимента

Цель работы

Изучить методику построения плана вычислительного эксперимента и регрессионного анализа.

3.1 Содержание работы

3.1.1 Произвести кодировку факторов.

3.1.2 Построить матрицу спектра плана.

3.1.3 Определить коэффициенты линейного уравнения регрессии и оценить их значимость.

3.1.4 Оценить адекватность регрессионной модели.

3.2 Разработка планов экспериментов

Результаты многофакторного эксперимента описывают полиномом первой степени, который представляется в виде

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + \dots + b_jx_j + \dots + b_nx_n, \quad (3.1)$$

где $b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_n$ – коэффициенты уравнения регрессии;

$x_0, x_1, \dots, x_j, \dots, x_n$ – учитываемые в эксперименте факторы (x_0 – фиктивный фактор при свободном члене уравнения, всегда принимающий значение +1);

n – число учитываемых факторов.

При регрессионном анализе первоначально проводится нормирование и кодирование факторов. Их нормируемые верхние и нижние значения определяются соответственно:

$$x_{jв} = \frac{x_{j\max} - x_j^0}{h_j}; \quad x_{jn} = \frac{x_{j\min} - x_j^0}{h_j}, \quad (3.2)$$

Где $x_{j\max}, x_{j\min}$ – максимальное и минимальное значение j -го фактора;

x_j^0 – среднее значение j -го фактора;

h_j – шаг варьирования j -го фактора.

Для составления плана эксперимента (матрицы спектра плана) для нормированных факторов применяют следующие правила:

– число опытов (строк в матрице спектра плана) для полнофакторного эксперимента (ПФЭ) определяется как

$$N = V^n, \quad (3.3)$$

где V – число уровней варьирования (для линейной регрессии $V = 2$);

– число столбцов в матрице спектра плана равняется числу учитываемых в эксперименте факторов, включая фиктивный x_0 ;

– в первом столбце (x_0) ставятся все (+1);

– в первой строке матрицы спектра плана все факторы равны (-1);

– в x_1 -м столбце знаки меняются поочередно;

– в x_2 -м столбце знаки меняются через 2;

– в x_3 -м – через 4, в четвертом – через 8 и т. д.

Для дробного факторного эксперимента (ДФЭ) число опытов определяется как

$$N = V^{n-p}, \quad (3.4)$$

где p – степень дробности (принимается 1, 2, 3, 4 и т. д.).

Если $N > n$, то план эксперимента считается избыточным и есть возможность сократить число опытов до n .

Процедура построения спектра плана ДФЭ включает следующие этапы:

– определяется число строк по формуле (3.4) и число столбцов как для ПФЭ;

– выбираются ведущие факторы так, чтобы выполнялось условие $N \geq n$.

Число ведущих факторов $k = n - p$;

– для ведущих факторов строится план эксперимента аналогично ПФЭ;

– оставшаяся часть матрицы спектра плана (для не ведущих факторов p) заполняется на основе генерирующих соотношений, которые получают путем перемножения столбцов ведущих факторов ($x_1 \cdot x_2$; $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ и др.). Причем столбцы должны быть попарно различимы и должны отсутствовать полностью противоположные столбцы (в данной работе рассматривается методика регрессионного анализа результатов вычислительного эксперимента).

Любой коэффициент линейной модели b_j равен скалярному произведению столбца y_i на соответствующий столбец x_{ij} матрицы спектра плана, деленный на число опытов N . То есть

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{i0}}{N} ; b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{i1}}{N} ; b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{i2}}{N}$$

и в общем случае

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{ij}}{N} . \quad (3.5)$$

Чтобы исключить второстепенные факторы, не влияющие на функцию отклика, проводят статистическую оценку значимости коэффициентов регрессионной модели. Если половина доверительного интервала рассеивания коэффициента регрессии δ будет больше b_j , то коэффициент незначим, и наоборот.

В свою очередь,

$$\delta = S_{bj}t(\alpha, k_2), \quad (3.6)$$

где S_{bj} – среднеквадратическое отклонение оценок коэффициентов;

$t(\alpha, k_2)$ – критерий Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы k_2 .

Уровень значимости берется из ряда 0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,001 и характеризует вероятность ошибки.

$$k_2 = N - n; \quad (3.7)$$

$$S_{b_j}^2 = \frac{S_{ocm}^2}{N}, \quad (3.8)$$

где S_{ocm}^2 – остаточная дисперсия,

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ip})^2; \quad (3.9)$$

y_{ip} – рассчитанное по уравнению регрессии значение функции отклика в i -й точке плана.

После упрощения уравнения, если отброшены незначимые факторы, осуществляют его проверку на адекватность с использованием критерия Фишера. Модель адекватна, если выполняется условие

$$F_{on} \geq F_m(\alpha, k_1, k_2), \quad (3.10)$$

где F_{on} – опытное значение критерия Фишера;

$F_m(\alpha, k_1, k_2)$ – табличное значение критерия Фишера для α, k_1, k_2 .

Число степеней свободы k_1 определяется следующим образом:

$$k_1 = N - 1. \quad (3.11)$$

Опытное значение критерия Фишера

$$F_{on} = \frac{S_y^2}{S_{ocm}^2}, \quad (3.12)$$

где S_y^2 – дисперсия воспроизводимости.

Остаточная дисперсия S_{ocm}^2 определяется по выражению (3.9), а дисперсия

воспроизводимости равна

$$S_y^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2, \quad (3.13)$$

где y_i – значение функции отклика в i -й точке плана;

\bar{y} – среднее по всем опытам значение функции отклика,

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (3.14)$$

Если модель адекватна, то необходимо определить области значений факторов, обеспечивающих максимальное значение функции отклика. Для линейных моделей y будет максимальным, когда факторы, имеющие коэффициент со знаком плюс, будут принимать наибольшие значения, а факторы, имеющие коэффициенты со знаком минус, – наименьшие.

3.3 Методика выполнения работы

По своему варианту (таблица 3.1) выбрать значения действующих факторов, произвести их кодировку и записать в таблицу (по форме таблицы 3.2). На графике построить область факторного пространства (для ПФЭ – для факторов x_1, x_2, x_3 , для ДФЭ – для ведущих факторов). Указать на них точки эксперимента.

Таблица 3.1 – Значения действующих факторов

Фактор	Варианты 1–30 (ПФЭ)		Варианты 31–60 (ДФЭ)	
	x_n	x_e	x_n	x_e
x_1	$5 + N$	$10 + N$	$10 + N$	$20 + N$
x_2	$10 + N$	$20 + N$	$5 + N$	$15 + N$
x_3	$30 + N$	$40 + N$	$20 + N$	$30 + N$
x_4			$20 + N$	$40 + N$
x_5			$15 + N$	$25 + N$
<i>Примечание</i> – N – номер варианта				

Таблица 3.2 – Кодировка и нормирование факторов

Фактор	x_{in}	x_{ie}	Центральная точка x_j^0	Шаг варьирования h

Далее необходимо составить матрицу спектра плана и записать в нее значения функции отклика y (таблица 3.3). Рассчитать значения коэффициентов регрессии, оценить степень их значимости, адекватность модели и определить

области оптимальных значений действующих факторов, обеспечивающих максимум функции отклика. Табличные значения критериев Стьюдента и Фишера представлены соответственно в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.3 – Значения функции отклика

Функция отклика	Номер эксперимента i							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение y_i	$5 + N$	$10 + N$	$6 + N$	$15 + N$	$10 + N$	$20 + N$	$15 + N$	$25 + N$
<i>Примечание</i> – N – номер варианта								

Таблица 3.4 – Значения критерия Стьюдента (извлечение)

Число степеней свободы k_2	Уровень значимости α	
	0,1	0,05
3	2,35	2,78
4	2,13	2,57
5	2,02	2,45
6	1,94	2,37
7	1,90	2,31
8	1,86	2,26

Таблица 3.5 – Значения критерия Фишера (α , k_1 , k_2) для $\alpha = 0,05$ (извлечение)

k_2	k_1			
	4	5	6	12
3	9,1	9,0	8,9	8,7
4	6,4	6,3	6,2	5,9
5	5,2	5,1	5,0	4,7
6	4,5	4,4	4,3	4,0
7	4,1	4,0	3,9	3,6
8	3,8	3,7	3,6	3,3

3.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать расчетные формулы, таблицы кодирования и нормирования факторов, график области факторного пространства для трех факторов, матрицу спектра плана, результаты расчетов, регрессионное уравнение в явном виде, оптимальные значения факторов.

Контрольные вопросы

1 Назовите правила построения матрицы спектра плана полно-факторного эксперимента.

2 Какие генерирующие соотношения можно использовать для дробно-факторного эксперимента 2^{3-1} ?

3 Как определяются коэффициенты b_0 и b_3 линейной регрессионной модели?

4 Описание систем массового обслуживания с ограничением по длине очереди

Цель работы

Изучить методику описания работы организаций автомобильного транспорта и их производственных подразделений, которые можно идентифицировать как системы массового обслуживания (СМО) с ограничением по длине очереди.

4.1 Содержание работы

4.1.1 Определить вероятности: состояний системы, наличия очереди, простаивающих каналов, обслуживания заявок, отказа в обслуживании.

4.1.2 Определить относительную и абсолютную пропускную способности системы массового обслуживания.

4.1.3 Определить суммарный доход от работы организации в течение времени смены.

4.2 Математическое описание СМО с ограничением по длине очереди

Многие организации автомобильного транспорта и их производственные подразделения работают по алгоритму систем массового обслуживания с ограничением длины очереди. В частности, это городские станции технического обслуживания (СТО) легковых автомобилей, имеющие n универсальных постов и мест m ожидания.

Такая n -канальная система с m местами ожидания может иметь следующие возможные состояния: x_0 – все каналы свободны, очереди нет; x_1 – занят один канал; ... ; x_k – занято k каналов; ... x_n – заняты все каналы; x_{n+1} – заняты все каналы и одно место ожидания (одна заявка стоит в очереди); ... ; x_{n+m} – заняты все каналы и m мест ожидания (m заявок стоит в очереди. Прибывшие в это время заявки получают отказ в обслуживании).

Для определения вероятностей этих состояний используют уравнения Эрланга:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_k(t)}{dt} = \lambda P_{k-1} - (\lambda + k\mu)P_k + (k+1)\mu P_{k+1}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda P_{n-1} - (\lambda + n\mu)P_n + n\mu P_{n+1}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_{n+s}(t)}{dt} = \lambda P_{n+s-1} - (\lambda + n\mu)P_{n+s} + n\mu P_{n+s+1}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_{n+m}(t)}{dt} = \lambda P_{n+m-1} - n\mu P_{n+m}, \end{array} \right. \quad (4.1)$$

где λ – интенсивность поступления заявок;

μ – интенсивность обслуживания заявок.

Наиболее интересен случай установившегося режима работы СМО. Для определения его характеристик приравнивают все производные системы уравнений (4.1) к нулю (при $t \rightarrow \infty$) и получают систему алгебраических уравнений.

Ее решают, выражая все вероятности P_k через P_0 . Добавляют условие $\sum_{k=0}^{n+m} P_k = 1$

и, введя обозначение $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$, получают формулы для расчета вероятностей занятости каналов (4.2) и мест ожидания (4.3):

$$P_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{S=1}^m \left(\frac{\alpha}{n}\right)^S}; \quad 0 \leq k \leq n; \quad (4.2)$$

$$P_{n+S} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \left(\frac{\alpha}{n}\right)^S}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{S=1}^m \left(\frac{\alpha}{n}\right)^S}; \quad 1 \leq S \leq m. \quad (4.3)$$

Вероятность того, что заявка оставит систему не обслуженной, равняется P_{n+m} . Тогда относительная пропускная способность определяется как

$$q = 1 - P_{n+m}. \quad (4.4)$$

Абсолютная пропускная способность

$$A = \lambda \cdot q. \quad (4.5)$$

Относительное время простоя всех каналов определяется как P_0 .

4.3 Методика выполнения работы

По номеру своего варианта выбрать число универсальных постов обслуживания городской станции технического обслуживания легковых автомобилей, число мест ожидания (таблица 4.1), интенсивность обслуживания и интенсивность поступления заявок (таблица 4.2). В таблице 4.2 N – номер варианта.

Таблица 4.1 – Исходные данные для описания структуры СТО

Номер варианта	1–15	16–30	31–45	46–60
Число постов n	2	3	4	5
Число мест ожидания m	6	5	4	3

Таблица 4.2 – Исходные данные по вариантам

Показатель	Номер варианта					
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
λ	$10 + N$	$15 + N/10$	$20 + N/10$	$25 + N/10$	$30 + N/10$	$35 + N/10$
μ	$2 + N$	$2 + N/10$	$3 + N/10$	$3 + N/10$	$4 + N/10$	$4 + N/10$

По выражениям (4.2) и (4.3) рассчитать вероятности всех возможных состояний системы, а также оценить относительное время простоя системы, относительную и абсолютную пропускные способности (см. формулы (4.4) и (4.5)).

Для объективной оценки эффективности работы СТО автомобилей полученных характеристик недостаточно, и необходимо использовать стоимостные показатели. Оценивают суммарный доход от работы СТО в течение одного дня (время смены $T_{см}$ выбирают из ряда 8, 12, 16 ч).

Общее количество автомобилей, заезжающих на СТО, равно

$$N_0 = \lambda \cdot T_{см}. \quad (4.6)$$

Число обслуженных автомобилей за время смены определяется по формуле

$$N_{ТО} = A \cdot T_{см}. \quad (4.7)$$

Доход от их обслуживания, с учетом принятой оплаты за одно ТО – $D_{ТО}$ (составляет 10–12 относительных единиц), равен

$$Q_{ТО} = D_{ТО} \cdot N_{ТО}. \quad (4.8)$$

Время простоя каналов обслуживания T_{np} и затраты на их содержание определяются по формулам

$$T_{np} = T_{см} \cdot P_o \cdot n; \quad (4.9)$$

$$Q_{np} = -T_{np} \cdot Z_{np}, \quad (4.10)$$

где Z_{np} – затраты на содержание одного невостребованного поста в течение одного часа (принимаются 4–6 относительных единиц).

Часть автомобилей уйдут не обслуженными и, соответственно, будет недополучен доход:

$$Q_{отк} = -N_{отк} \cdot D_{ТО}. \quad (4.11)$$

$$N_{отк} = N_o \cdot P_{отк}. \quad (4.12)$$

Тогда суммарный доход будет равен

$$Q = Q_{ТО} + Q_{np} + Q_{отк} \Rightarrow \max. \quad (4.13)$$

После их определения необходимо дать рекомендации по изменению числа каналов и мест ожидания для увеличения дохода. Изменить значения n и m и для новых параметров СТО повторить расчет для тех же λ , μ и дать заключение об эффективности ее работы.

4.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать расчетные формулы, результаты расчетов, гистограмму вероятностей состояний и рекомендации по улучшению структуры постов и мест ожидания СТО.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяется интенсивность поступления автомобилей?
- 2 Чему равна вероятность отказа в обслуживании?
- 3 Как определяется абсолютная пропускная способность СМО?

5 Определение оптимальной последовательности обработки изделий

Цель работы

Изучить методы решения детерминированных задач упорядочения работ.

5.1 Содержание работы

5.1.1 Определить оптимальную последовательность обработки изделий на двух машинах.

5.1.2 Определить оптимальную последовательность обработки изделий на трех машинах, используя алгоритм Джонсона.

5.1.3 Распределить изделия по каналам обслуживания, используя модель мультипроцессорной системы.

5.2 Формулировка задач упорядочения работ

Существует большой класс технических и производственных систем, работающих по одинаковому алгоритму. Их работа заключается в обслуживании поступающего на них потока требований или заявок. Заявки поступают одна за другой в жестко заданные или случайные моменты времени. Обслуживание поступившей заявки продолжается какое-то заранее заданное или случайное время, после чего система освобождается и снова готова для обслуживания следующей заявки. По своей структуре системы могут быть одноканальными, многоканальными или многофазными. В самом простом случае о системе и заявках известно все: количество заявок, моменты их поступления, время их обслуживания, количество и взаиморасположение каналов. Но даже и в этом случае есть возможность улучшить показатели работы системы за счет правильного формирования очереди на обслуживание и распределения заявок по каналам. Для этого используются детерминированные задачи упорядочения.

Задача упорядочения – это задача определения оптимальной последовательности обработки изделий, массивов информации, наилучших маршрутов движения и т. д.

Первый вид задач упорядочения используется для формирования последовательности обработки изделий, если они последовательно подвергаются обработке на двух машинах. При этом известно время обработки каждого изделия на каждой машине и ставится задача минимизации общего времени обработки всех изделий на двух машинах. Для ее решения используется алгоритм Джонсона, который состоит из нескольких этапов:

- 1) заносят исходные данные в таблицу (образец – таблица 5.1);
- 2) находят наименьший элемент, имеющий наименьшее время обслуживания;
- 3) если элемент относится к первой машине, то столбец ставят на первое место; если ко второй, то – на последнее место;

4) если есть два одинаковых наименьших элемента, относящихся к двум машинам, то используют правило, изложенное в п. 3); если в одной строке два наименьших элемента, то на первое (или последнее) место ставится столбец, имеющий меньший второй элемент;

5) вычеркивают из таблицы рассмотренный столбец и процедуру повторяют, пока не будет исчерпан весь список.

Алгоритм пригоден для случая последовательной обработки на двух машинах. Исключение составляет случай, когда имеется три машины и выполняются условия:

– минимальное время обработки на первой машине больше или равно максимальному времени на второй машине;

– минимальное время обработки на третьей машине больше или равно максимальному времени обработки на второй машине.

Таблица 5.1 – Исходные данные по первой задаче

Показатель	Номер изделия j									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время обработки на 1-й машине t_{1j}	$N + 15$	$N + 20$	$N + 25$	$N + 30$	$N + 35$	$N + 40$	$N + 45$	$N + 50$	$N + 55$	$N + 60$
Время обработки на 2-й машине t_{2j}	$98 - N$	$93 - N$	$90 - N$	$87 - N$	$85 - N$	$82 - N$	$80 - N$	$78 - N$	$75 - N$	$72 - N$

Продолжение таблицы 5.1

Показатель	Номер изделия j									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Время обработки на 1-й машине t_{1j}	$N + 12$	$N + 17$	$N + 22$	$N + 27$	$N + 32$	$N + 37$	$N + 42$	$N + 47$	$N + 52$	$N + 57$
Время обработки на 2-й машине t_{2j}	$100 - N$	$96 - N$	$94 - N$	$89 - N$	$86 - N$	$84 - N$	$82 - N$	$79 - N$	$75 - N$	$70 - N$

Если эти условия выполняются, то составляется новая таблица, состоящая из двух строк. В первой строке проставляются суммы $(t_{1j} + t_{2j})$, а во второй – оставляется время обработки на третьей машине и применяется алгоритм Джонсона. Можно в первой строке оставить t_{1j} , а во вторую строку записать сумму времени обработки на второй и третьей машинах.

Второй вид задач упорядочения предназначен для рационального распределения заявок, для которых известно время обслуживания, между одинаковыми параллельно действующими техническими устройствами (или исполнителями), численность которых известна. Их решение позволит обеспечить равномерную загрузку этих устройств (каналов) и минимизировать общее время работы системы. Эта задача решается на основе модели мультипроцессорной системы.

За исходные данные принимается время обслуживания всех i -х заявок, которые необходимо распределить между L каналами обслуживания так, чтобы

время работы системы в целом было бы минимальным.

Методика распределения заявок:

– сначала определяют среднее время работы системы

$$T_{cp} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (5.1)$$

где τ_i – время обслуживания i -го изделия;

– упорядочивают массив данных τ_i по признаку возрастания и нумеруют;

– начиная от τ_1 , определяют наименьший номер $i = \rho$, удовлетворяющий условию

$$\sum_{i=1}^{\rho} \tau_i \geq T_{cp}, \quad (5.2)$$

и эти заявки закрепляют за первым каналом;

– осуществляют проверку величин (что больше?)

$$\left| \sum_{i=1}^{\rho} \tau_i - T_{cp} \right| \text{ или } \left| \sum_{i=1}^{\rho-1} \tau_i - T_{cp} \right|. \quad (5.3)$$

Выбирается число заявок ρ или $\rho - 1$, обслуживаемых на первом канале в зависимости от того, какая разность меньше;

– по тому же принципу распределяют остальные заявки по всем L каналам;

– если расхождения T_L от T_{cp} будет больше 10 %, то следует перераспределить заявки между каналами.

5.3 Методика выполнения работы

По номеру варианта (таблица 5.1) необходимо выбирать значения для последовательной обработки на двух машинах и, используя алгоритм Джонсона, составить оптимальную последовательность обработки изделий. В таблицах 5.1 и 5.2 N – номер варианта.

Используя данные по первоначальному варианту, составить таблицу обработки изделий для трех машин (используя требования для этого случая обработки). Для составленной таблицы также составить оптимальную последовательность обработки.

Из таблицы 5.2 необходимо взять значения для решения второй задачи и осуществляют распределение заявок по каналам обслуживания. Число каналов L принять равным 5 (для вариантов 1–20), 6 (для вариантов 21–40), 7 (для вариантов 41–60).

Таблица 5.2 – Исходные данные ко второй задаче

Номер заявки i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время обслуживания заявки τ_i	10 + + N	12 + + N	16 + + N	18 + + N	18 + + N	20 + + N	23 + + N	25 + + N	28 + + N	32 + + N

Продолжение таблицы 5.2

Номер заявки i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Время обслуживания заявки τ_i	34 + + N	38 + + N	42 + + N	44 + + N	45 + + N	45 + + N	46 + + N	49 + + N	52 + + N	55 + + N

Продолжение таблицы 5.2

Номер заявки i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Время обслуживания заявки τ_i	34 + + N	38 + + N	42 + + N	44 + + N	45 + + N	45 + + N	46 + + N	49 + + N	52 + + N	55 + + N

Продолжение таблицы 5.2

Номер заявки i	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Время обслуживания заявки τ_i	57 + + N	57 + + N	60 + + N	62 + + N	65 + + N	68 + + N	70 + + N	71 + + N	71 + + N	72 + + N

Продолжение таблицы 5.2

Номер заявки i	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Время обслуживания заявки τ_i	69 + + N	67 + + N	64 + + N	61 + + N	59 + + N	56 + + N	53 + + N	47 + + N	40 + + N	39 + + N

5.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать алгоритм обработки изделий на двух и трех машинах и распределение между каналами обслуживания.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные правила построения алгоритма Джонсона.
- 2 При каких допущениях можно использовать алгоритм Джонсона при обработке изделия на трех машинах?
- 3 Что такое мультипроцессорная система, и какие производственные процессы АТО можно описать с использованием ее математической схемы?

6 Использование сетевого планирования при организации технического обслуживания автомобилей

Цель работы

Изучить методику сетевого планирования при разработке организации работ по обслуживанию автомобилей на поточных линиях.

6.1 Содержание работы

6.1.1 Распределить объем работ ТО-1 с Д-1 и рабочих по постам.

6.1.2 Составить структурные таблицы по постам.

6.1.3 Для каждого поста построить сетевые графики работ с указанием последовательности работ, резервов времени и критического пути.

6.2 Методика построения сетевых графиков

При разработке планов сложных работ, характерным для которых является их взаимообусловленность, желательно знать, какие препятствия могут возникнуть на пути достижения намеченной цели, как рационально распределить имеющиеся ресурсы между исполнителями, когда начинать и заканчивать определенные работы. Это можно сделать с использованием сетевых графиков работ.

Исходными данными для графиков являются перечни работ, сроки их выполнения и существующая между ними связь, которые можно представить в виде структурной таблицы, где указывают номер работы, длительность и характеристики предшествования (т. е. после какой работы возможно начать конкретную работу).

Сетевой график (или граф) строится с соблюдением ряда правил: сплошной линией изображают работу; ее начало и конец – это события начала и конца работы; пунктирными линиями обозначают фиктивные работы, означающие только логическую связь между ними.

Событие, которому не предшествует никакая работа, называется начальным, а событие, за которым не следует ни одна работа, – конечным.

Путь, имеющий наибольшую длину, называют критическим. Он дает время от начального события до конечного. Малейшее запаздывание любой работы критического пути приводит к увеличению общего времени работы.

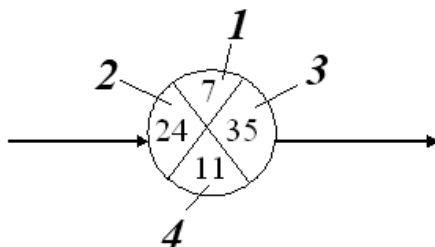
Наиболее ранний срок наступления i -го события Tr_i определяется максимумом длин путей, связывающих это событие с начальным.

Наиболее поздний срок наступления i -го события Tn_i определяется разностью между полной длиной критического пути и максимумом длин путей, связывающих это событие с конечным.

Резерв времени наступления i -го события определяется как

$$R_i = Tn_i - Tr_i. \quad (6.1)$$

Для работ, лежащих на критическом пути, резерв времени всегда равен «0». Знание резервов времени позволяет перебрасывать с этих работ ресурсы на критические операции. Тогда сетевой график может быть представлен как ориентированный граф, в вершинах которого даны характеристики работ (рисунок 6.1).



1 – номер работы; 2 – наиболее ранний срок выполнения работы; 3 – наиболее поздний срок выполнения работы; 4 – резерв времени

Рисунок 6.1 – Представление вершин графа

6.3 Методика выполнения работы

Необходимо оптимизировать по критическому пути технологический процесс ТО-1 с Д-1 для грузового автомобиля. Предполагается, что обслуживание осуществляется на трехпостовой линии. При этом основным условием ее работы является равенство времени нахождения автомобиля на каждом из постов. Перечень работ ТО-1 с Д-1 представлен в таблице 6.1. Общее время на выполнение работ по вариантам представлено в таблице 6.2. На основании исходных данных необходимо разбить работы на три поста и составить структурную таблицу для построения сетевых графиков.

При разбиении работ по постам целесообразно привязываться к основным диагностическим стандам. Время операций принять из таблицы 6.1.

При разработке структурной таблицы и сетевых графиков необходимо учитывать требования техники безопасности, запрещающие одновременное выполнение работ (находиться в осмотровой канаве при прокрутке стендами колес автомобиля, выполнять работы ТО при работающем двигателе и т. п.). На третьем посту целесообразно выполнять смазочные работы и небольшой комплекс осмотровых и диагностических работ. Число рабочих, одновременно работающих на посту, должно быть 2–3 человека.

После построения трех сетевых графиков (для каждого из постов) определить критические пути, резервы времени по операциям. Сумма длин критических путей даст время проведения обслуживания в целом. Его необходимо сопоставить с нормативным временем:

$$t_n = \frac{t_{\text{общ}}}{P}, \quad (6.2)$$

где P – общее число рабочих на линии (определяется по сетевым графикам).

Таблица 6.1 – Перечень работ ТО-1 с Д-1

Наименование работ	Примерный объем, % от $t_{обц}$
1 Установка автомобиля на пост (№ 1–3)	0,5
2 Осмотр автомобиля снаружи	0,5
3 Проверка действия омывателя и стеклоочистителя, систем отопления и вентиляции	0,5
4 Осмотр автомобиля изнутри	1
5 Проверка крепления крыльев, подножек, брызговиков и других элементов кабины	2
6 Проверка аккумуляторной батареи	2
7 Проверка передней оси	3...5
8 Установка на стенд ходовых качеств	0,5
9 Проверка передней подвески	5...7
10 Проверка крепления и состояния генератора и стартера	2
11 Проверка системы зажигания	2
12 Проверка приборов освещения	2
13 Регулировка света фар	1
14 Проверить состояние, крепление и правильность опломбирования спидометрового оборудования	1
15 Контроль давления в шинах	2
16 Контроль содержания СО, СН в отработавших газах	1
17 Проверка люфта рулевого управления	1
18 Проверка и регулировка боковых сил на передних колесах	2
19 Контроль параллельности осей	1
20 Проверка герметичности систем двигателя	0,5
21 Проверка состояния и натяжения приводных ремней	0,5
22 Крепление газовыпускной системы	4...6
23 Крепление двигателя и его агрегатов	7...9
24 Проверка задней подвески	5...7
25 Крепление рулевого механизма	4
26 Проверка свободного хода педали сцепления	1
27 Проверка герметичности привода сцепления и крепление его элементов	2
28 Проверка крепления коробки передач и ее внешних деталей	3
29 Проверка состояния и крепления карданной передачи	2
30 Проверка герметичности главной передачи, крепление редуктора и его внешних элементов	3...5
31 Установка автомобиля передними колесами на тормозной стенд	0,5
32 Проверка тормозного привода	6

Окончание таблицы 6.1

Наименование работ	Примерный объем, % от $t_{общ}$
33 Проверка тормозов передних колес	1
34 Установка задней оси на тормозной стенд	0,5
35 Проверка тормозов задних колес и стояночного тормоза	2
36 Установка автомобиля на пост смазки	0,5
37 Смазочные работы	6...8
38 Смазочные работы по трансмиссии	6...7
39 Смазочные работы по ходовой части	6...7
40 Удаление автомобиля с поста № 3 линии	0,5

Таблица 6.2 – Значения общей трудоемкости работ

В человеко-часах

Вариант	1–15	16–30	31–45	46–60
$t_{общ}$	$2,0 + N$	$3 + N$	$4 + N$	$5 + N$

Если сумма критических путей для всех трех постов будет гораздо больше t_n , то необходимо перераспределить работы или рабочих между постами, изменить их численность и расчет повторить.

6.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать структурную таблицу и сетевые графики работ с указанием критических путей по всем постам и рекомендации по улучшению работы совмещенной линии ТО-1 с Д-1.

Вопросы для контроля

- 1 Дайте определение критического пути комплекса работ.
- 2 Как определяется наиболее поздний срок выполнения работы?
- 3 Как определяется резерв времени по каждой работе?

7 Принятие решений по управлению ТО и ремонтом в условиях недостатка информации

Цель работы

Изучить методы определения оптимального числа постов ТО и ремонта на основе теории игр и статистических решений.

7.1 Содержание работы

7.1.1 Определить оптимальное число постов в соответствии с исходными данными своего варианта на основе теории игр и статистических решений.

7.1.2 Определить оптимальное количество постов на основе вероятностей возникновения требований на ремонт.

7.2 Принятие решений в условиях недостатка информации

В условиях, где функционируют бригада, цех или участок по ТО и ремонту автомобилей, нет полной информации о внешних факторах. Поэтому сложно осуществлять их оптимальное управление. Для решения задач управления используют теорию игр и статистических решений. В игре участвуют стороны, и рассматривается их поведение (стратегии). При заданных условиях a_i и действии внешних факторов Z_k , вероятность появления которых известна, необходимо найти решения X_m , которые будут близки к оптимальным.

Рассмотрим задачу определения оптимального количества постов по замене двигателей в зоне текущего ремонта (ТР) при условии, что время замены одного двигателя составляет один день. В результате пассивного эксперимента в АТО установлено, что ежедневно при ремонте требуется не более трех постов, причем вероятность того, что не понадобится ни один пост – 0,3, потребуются один пост – 0,2, потребуются два поста – 0,4, потребуются три поста – 0,1.

Эти вероятности реализации стратегии (так называемой «природы») стороны P , что фактически потребуются для ремонта ноль постов – P_1 , один пост – P_2 , два поста – P_3 , три поста – P_4 . Можно использовать стратегии наличия постов: A_1 – нет постов вообще, A_2 – иметь один пост, A_3 – иметь два поста, A_4 – иметь три поста. Так как требуется не более трех постов, то другие стратегии рассматривать нецелесообразно (таблица 7.1).

Сочетание P_j и A_i может быть любым, но каждому сочетанию может соответствовать выигрыш a_{ij} . Он складывается из следующих условий:

- содержание невостребованного поста (например, $v_1 = -2$);
- выполнение требования на ремонт (например, $v_2 = +3$);
- отсутствие свободного поста, приводящее к простоя одного автомобиля (например, $v_3 = -4$).

Выигрыш при сочетании различных стратегий приведен в таблице 7.2.

Рассчитывается средний выигрыш по АТО за длительный период времени. Поэтому значение a_{ij} необходимо умножить на вероятности q_j . Результаты

сводятся в таблицу 7.3.

Таблица 7.1 – Стратегии сторон

Стратегии сторон Π_j	Потребность в постах n_j	Вероятность потребности в постах q_j	Стратегии сторон A_i	Наличие постов n_i
Π_1	0	0,3	A_1	0
Π_2	1	0,2	A_2	1
Π_3	2	0,4	A_3	2
Π_4	3	0,1	A_4	3

Таблица 7.2 – Платежная матрица

Имеющееся количество постов A_i	Необходимое число постов Π_j				Минимальный выигрыш	Максимальный выигрыш
	0	1	2	3		
0	0	-4	-8	-12	-12	0
1	-2	3	-1	-5	-5	3
2	-4	1	6	2	-4	6
3	-6	-1	4	9	-6	9

Таблица 7.3 – Матрица выигрышей

Стратегии A_i	Стратегии природы Π_j				Средний выигрыш $D_{i\Sigma}$
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	
A_1	0	-0,8	-3,2	-1,2	-5,2
A_2	-0,6	0,6	-0,4	-0,5	-0,9
A_3	-1,2	0,2	2,4	0,2	1,6
A_4	-1,8	-0,2	1,6	0,9	0,5

При известных вероятностях стратегий Π_j выбирается такая стратегия A_i , для которой математическое ожидание выигрыша будет максимальным:

$$D_{i\Sigma} = a_{i1} \cdot q_1 + a_{i2} \cdot q_2 + \dots + a_{ij} \cdot q_j + \dots + a_{im} \cdot q_m = \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot q_j \Rightarrow \max. \quad (7.1)$$

Максимальное значение $D_{i\Sigma}$ соответствует оптимальной стратегии A_i .

В данном примере это стратегия A_3 ($n = 2$ поста), для которой $D_{6\Sigma} = 1,6$.

Если количество постов рассчитается на основе только вероятностей, то

$$\bar{n} = \sum_{j=1}^m q_j \cdot n_j. \quad (7.2)$$

7.3 Методика выполнения работы

В соответствии с назначенным вариантом по таблице 7.4 выбирают значения вероятностей q_j появления 0, 1, 2, ..., n требований на ремонт. На их основе рассматривают стратегии Π_j и A_i и составляют таблицу «стратегия сторон» (образец – см. таблицу 7.1). На основании затрат на содержание одного невосребованного поста, выполнения одного ремонта и простоя одного автомобиля (выбирается в таблице 7.5 в соответствии со своим вариантом) составляется платежная матрица, с учетом вероятностей q_j составляется матрица выигрышей. По выражению (7.1) определяется математическое ожидание выигрыша a_i и определяется оптимальная стратегия A_i (оптимальное число постов ремонта автомобилей).

Таблица 7.4 – Значения вероятностей стратегий

Номер варианта	Потребность в постах n_j								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1–15	0,05	0,1	0,2	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1
16–30	0,1	0,05	0,15	0,3	0,1	0,15	0,05	0,05	0,05
31–45	0,2	0,05	0,1	0,1	0,25	0,05	0,05	0,1	0,1
46–60	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05

Таблица 7.5 – Значение затрат

В относительных единицах

Номер варианта	Содержание невосребованного поста (–)	Удовлетворение одного требования на ремонт (+)	Простой одного автомобиля (–)
1–10	$30 + N$	$40 + N$	$60 + N$
11–20	$40 + N$	$50 + N$	$70 + N$
21–30	$50 + N$	$60 + N$	$80 + N$
31–40	$60 + N$	$80 - N$	$90 + N$
41–50	$70 + N$	$90 + N$	$100 + N$
51–60	$80 + N$	$100 + N$	$110 - N$
Примечание – N – номер варианта			

По выражению (7.2) определяется необходимое количество постов только по вероятности возникновения стратегии Π_j .

7.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать таблицы «Стратегии сторон», «Платежную матрицу», «Матрицу выигрышей», диаграмму зависимости D_{Σ} от n_j .

Вопросы для контроля

- 1 Как определить вероятности поступлений автомобилей в ремонт для реального АТО?
- 2 Как построить платежную матрицу?
- 3 Как определяется выигрыш при сочетании различных стратегий поступления автомобилей и наличия постов?

Список литературы

- 1 **Коваленко, Н. А.** Техническая эксплуатация автомобилей : учебное пособие / Н. А. Коваленко, В. П. Лобах, Н. В. Вепринцев. – Минск : Новое знание, 2008. – 352 с.
- 2 **Коваленко, Н. А.** Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта : учебное пособие / Н. А. Коваленко. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2011. – 298 с.
- 3 **Коваленко, Н. А.** Организация технического обслуживания и ремонта автомобилей : учебное пособие / Н. А. Коваленко. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 229 с.
- 4 **Коваленко, Н. А.** Проектирование организаций автосервиса : учебное пособие / Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2023. – 207 с.
- 5 **Тарасик, В. П.** Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.
- 6 **ТКП 248–2010.** Технический кодекс установившейся практики. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2010. – 42 с.