

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

Часть 2



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»
«16» декабря 2022 г., протокол № 5

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

Рецензент канд. техн. наук, доц. О.В. Благодарная

Методические рекомендации к лабораторным работам 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.

Учебно-методическое издание

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть 2

Ответственный за выпуск	О. В. Билык
Корректор	Т. А. Рыжикова
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
9 Исследование работы поточных линий ТО (многофазные системы) на имитационных моделях	5
10 Исследование работы комплексов производственных подразделений АТО (комбинированные СМО) на имитационных моделях	8
11 Корреляционный анализ результатов вычислительного эксперимента	11
12 Планирование и проведение серии машинных экспериментов на имитационных моделях на ЭВМ	14
13 Оценка параметров регрессионной модели	18
14 Определение области экстремума регрессионной модели	23
15 Обработка результатов априорного и итерационного ранжирования	26
Список литературы	30

Часть 2

Введение

Лабораторные занятия являются частью учебной дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» и имеют своей целью освоение студентами методов проведения научных исследований и обработки их результатов.

Задачами лабораторных занятий являются ознакомление студентов с математическими методами, используемыми при решении задач в организациях автомобильного транспорта (ОАТ) и автосервиса (ОАС), освоение методик проведения экспериментов на реальных объектах и на моделях.

Методические рекомендации (часть 2) включают семь лабораторных работ, из них № 12 и 13 выполняются за 4 ч. Занятия осуществляются в составе подгруппы в компьютерном классе кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей», оборудованных персональными компьютерами ITEX MAXIMA I-G 1840 Geleron/MB H81/RAM 4 GB/HDD с использованием стандартного и специального программного обеспечения (программы simsim).

Все работы выполняются на компьютере каждым студентом по индивидуальному варианту. Результаты выполненной работы представляются в отчете и подлежат защите.

Перед выполнением лабораторных работ студентам следует изучить требования по охране труда, изложенные в инструкции ИМБ-1, находящейся в классе вычислительной техники. Запрещается выполнять работу без разрешения преподавателя или инженера-программиста.

9 Исследование работы поточных линий ТО (многофазные системы) на имитационных моделях

Цель работы

Освоить методику имитационного моделирования многофазных систем массового обслуживания.

9.1 Организация работы

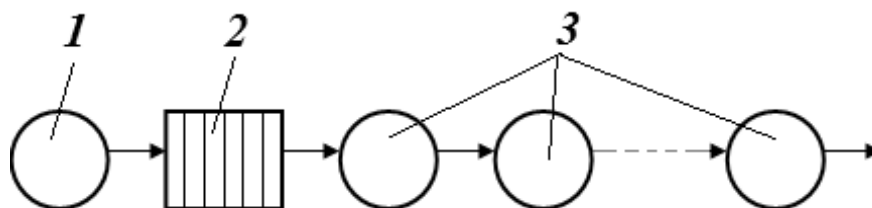
9.1.1 Вначале необходимо ознакомиться с методикой моделирования.

9.1.2 Скомпоновать имитационную модель зоны технического обслуживания, имеющую специализированные посты.

9.1.3 Для своего варианта смоделировать работу зоны ТО и по критерию времени простоев выбрать их оптимальное количество.

9.2 Выполнение работы

9.2.1 Методика выполнения работы. Поточная линия ТО может быть идентифицирована как многофазная система массового обслуживания (рисунок 9.1).



1 — источник; 2 — накопитель; 3 — каналы обслуживания

Рисунок 9.1 — Схема многофазной системы обслуживания

Параметры источника выбираются в зависимости от суточного поступления автомобилей в зону ТО.

Для задания параметров источника необходимо определить интенсивность поступления λ и среднеквадратическое отклонение σ_λ (для входного потока, описываемого нормальным законом распределения).

$$\lambda = \frac{N_c}{T_c}, \quad (9.1)$$

где T_c — время смены работы зоны (принять из ряда 8, 12, 16 ч);
 N_c — суточное поступление автомобилей (таблица 9.1).

$$\sigma_\lambda = \lambda \cdot \nu_\lambda, \quad (9.2)$$

где ν_λ – коэффициент вариации, $\nu_\lambda = 0,1 \dots 0,2$.

Емкость накопителя для ТО не ограничивается по времени. Интенсивность обслуживания для каналов μ и среднее квадратическое отклонение σ_μ (для нормального закона распределения) определяется по формулам

$$\mu = \frac{1}{t_n}, \quad (9.3)$$

где t_n – время простоя автомобиля на посту, ч (берется по своему варианту);

$$\sigma_\mu = \mu \cdot \nu_\mu, \quad (9.4)$$

где ν_μ – коэффициент вариации интенсивности обслуживания (берется из диапазона $0,1 \dots 0,2$).

$$t_n = \frac{T_{TO}}{PX_n}, \quad (9.5)$$

где T_{TO} – трудоемкость обслуживания (берется по своему варианту);

P – число одновременно работающих на посту исполнителей (берется один или два человека);

X_n – выбранное число постов на линии ТО.

Таким образом, с увеличением числа постов интенсивность обслуживания μ будет изменяться, а интенсивность поступления λ оставаться постоянной.

9.2.2 Порядок выполнения работы. Запускается программа `simsim.exe` (`LABR\KOV\SIM`). Для ее активации используется эмулятор `DosBox`. Он запускается через кнопку «Пуск» монитора и после появления окна `DosBox` вводятся команды:

```
mount c: d:\sim «Enter»
c: «Enter»
simsim «Enter»
```

После появления меню сделать активным «Модель», а подменю «Новая». На экране монитора появится одноканальная модель массового обслуживания. Делая активным «Фаза»/«вставить +», получить двухфазную модель. Накопитель между первым и вторым каналом удалить. Для своих исходных данных (таблица 9.1) провести однократный эксперимент. Время моделирования принять 200, шаг – 0,1. Записать результаты эксперимента. N – номер варианта.

Добавить еще одну фазу и снова провести однократный эксперимент. Оценить время простоя в ожидании ТО.

Провести еще эксперименты, добавляя каждый раз по одной фазе (но не более чем шесть фаз). Оптимальное количество постов будет соответ-

вывать минимальному времени ожидания ТО. Сделать заключение об оптимальном числе постов.

Таблица 9.1 – Исходные данные по вариантам обслуживания

Показатель	Номер варианта					
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
N_c	$4 + N/10$	$5 + N/10$	$6 + N/10$	$7 + N/20$	$8 + N/20$	$9 + N/20$
$T_{ТО}$	$24 - N/20$	$22 - N/20$	$20 - N/20$	$21 - N/30$	$23 - N/30$	$24 - N/30$

9.2.3 Аппроксимация результатов имитационных экспериментов. Далее необходимо провести аппроксимацию экспериментальных точек линейной зависимостью:

$$\tau_{ож} = aX_l + b, \quad (9.6)$$

где a, b – коэффициенты уравнения.

Используя метод наименьших квадратов, получить значения a и b :

$$\begin{cases} a = \frac{\overline{x_l \tau_{ож}} - \overline{x_l} \overline{\tau_{ож}}}{\overline{x_l^2} - (\overline{x_l})^2}; \\ b = \overline{\tau_{ож}} - a \overline{x_l}; \end{cases} \quad \begin{cases} \overline{x_l \tau_{ож}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{l_i} \tau_{ож_i}}{n}; & \overline{x_l} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{l_i}}{n}; \\ \overline{x_l^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{l_i}^2}{n}; & \overline{\tau_{ож}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{ож_i}}{n}. \end{cases} \quad (9.7)$$

где n – число приведенных на модели экспериментов.

Сделать заключение об оптимальном числе постов в зоне ТО.

9.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом и должен содержать схему многофазной СМО и результаты моделирования, рекомендации по оптимальному числу постов в зоне ТО, график функции $\tau_{ож} = f(x_l)$.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяются λ и μ для многофазных СМО?
- 2 В каком диапазоне лежат значения коэффициента вариации для нормального закона распределения случайной величины?
- 3 Как определяется время простоя автомобиля на посту?
- 4 Как определяются среднеквадратические отклонения λ и μ для многофазных СМО?
- 5 Как определяются параметры a и b при использовании МНК?

10 Исследование работы комплексов производственных подразделений АТО (комбинированные СМО) на имитационных моделях

Цель работы

Освоить методику имитационного моделирования комбинированных систем массового обслуживания.

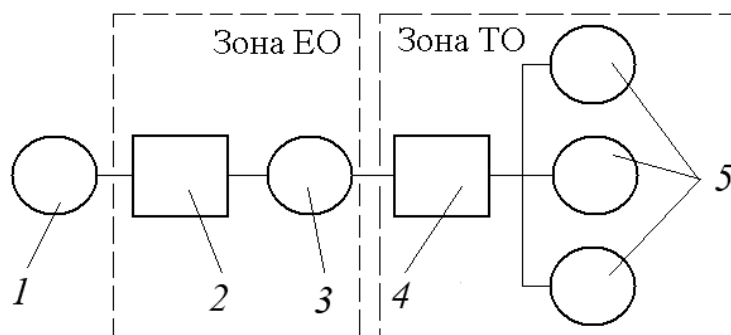
10.1 Организация работы

10.1.1 Вначале необходимо ознакомиться с методикой моделирования.

10.1.2 Скомпоновать имитационную модель зон ЕО и ТО и для своего варианта смоделировать работу комбинированной СМО. По критерию степени занятости постов выбрать их оптимальное количество.

10.2 Выполнение работы

10.2.1 Методика выполнения работы. Как правило, перед проведением ТО проводятся работы ЕО, основу которых составляют уборочно-моечные работы (УМР). Каждый из постов зон ЕО и ТО можно представить как канал массового обслуживания, а в целом их комплекс идентифицировать как комбинированную систему массового обслуживания (рисунок 10.1).



1 – источник заявок; 2 – накопитель зоны ЕО; 3 – канал обслуживания зоны ЕО; 4 – накопитель зоны ТО; 5 – каналы обслуживания зоны ТО

Рисунок 10.1 – Схема комбинированной СМО

Параметры источника I выбираются в зависимости от суточного поступления автомобилей N_c (берется по своему варианту) и времени смены T_c (принять из ряда 8, 12 или 16 ч). Интенсивность поступления λ и среднеквадратическое отклонение σ_λ (предполагая, что входной поток описывается нормальным законом распределения) определяются как

$$\lambda = \frac{N_c}{T_c}; \quad \sigma_\lambda = \lambda \cdot \upsilon_\lambda, \quad (10.1)$$

где υ_λ – коэффициент вариации λ , $\upsilon_\lambda = 0,2 \dots 0,3$.

Параметры накопителя для АТО устанавливаются с учетом работы зоны, но, как правило, емкость накопителя никак не ограничивается.

Параметры каналов берут в зависимости от статистических характеристик времени простоя автомобилей на посту t_n (берется для зон ЕО и ТО по своему варианту в таблице 10.1). Основной их характеристикой являются интенсивность обслуживания μ и среднеквадратическое отклонение σ_μ – тоже для нормального закона распределения.

$$\mu = \frac{1}{t_n}; \quad \sigma_\mu = \mu \cdot \upsilon_\mu, \quad (10.2)$$

где υ_μ – коэффициент вариации интенсивности обслуживания (берется из диапазона $0,2 \dots 0,3$).

10.2.2 Проведение моделирования комбинированной системы массового обслуживания. Первоначально необходимо осуществить сборку модели. Для этого запустить программу `simsim.exe` (LAB\KOV\SIM). Для ее активации используется эмулятор DosBox. Он запускается через кнопку «Пуск» монитора и после появления окна DosBox вводятся команды:

```
mount c: d:\sim «Enter»
c: «Enter»
simsim «Enter»
```

После появления меню сделать активным «Модель», а затем подменю «Новая». На экране появится одноканальная система массового обслуживания. Используя меню, собрать комбинированную систему массового обслуживания (пример на рисунке 10.1, но с одним постом ЕО и одним постом ТО). Делая активным подменю «Элементы», установить для своего варианта (таблица 10.1) параметры источника, накопителей и канала обслуживания. После задания параметров делают активным «имитация»/«опции» и задают время моделирования (принять 200 ч) и шаг моделирования (принять 0,1). Провести однократный эксперимент, получить результаты имитации (делая активным «имитация»/«результаты») и оценить среднее число занятых каналов и среднее время нахождения в очереди. N – номер варианта.

Добавить один канал в зоне ТО и установить его параметры, как и для первого канала.

Последовательно добавлять каналы и проводить имитацию до получения степени занятости всех каналов $0,85 \dots 0,90$ (но не более чем шесть постов).

Степень занятости каналов C определяется как отношение среднего числа занятых каналов X_{cp} к принятому X_n в модели.

Таблица 10.1 – Исходные данные по вариантам

Номер варианта	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
N_c , авт.	$10 + N/10$	$11 + N/10$	$12 + N/10$	$13 + N/20$	$14 + N/20$	$15 + N/20$
t_{nEO} , ч	$0,5 + N/10$	$0,6 + N/10$	$0,7 + N/10$	$0,8 + N/20$	$0,9 + N/20$	$0,8 + N/20$
t_{nTO} , ч	$5 + N/10$	$6 + N/10$	$7 + N/10$	$8 + N/20$	$9 + N/20$	$10 + N/20$

10.2.3 Аппроксимация результатов имитационных экспериментов. Далее необходимо провести аппроксимацию экспериментальных точек линейной зависимостью

$$C = aX_n + v, \quad (10.3)$$

где a, v – коэффициенты уравнения.

Используя метод наименьших квадратов, получить значения a и v :

$$\begin{cases} a = \frac{\overline{X_n C} - \overline{X_n} \overline{C}}{\overline{X_n^2} - (\overline{X_n})^2}; \\ v = \overline{C} - a \overline{X_n}; \end{cases} \quad \begin{cases} \overline{X_n C} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{n_i} C_i}{n}; & \overline{X_n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{n_i}}{n}; \\ \overline{X_n^2} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{n_i}^2}{n}; & \overline{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \end{cases} \quad (10.4)$$

где n – число проведенных на модели экспериментов.

Сделать заключение об оптимальном числе постов в зоне ТР.

10.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать схему комбинированной системы массового обслуживания, результаты моделирования (целесообразно свести их в таблицу), график зависимости C от X_n .

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные характеристики работы СМО.
- 2 Что из себя представляет комбинированная СМО?
- 3 Как определяются λ и μ ?
- 4 Как определяются среднеквадратические отклонения для λ и μ ?
- 5 Как определяются параметры a и v при использовании МНК?

11 Корреляционный анализ результатов вычислительного эксперимента

Цель работы

Освоить методику корреляционного анализа экспериментальных исследований.

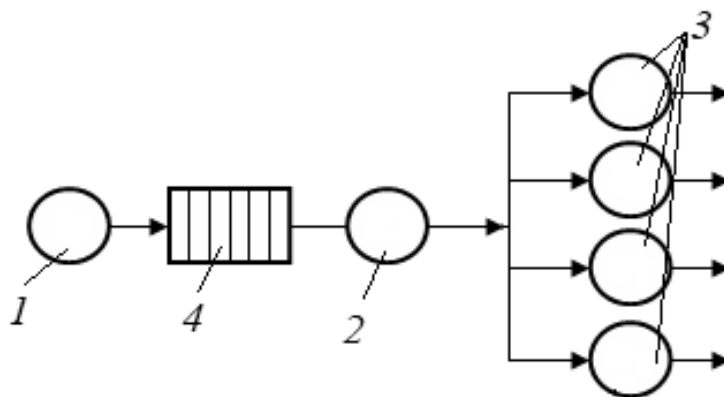
11.1 Организация работы

11.1.1 Ознакомиться с методикой корреляционного анализа.

11.1.2 Скомпоновать имитационную модель и для своего варианта смоделировать работу участков и оценить корреляционную взаимосвязь характеристик их работ.

11.2 Выполнение работы

11.2.1 Методика выполнения работы. В АТО очень часты случаи взаимодействия различных производственных подразделений: зоны ЕО с ТО-1, ТО-2, Д, ТР; участок Д – с ТО-1, ТО-2, ТР, зона ТР – с участками по восстановлению агрегатов. Для этих случаев необходимо согласование пропускной способности взаимодействующих участков. Схема комбинированной модели представлена на рисунке 11.1.



1 – источник; 2 – канал зоны Д; 3 – каналы ТО; 4 – места ожидания

Рисунок 11.1 – Схема комбинированной системы

Параметры источника выбираются в зависимости от суточной программы работ N_c . Емкость накопителя не ограничивается. Время обслуживания на посту диагностики t_d и на постах ТО $t_{ТО}$ берутся из таблицы 11.1. Изменяя интенсивность поступления автомобилей, моделируют работу комбинированной зоны и оценивают показатели ее эффективности.

Таблица 11.1 – Исходные данные для моделирования

Показатель	Номер варианта					
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
N_c	$10 + N/5$	$11 + N/5$	$12 + N/10$	$13 + N/10$	$14 + N/20$	$15 + N/20$
t_d	$1 + N/5$	$1,5 + N/5$	$2 + N/10$	$2,5 + N/10$	$1 + N/20$	$1,5 + N/20$
$t_{то}$	$6 + N/5$	$7 + N/5$	$8 + N/10$	$9 + N/10$	$10 + N/20$	$11 + N/20$

11.2.2 Порядок выполнения работы. Первоначально для заданной суточной программы определить интенсивность поступления заявок и среднеквадратическое отклонение для моделирования поступления заявок по нормальному закону распределения:

$$\lambda = \frac{N_c}{T_c}; \quad \sigma_\lambda = \lambda \cdot \nu_\lambda, \quad (11.1)$$

где T_c – время смены, ч (выбрать из ряда 8, 12 или 16 ч);

ν_λ – коэффициент вариации λ , $\nu_\lambda = 0,2 \dots 0,3$.

Интенсивность обслуживания на постах диагностики и ТО принять подчиненную нормальному закону распределения с коэффициентом вариации 0,2:

$$\mu_d = \frac{1}{t_d}; \quad \mu_{то} = \frac{1}{t_{то}}; \quad \sigma_\mu = \mu \cdot \nu_\mu, \quad (11.2)$$

Осуществляют сборку модели: запускают программу `simstim.exe` (LAB\KOV\SIM). Для ее активации используется эмулятор DosBox (см. лабораторную работу № 9). Делают активным «Модель»/«Новая», и на экране монитора появляется одноканальная модель. На ней будет моделироваться работа поста диагностики. Время моделирования принять 200 единиц машинного времени с шагом 0,1. Зону ТО представить как 4-канальную систему.

Смоделировать совместную работу зон Д и ТО и определить относительную пропускную способность q (по результатам моделирования). Последовательно увеличивая интенсивность поступления λ и его среднеквадратическое отклонение, смоделировать работу зон Д и ТО, фиксируя указанную характеристику (таблица 11.2).

Таблица 11.2 – Результаты имитации

Показатель	λ	$1,2\lambda$	$1,4\lambda$	$1,6\lambda$	$1,8\lambda$
q					

11.2.3 Корреляционный анализ результатов имитационных экспериментов. Далее проводится корреляционный анализ, который изучает усредненный

закон поведения каждой из величин в зависимости от значения другой величины. Мера зависимости между этими величинами характеризуется коэффициентом корреляции. Эмпирический коэффициент корреляции определяют как

$$\rho = \frac{1}{\sigma_\lambda \sigma_q} \cdot \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})(q_i - \bar{q}), \quad (11.3)$$

где σ_λ, σ_q – среднеквадратические отклонения интенсивности поступления и относительной пропускной способности соответственно;

n – число проведенных машинных экспериментов.

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}; \quad \bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}; \quad (11.4)$$

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}}; \quad \sigma_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}}. \quad (11.5)$$

Если эмпирический коэффициент корреляции близок по модулю к 1, то имеет место линейная зависимость между случайными величинами. Если $\rho = 0$, то отсутствует линейная зависимость (может быть нелинейная).

Эмпирическая прямая регрессии q на λ имеет уравнение

$$q - \bar{q} = \rho \frac{\sigma_q}{\sigma_\lambda} (\lambda - \bar{\lambda}). \quad (11.6)$$

Параметры этой функции удовлетворяет методу наименьших квадратов. Сделать заключение о взаимосвязи характеристик λ и q .

11.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом и должен содержать исходные данные и результаты моделирования, эмпирический коэффициент корреляции, уравнение и график эмпирической прямой регрессий q на λ .

Контрольные вопросы

- 1 Какие СМО называют комбинированными?
- 2 Как определяется интенсивность обслуживания автомобилей?
- 3 Как определяется эмпирический коэффициент корреляции?
- 4 Как строится эмпирическая прямая регрессии?

12 Планирование и проведение серии машинных экспериментов на имитационных моделях на ЭВМ

Цель работы

Получить навыки организации планирования и проведения активных машинных экспериментов для получения уравнений регрессии функционирования производственных подразделений АТО.

12.1 Организация работы

12.1.1 Первоначально необходимо ознакомиться с методикой проведения машинных экспериментов.

12.1.2 Провести серию имитационных экспериментов на ЭВМ, получить результаты и определить коэффициенты регрессионной модели.

12.1.3 Провести оценку значимости коэффициентов уравнения регрессии и адекватности модели.

12.2 Выполнение работы

12.2.1 *Методика проведения имитационных экспериментов.* Для определения оптимальных характеристик производственных систем целесообразно иметь уравнения регрессии, отражающие взаимосвязь частных (или обобщенных) характеристик системы с действующими факторами: управляемыми и неуправляемыми.

Получение коэффициентов регрессионных моделей возможно после проведения натуральных или имитационных экспериментов на ЭВМ.

Для этого первоначально отбирают факторы, влияющие на эффективность работы системы. В качестве моделируемой системы возьмем 3-постовую зону технического обслуживания (ТО) грузовой автотранспортной организации. Наиболее значимыми для нее являются суточная программа ТО N_c и время простоя автомобиля на постах t_{TO} . Трудоемкость ТО – величина нормативная, но время простоя на постах определяется численностью рабочих:

$$\tau_i = \frac{t_{TO}}{P_i}, \quad (12.1)$$

где t_{TO} – нормативная трудоемкость ТО, чел./ч;

P_i – число рабочих, одновременно работающих на i -м посту.

Принимается, что минимально должен быть на посту один человек, а максимально – не более трех.

Закон поступления и обслуживания принять нормальным с коэффициентом вариации соответственно 0,1 и 0,2.

Матрица спектра плана полнофакторного эксперимента для двух факторов и при варьировании на двух уровнях может быть представлена в виде таблицы 12.1. Уравнение регрессии можно представить в виде полинома 1-й степени:

$$y = b_0 + b_1\lambda + b_2\mu + b_{12}\lambda\mu, \quad (12.2)$$

где λ – интенсивность поступления заявок, авт./ч;
 μ – интенсивность обслуживания, авт./ч.

Таблица 12.1 – Матрица спектра плана полного факторного эксперимента 2^2

Номер опыта	Уровни факторов			
	x_0	λ	μ	$\lambda \cdot \mu$
1	+1	-1	-1	+1
2	+1	+1	-1	-1
3	+1	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	+1

Интенсивность поступления определяется как

$$\lambda = \frac{N_c}{T_c}; \quad \sigma_\lambda = \lambda \cdot \nu_\lambda, \quad (12.3)$$

где T_c – время смены (принять из ряда 8, 12, 16 ч).

Интенсивность обслуживания

$$\mu = \frac{1}{\tau}; \quad \sigma_\mu = \mu \cdot \nu_\mu, \quad (12.4)$$

где τ – время простоя автомобиля на посту,

$$\tau = \tau_1 \approx \tau_2 \approx \tau_3. \quad (12.5)$$

Используя метод наименьших квадратов, необходимо определить коэффициенты регрессионной модели:

$$b_i = \sum_{i=1}^N x_{ij} y_j / N, \quad (12.6)$$

где N – число опытов;
 j – число факторов.

Для оценки значимости коэффициентов уравнения регрессии вначале определяют остаточную дисперсию:

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N - N_B} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2, \quad (12.7)$$

где N_B – число коэффициентов в уравнении регрессии;
 y_i – значение функции отклика в i -й точке плана;
 \bar{y}_i – рассчитанное по уравнению регрессии значение функции отклика в i -й точке плана.

Далее определяют дисперсию оценок:

$$S_{bj}^2 = \frac{S_{ocm}^2}{N}. \quad (12.8)$$

Половина доверительного интервала рассеивания j -го коэффициента регрессии определяется с использованием критерия Стьюдента $t(\alpha, k_2)$:

$$\delta = S_{Bj} t(\alpha, k_2), \quad (12.9)$$

где α – уровень точности (принять 0,05);
 k_2 – число степеней свободы, $k_2 = N - N_B$.

Если $\delta > B_j$, то коэффициент незначим и j -й фактор можно исключить из модели. Если $\delta \leq B_j$, то коэффициент значим.

Оценка адекватности регрессионной модели осуществляется с использованием критерия Фишера:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{ocm}^2}, \quad (12.10)$$

где S_y^2 – дисперсия модели среднего,

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2, \quad (12.11)$$

где \bar{y} – среднее значение функции отклика,

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (12.12)$$

Модель считается адекватной, если выполняется условие

$$F_{on} > F(\alpha, k_1, k_2), \quad (12.13)$$

где $k_1 = N - 1$.

12.2.2 Порядок выполнения работы. Первоначально необходимо определить область факторного пространства для выбранных факторов (таблица 12.2), для этого определяют нулевой уровень и интервал варьирования для каждого из факторов. Среднее значение N_c и трудоемкость ТО приведены в таблице 12.3 для каждого варианта (N – номер варианта). Интервал варьирования суточной программы равен $N_c \pm 2$, а интервал интенсивности обслуживания определяем, предполагая на каждом посту ТО – один или три человека.

Далее осуществляют сборку 3-канальной модели (после запуска программы `simsim.exe` (`LAB\KOV\SIM`)). В соответствии с матрицей спектра плана необходимо провести серию активных экспериментов на модели. Время моделирования принять 200 единиц с шагом 0,1.

Таблица 12.2 – Уровни факторов для моделирования

Фактор	Уровень факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
λ				
μ				

Таблица 12.3 – Исходные данные для моделирования

Показатель	Номер варианта					
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
N_c	$10 + N/5$	$11 + N/5$	$12 + N/10$	$13 + N/10$	$14 + N/20$	$15 + N/20$
$t_{то}$	$2,0 + N/5$	$2,5 + N/5$	$3,0 + N/10$	$3,5 + N/10$	$4,0 + N/20$	$4,5 + N/20$

Получить результаты моделирования (целевую функцию) – среднее время ожидания обслуживания (для вариантов 1–30) и степень занятости постов (для вариантов 31–60), которая определяется как

$$C = \frac{X}{X_{np}}, \quad (12.14)$$

где X – среднее число занятых постов;

X_{np} – принятое число постов (для случая 3-канальной системы принимается равным 3).

Получить коэффициенты регрессионных моделей b_0 , b_1 , b_2 , и b_{12} для $y_1 = t_{ож}$ или $y_2 = C$ (в зависимости от своего варианта). Оценить степень значимости коэффициентов и адекватность моделей.

12.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать матрицу спектра плана и таблицу уровней факторов, таблицу результатов

эксперимента, регрессионную модель и анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии и адекватности модели.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите правила построения плана полного факторного эксперимента.
- 2 Как в уравнении регрессии оценивается взаимное влияние действующих на функцию отклика факторов?
- 3 Как определяются коэффициенты уравнения регрессии?
- 4 Как оценивается остаточная дисперсия?
- 5 Как оценивается значимость коэффициентов уравнения регрессии?
- 6 Как оценивается адекватность уравнения регрессии?

13 Оценка параметров регрессионной модели

Цель работы

Освоить методику оценки параметров регрессионной модели для абсолютных значений факторов с использованием матричного уравнения.

13.1 Организация работы

13.1.1 Вначале необходимо ознакомиться с методикой оценки параметров регрессионной модели.

13.1.2 Скомпоновать имитационную модель зоны ТО, имеющей универсальные посты и провести моделирование.

13.1.3 Определить значения коэффициентов уравнения регрессии и оценить их значимость.

13.2 Выполнение работы

13.2.1 *Методика выполнения работы.* Регрессионный анализ необходим для получения математических соотношений между используемыми в модели параметрами (или факторами) и показателями эффективности работы системы. Одним из его этапов является оценка значений коэффициентов уравнения регрессии. Для абсолютных значений факторов их определение осуществляется по матричному уравнению

$$B = (X^T X)^{-1} X^T \cdot Y, \quad (13.1)$$

где X – матрица спектра плана;
 X^T – транспонированная матрица спектра плана;
 Y – матрица результатов эксперимента.

Таким образом, для расчета коэффициентов уравнения регрессии вначале записывают матрицу спектра плана X (для данной лабораторной работы – матрица квадратная 4×4 и представлена в таблице 13.1). Из нее получают транспонированную матрицу X^T . Далее с помощью функции МУМНОЖ осуществляем умножение матриц $X^T X$, а затем с помощью функции МОБР получают обратную ей матрицу ОВР. Используя функцию умножения матриц, последовательно получают матрицу $(X^T X)^{-1} X^T$ и матрицу $B = (X^T X)^{-1} X^T Y$. Таким образом, определяют значения коэффициентов уравнения регрессии $b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_n$. Проведенные расчеты позволят записать уравнение регрессии в явном виде.

Таблица 13.1 – План эксперимента

Опыт	Фактор				y_i
	x_0	λ	μ	$\lambda \cdot \mu$	
1	+	–	–	+	
2	+	+	–	–	
3	+	–	+	–	
4	+	+	+	+	

Коэффициенты уравнения регрессии будут значимы, если половина доверительного интервала разброса коэффициентов δ меньше или равна b_j . Если это условие не выполняется, то коэффициент незначим. Стоящий при нем фактор не оказывает влияния на критерий эффективности, и его можно исключить из уравнения регрессии.

$$\delta = S_{ej} \cdot t_{\alpha}, \quad (13.2)$$

где S_{ej} – среднеквадратическое отклонение коэффициента;

t_{α} – критерий Стьюдента [2, 4] при заданном уровне значимости (принимают 0,05) и числе степеней свободы $k_2 = N - n$. Для $N = 4$ и $n = 2$ $t_{\alpha} = 2,32$.

$$S_{b_j}^2 = \frac{S_{ocm}^2}{N}, \quad (13.3)$$

где S_{ocm}^2 – остаточная дисперсия.

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ip})^2, \quad (13.4)$$

где y_{ip} – рассчитанное по уравнению регрессии значение критерия эффективности в i -й точке спектра плана.

Если два и более коэффициента уравнения не значимы, то необходимо выбрать другой критерий эффективности, изменить условия проведения экспе-

риментов или выбрать другие факторы.

13.2.2 Проведение моделирования комбинированной системы массового обслуживания. Необходимое число опытов N для полного факторного экспериментов определяется как

$$N = V^n, \quad (13.5)$$

где V – число уровней варьирования (принимается равным 2);
 n – число учитываемых факторов.

В качестве факторов принять среднюю интенсивность поступления автомобилей λ и среднюю интенсивность обслуживания автомобилей μ , характеризующую производительность поста зоны ТО.

Далее строится матрица спектра плана в соответствии с таблицей 13.1. В ней учтено взаимное влияние действующих факторов.

Средняя интенсивность поступления определяется следующим образом:

$$\lambda = \frac{N_c}{T_c}, \quad (13.6)$$

где T_c – время смены работы зоны (принять из ряда 8, 12, 16 ч);
 N_c – суточное поступление автомобилей (таблица 13.2).

Таблица 13.2 – Исходные данные для моделирования

Показатель	Номер варианта					
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60
N_c	$5 + N/5$	$6 + N/5$	$7 + N/10$	$8 + N/10$	$9 + N/20$	$10 + N/20$
t_n	$3,0 + N/5$	$3,5 + N/5$	$4,0 + N/10$	$4,5 + N/10$	$5,0 + N/20$	$5,5 + N/20$

Средняя интенсивность обслуживания определяется

$$\mu = \frac{1}{t_n}, \quad (13.7)$$

где t_n – время простоя автомобиля на посту, ч (см. таблицу 13.2).

Для получения λ_{-1} и λ_{+1} изменяют суточную программу поступления автомобилей $N_c \pm 2$. Для получения μ_{-1} и μ_{+1} изменяют число рабочих, одновременно работающих на посту (один и три человека соответственно). Результаты расчетов целесообразно свести в таблицу (таблица 13.3).

Далее осуществляют сборку одноканальной модели (после запуска программы `simsim.exe (LAB\KOV\SIM)` с помощью эмулятора `DosBox`). После появления меню сделать активным «Модель», а затем подменю «Новая». На

экране появится одноканальная система массового обслуживания. Делая активным подменю «Элементы», установить для своего варианта (см. таблицу 13.2) параметры источника, накопителя и канала обслуживания (N – номер варианта). Время моделирования принять 200 единиц модельного времени с шагом 0,1.

Таблица 13.3 – Уровни факторов для моделирования

Фактор	Уровень факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
λ				
μ				

В соответствии с матрицей спектра плана (см. таблицу 13.1) необходимо провести серию активных экспериментов на модели. Закон распределения для λ и μ принять показательный. Емкость накопителя не ограничена. В качестве критерия эффективности y_i принять для вариантов 1–30 – среднее время ожидания $t_{ож}$, а для вариантов 31–60 – степень занятости постов C .

13.2.3 Определение значений коэффициентов уравнения регрессии. Процедуру провести с использованием приложения Microsoft Excel. Вначале создают три массива: матрицу спектра плана X , транспонированную матрицу X^T (получают из исходной матрицы X , заменяя столбцы строками с тем же номером), матрицу результатов функции отклика Y (пример – рисунок 13.1). Осуществляют расчет матричного уравнения (13.1) и получают значения коэффициентов b_0, b_1, b_2, b_{12} . Перемножение выполняют с помощью функции МУМНОЖ, а с помощью функции МОБР получают обратную ей матрицу ОБР. Например, для перемножения матриц $X^T X$ их сначала записывают на листе Microsoft Excel (см. рисунок 13.1). Далее выделяют диапазон для матрицы, куда будут записаны результаты перемножения (для примера В11:Е14), в командной строке набирают =МУМНОЖ и в появившейся заставке вводят диапазон Массив1 (в примере В6:Е9) и Массив2 (В1:Е4). После этого нажимают клавишу F2, а затем клавиши Ctrl + Shift + Enter. В выделенном диапазоне (В11:Е14) будет записана матрица $X^T X$. Аналогично выполняются и остальные процедуры перемножения матриц по формуле (13.1).

После получения значений коэффициентов b_0, b_1, b_2, b_{12} в явном виде записывают уравнение регрессии. Для рассматриваемого примера оно примет вид: $y = -1,473 + 0,201 \lambda + 0,194 \mu - 0,018 \lambda \mu$.

Далее по формулам (13.2)–(13.4) рассчитать значение δ и сделать заключение о значимости коэффициентов b_0, b_1, b_2, b_{12} .

	A	B	C	D	E	F	G
1		1	9,062	8,62	78,11444		0,565
2	X=	1	11,562	8,62	99,66444	Y=	0,664
3		1	9,062	13,889	125,862118		0,7
4		1	11,562	13,889	160,584618		0,553
5							
6		1	1	1	1		
7	XT=	9,062	11,562	9,062	11,562		
8		8,62	8,62	13,889	13,889		
9		78,11444	99,66444	125,862118	160,584618		
10							
11		4	41,248	45,018	464,225616		
12	XT*X=	41,248	431,599376	464,225616	4857,43518		
13		45,018	464,225616	534,417442	5510,91266		
14		464,22562	4857,43518	5510,91266	57663,5586		
15							
16		332,32654	-31,760484	-27,994364	2,67542442		
17	OBR=	-31,760484	3,07995385	2,67542442	-0,2594477		
18		-27,994364	2,67542442	2,48739292	-0,2377204		
19		2,6754244	-0,2594477	-0,2377204	0,02305279		
20							
21		12,190899	-9,554915	-7,5660991	5,93011501		
22	OBR*XT=	-1,0543936	1,05439362	0,65439362	-0,6543936		
23		-0,8777377	0,68794838	0,87773771	-0,6879484		
24		0,0759157	-0,0759157	-0,0759157	0,07591573		
25							
26	B0 =	-1,4735213					
27	B1 =	0,2005808					
28	B2 =	0,1948569					
29	B12 =	-0,0186753					

Рисунок 13.3 – Пример расчета матричного уравнения

13.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать схему системы массового обслуживания, результаты моделирования (целесообразно свести их в таблицу), результаты расчетов коэффициентов уравнения регрессии, заключение о значимости коэффициентов уравнения регрессии.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяются значения коэффициентов уравнения регрессии?
- 2 Как определяется остаточная дисперсия?
- 3 Как определяется значимость коэффициентов уравнения регрессии?
- 4 Как определяется половина доверительного интервала разброса коэффициентов уравнения регрессии?

14 Определение области экстремума регрессионной модели

Цель работы

Получить навыки определения области экстремума для уравнений регрессии функционирования производственных подразделений.

14.1 Организация работы

14.1.1 Первоначально необходимо ознакомиться с методикой определения области экстремума регрессионных моделей.

14.1.2 Для регрессионного уравнения, полученного в лабораторной работе № 13 определить область экстремума для целевой функции (для вариантов 1–30 – среднее время ожидания обслуживания $t_{ож}$, а для вариантов 31–60 – степень занятости постов C).

14.1.3 Определить значения управляемых факторов λ и μ , при которых целевая функция принимает экстремальное значение.

14.2 Выполнение работы

14.2.1 Методика определения области экстремума. Для линейных регрессионных моделей применяют градиентный метод (или метод крутого восхождения). Сущность его заключается в том, что движение совершается от точки A_1 (стартовая точка эксперимента, когда все учитываемые факторы будут находиться в средних значениях) к точке A_2 по направлению вектор-градиента при одновременном варьировании всеми факторами. Вектор-градиент всегда направлен перпендикулярно линиям уровня факторов, в сторону возрастания функции.

Например, для функции трех переменных вектор-градиент записывается следующим образом:

$$\text{Grad}(Y) = \frac{\partial y}{\partial x_1} i + \frac{\partial y}{\partial x_2} j + \frac{\partial y}{\partial x_3} k, \quad (14.1)$$

где $\frac{\partial y}{\partial x_1}$, $\frac{\partial y}{\partial x_2}$, $\frac{\partial y}{\partial x_3}$ – составляющие вектор-градиента;

i , j , k – единичные векторы (орты), направленные по трем координатным осям.

Подразумевается, что функция отклика непрерывна, дифференцируема, однозначна и не имеет особых точек. При движении по вектор-градиенту используется шаговый метод. Совершают первый, второй шаг и т. д. до выявления области экстремума.

Например, в результате регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее результаты 2-факторного эксперимента (зависимость абсолютной пропускной способности A от λ и μ):

$$A = 60,5 + 3,6\lambda - 1,4\mu.$$

Для этого уравнения вектор-градиент будет иметь следующий вид:

$$\text{Grad}(A) = 3,6i - 1,4j. \quad (14.2)$$

В первой точке B_1 (таблица 14.1) значения учитываемых факторов находятся в средних значениях: λ_0 и μ_0 . Для этого случая проводится эксперимент и получают значение функции отклика ($B_1 = 65,2$ в таблице 14.1).

Таблица 14.1 – Пример определения экстремума (максимума) функции отклика

Этапы процесса	λ	μ	A
1 Основной уровень факторов (точка B_1)	30	60	65,2
2 Интервал варьирования факторов Δx	10	20	
3 Значение коэффициента	3,6	-1,4	
4 Величина шага изменения $\Delta x/4$	2,5	-5	
5 Значение факторов на первом шаге (точка B_2)	32,5	55	67,1
6 Значение факторов на втором шаге (точка B_3)	35	50	71,6
7 Значение факторов на третьем шаге (точка B_4)	37,5	45	73,2
8 Значение факторов на третьем шаге (точка B_5)	40	40	70,7

Далее определяют интервал варьирования для интенсивности поступления λ и интенсивности обслуживания μ по формуле

$$\Delta x = x_0 - x_{\min} \quad \text{или} \quad \Delta x = x_{\max} - x_0.$$

Затем изменяют значения факторов каждый на величину $1/4$ от интервала варьирования Δx (для λ и μ). Направление изменения факторов определяют по вектор-градиентному уравнению (14.2). Например, для абсолютной пропускной способности важна ее максимальная величина, поэтому λ следует увеличивать, а μ – уменьшать.

При полученных значениях факторов также проводят эксперимент (точка B_2) и опять получают значение функции отклика ($B_2 = 67,1$ в таблице 14.1). Так как абсолютная пропускная способность возросла, то снова изменяют λ и μ на $1/4$ от их интервала варьирования и моделирование повторяют. Изменять факторы и проводить модельные эксперименты прекращают, когда определен максимум функции. Для рассмотренного примера функция отклика принимает максимальное значение $B_4 = 73,2$ при $\lambda = 37,5$ и $\mu = 45$ (см. таблицу 14.1).

Если экстремум не определен, то его значение берут как на четвертом шаге, т. к. значение факторов λ и μ выйдут за пределы -1 или $+1$ на пятом шаге, чего не может быть по условиям проведения модельных экспериментов.

14.2.2 Порядок выполнения работы. Первоначально необходимо перенести из лабораторной работы № 8 область факторного пространства для своего варианта (таблица 14.2) и записать полученное там же уравнение регрессии в явном виде.

Таблица 14.2 – Уровни факторов для моделирования

Фактор	Уровень факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
λ				
μ				

Далее осуществляют сборку 3-канальной модели (после запуска программы `simsim.exe (LAB\KOV\SIM)`). Устанавливают параметры источника и каналов, соответствующие средним значениям соответственно λ_0 и μ_0 . Закон поступления и обслуживания принять нормальным с коэффициентом вариации соответственно 0,1 и 0,2. Время моделирования принять 200 единиц модельного времени с шагом 0,2. Проводят модельный эксперимент и получают значения для вариантов 1–30 – среднее время ожидания обслуживания, а для вариантов 31–60 – степень занятости постов для центральной точки эксперимента.

Преобразуют уравнение регрессии в вектор-градиент (см. формулу (14.1)), и на ее основе определяют направление изменения факторов λ и μ . Рассчитывают ширину интервала варьирования Δx , величину шага изменения $\Delta x/4$ и направления их изменения. Проводят модельный эксперимент для новых значений λ и μ и записывают значение функции отклика $t_{ож}$ или C . Если экстремум определен ($t_{ож}$ должно быть минимальным, а C – максимальным), то определяют значения факторов λ и μ . Если нет, то проводят второй и последующие шаги до определения точки экстремума.

14.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать таблицу уровней факторов, вектор-градиентное уравнение, таблицу результатов эксперимента, экстремальное значение функции отклика и соответствующие ему значения факторов.

Контрольные вопросы

1 Как определяется экстремум однофакторной функции?

2 В чем сущность вектор-градиентного метода?

3 Как по вектор-градиентному уравнению определяется направление изменения факторов?

15 Обработка результатов априорного и итерационного ранжирования

Цель работы

Изучить методику выбора учитываемых факторов при осуществлении экспериментов на основе априорного и итерационного ранжирования.

15.1 Организация работы

15.1.1 В начале необходимо ознакомиться с методикой априорного и итерационного ранжирования факторов.

15.1.2 По заданию преподавателя для исследуемой системы выбрать не менее 10 действующих факторов, выбрать не менее пяти экспертов (среди студентов подгруппы), которые проведут ранжирование факторов.

15.1.3 Провести обработку результатов опроса и выявить доминирующие факторы.

15.2. Выполнение работы

15.2.1 *Методики ранжирования факторов.* При априорном ранжировании выделяются действующие факторы. Каждому фактору каждым экспертом присваивается свой ранг. Далее определяется сумма рангов для каждого j -го фактора:

$$R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij}, \quad (15.1)$$

где r_{ij} – ранг, которым оценивается j -й фактор i -м экспертом;

n – число экспертов.

Определяется общая сумма рангов:

$$M = \sum_{j=1}^m R_j. \quad (15.2)$$

Рассчитывается средняя сумма рангов по всем факторам:

$$N = \frac{M}{m}, \quad (15.3)$$

где m – число факторов.

Далее определяют отклонение суммы рангов каждого фактора от средней суммы рангов ($\Delta_j = R_j - N$) и эмпирический коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^m \Delta_j^2}{n^2 (m^3 - m)}. \quad (15.4)$$

Чем ближе W к единице, тем выше согласованность мнений экспертов. Мнения согласованы, если W больше 0,5.

При итерационном ранжировании, как правило, оценивается экономический эффект от предлагаемых решений, сроки решения задачи и т. п. Оно включает ряд этапов. Перед экспертом ставится задача, и получают его прогноз (например, оценить время реализации программы по повышению производительности труда в зоне или участке АТО). Оценки экспертов располагают в порядке возрастания $t_{\min}, \dots, t_{\max}$ и делят на четыре равные части. Среднее значение принимают за прогноз. Каждому эксперту сообщают полученные границы и среднее значение и предлагают пересмотреть свою оценку. Если она сильно отличается от среднего, то он должен дать письменное обоснование. Определяются результаты 2-го тура (то есть опять разбивают на четыре равные части, определяют границы и среднее значение). Результаты опять сообщают экспертам и т. д. Процедуру повторяют 3–4 раза до стабилизации оценок. Среднее значение принимают за прогноз.

15.2.2 Порядок выполнения работы. Для исследуемого производственного подразделения или системы (по указанию преподавателя) выбрать не менее 10-и действующих факторов.

Опросить не менее пяти экспертов (выбрать из студентов подгруппы), которые должны провести ранжирование факторов. Наиболее сильнодействующему фактору присвоить значение 1, далее по убывающей назначить ранги факторов и наименее действующему присвоить значение 10.

Используя приложение Microsoft Excel, создать таблицу (таблица 15.1). Для получения суммы в ячейку, куда будет записан результат, записывают формулу.

Таблица 15.1 – Таблица для обработки результатов априорного ранжирования

Фактор	Эксперт					R_j	Δ_j	Δ_j^2
	1	2	3	4	5			
1								
.....								
j			r_{ij}					
.....								
10								
						M		$\sum \Delta_j^2$

Построить диаграмму суммы рангов по каждому фактору. Для этого необходимо выделить столбец факторов и, удерживая клавишу Ctrl, выделить столбец суммы рангов. Далее щелкнуть мышью по значку «мастер диаграмм». Выбрать точечный тип диаграммы (точечная диаграмма со значениями, соединенными сглаживающими линиями), нажать 3 раза на кнопку «далее», затем на кнопку «готово». Факторы, у которых сумма рангов будет больше средней суммы рангов, отбрасываются.

Обработать результаты опроса экспертов методом итерационного ранжирования. С этой целью рассматривают прогнозы времени реализации программы мероприятий по повышению производительности труда в рассматриваемой зоне или участке АТО, данные экспертами (таблица 15.2). Для них определяют диапазон рассеивания (t_{min} , t_{max}). Далее разбивают его на четыре равные части (рисунок 15.1) и определяют число попаданий прогнозов в каждый интервал. С учетом этого определяют среднее значение прогноза по выражению:

$$\bar{t} = \frac{t_1x_1 + t_2x_2 + t_3x_3 + t_4x_4}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}, \quad (15.5)$$

где t_1, t_2, t_3, t_4 – значения средин полученных четырех интервалов;

x_1, x_2, x_3, x_4 – число попаданий прогнозов в каждый из интервалов.

Полученное среднее значение и будет точечной оценкой времени на реализацию программы по повышению производительности труда в рассматриваемой зоне или участке.

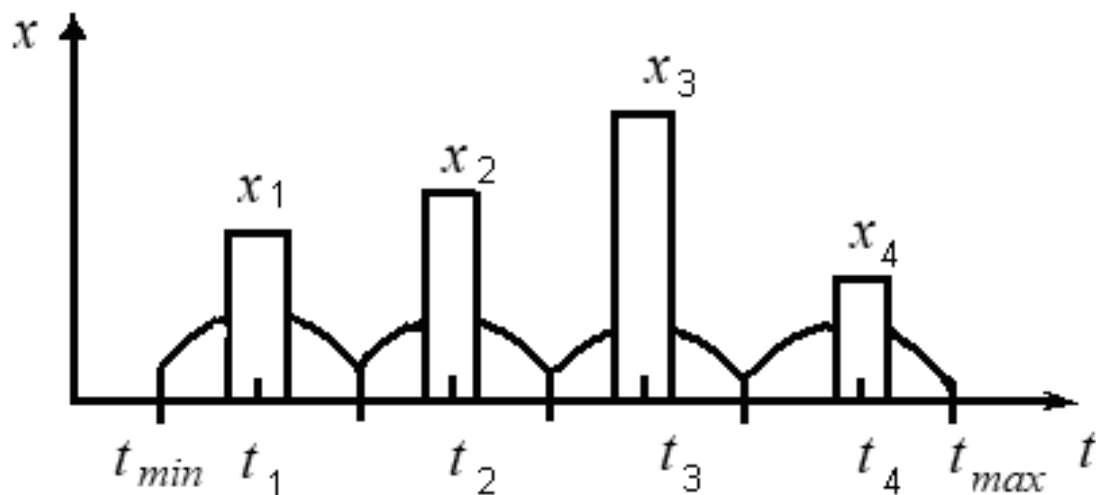


Рисунок 15.1 – Графическое представление итерационного ранжирования

Таблица 15.2 – Прогнозы времени на реализацию программы повышения производительности труда в рассматриваемой зоне (участке)

В годах

Номер эксперта	1	2	3	4	5	6	7	8
Прогноз времени	0,5 + + N/10	0,4 + + N/10	0,6 + + N/10	0,7 + + N/10	0,9 + + N/10	0,8 + + N/10	1,5 + + N/10	1,2 + + N/10

Продолжение таблицы 15.2

Номер эксперта	9	10	11	12	13	14	15	16
Прогноз времени	1,2 + + N/10	1,8 + + N/10	1,5 + + N/10	0,5 + + N/10	0,8 + + N/10	0,7 + + N/10	0,9 + + N/10	0,8 + + N/10

Продолжение таблицы 15.2

Номер эксперта	17	18	19	21	22	23	24	25
Прогноз времени	1,3 + + N/10	1,7 + + N/10	1,9 + + N/10	0,7 + + N/10	0,9 + + N/10	1,0 + + N/10	0,4 + + N/10	1,2 + + N/10

15.3 Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать таблицу и диаграмму для ранжирования факторов, диаграмму итерационного ранжирования и среднюю оценку времени на выполнение мероприятий по повышению производительности труда.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите методы работы с экспертами.
- 2 Когда целесообразно использовать априорное и итерационное ранжирование.
- 3 Как определяется средняя сумма рангов?
- 4 Что следует предпринять, если мнения экспертов не согласуются?
- 5 Как определяется среднее значение прогноза?

Список литературы

1 **Канне, М. М.** Основы исследований, изобретательства и инновационной деятельности в машиностроении : учебник / М. М. Канне. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 366 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 **Тарасик, В. П.** Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 2015. – 640 с.

5 **Шульмин, В. А.** Основы научных исследований : учебное пособие / В. А. Шульмин. – Старый Оскол : ТНТ, 2016. – 280 с.