

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

# ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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



Могилев 2022

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»  
«14» декабря 2021 г., протокол № 5

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

Рецензент Е. В. Ильюшина

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

Учебно-методическое издание

## ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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 31 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, 2022

## Содержание

Введение .....	4
1 Содержание курсовой работы .....	5
2 Содержание разделов курсовой работы .....	6
2.1 Разработка концептуальной модели .....	6
2.2 Алгоритмизация модели системы .....	13
2.3 Регрессионный анализ работы системы .....	16
2.4 Оптимизация числа постов производственных зон организаций автомобильного транспорта .....	19
3 Общие требования к выполнению курсовой работы .....	22
Список литературы .....	23

## Введение

Курсовая работа является частью дисциплины «Основы научных исследований и инновационной деятельности» и имеет своей целью расширение, систематизацию и закрепление теоретических знаний по дисциплине, применение их к решению задач исследовательского характера, развитие творческих способностей и навыков самостоятельной работы, получение практики системного анализа сложных производственных систем и оптимизации их параметров.

Курсовая работа состоит из пояснительной записки (ПЗ) и графической части (ГЧ). Содержание курсовой работы включает:

1) теоретическую часть – обзор по теме проектирования, постановка задач моделирования, разработка концептуальной модели оптимизируемого структурного подразделения организации автомобильного транспорта или автомобильного сервиса и ее алгоритмизация;

2) практическую часть – моделирование работы производственного подразделения, регрессионный анализ результатов вычислительного эксперимента, исследование и оптимизация структурных параметров производственного подразделения, разработка рекомендаций и предложений;

3) проектную часть – выполнение основных расчетов, разработка схем алгоритма моделирования, выполнение чертежей, оформление курсовой работы.

Пояснительная записка в краткой форме излагает и раскрывает тему работы, содержит необходимые результаты анализа и расчетов, имеет обоснование предлагаемых решений. Объем пояснительной записки не превышает 30–35 страниц формата А4.

Графическая часть состоит из двух листов формата А1. На первом листе представляют графическое отражение исходных данных; укрупненную схему технологического процесса; план эксперимента, результаты регрессионного анализа и результаты поиска области экстремума; схему алгоритма моделирования, описывающей работу системы. На втором листе – таблицу с результатами имитационных экспериментов, графики затрат при оптимизации рассматриваемой зоны, планировку зоны, таблицу с выбранным оборудованием зоны и др.

В случае выполнения исследовательской темы объем и структура пояснительной записки и графической части могут отличаться от типовых, но должны полностью раскрывать тему курсовой работы.

На выполнение курсовой работы отводится 40 ч, 1 зачетная единица.

# 1 Содержание курсовой работы

Основными темами курсовой работы являются: оптимизация работы зон технического обслуживания (ЕО, ТО-1, ТО-2), диагностирования (Д) и текущего ремонта (ТР) автотранспортных организаций (АТО) и организаций автомобильного сервиса (ОАС); определение оптимального числа топливораздаточных устройств автозаправочных станций, числа исполнителей производственных участков АТО и ОАС и т. д.

При их разработке пояснительная записка должна включать следующие разделы и подразделы.

Титульный лист.

Задание на курсовую работу.

Содержание.

Введение.

1 Разработка концептуальной модели системы.

1.1 Постановка задачи моделирования.

1.2 Анализ задачи моделирования.

1.3 Исходная информация, характеризующая поведение системы.

1.4 Определение параметров и переменных модели системы.

1.5 Установление основного содержания модели системы.

1.6 Обоснование критериев моделирования и проверка достоверности концептуальной модели.

2 Алгоритмизация модели системы.

2.1 Построение логической схемы работы производственного подразделения.

2.2 Выбор вычислительных средств моделирования.

3 Регрессионный анализ работы системы.

3.1 Результаты вычислительного эксперимента.

3.2 Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии.

3.3 Оценка адекватности регрессионного уравнения и определение оптимальных значений параметров системы.

4 Оптимизация числа постов производственных зон (рабочих мест участков) организаций автомобильного транспорта.

4.1 Методика оптимизации производственного процесса.

4.2 Обоснование и выбор технологического оборудования и организационной оснастки производственной зоны.

4.3 Результаты оптимизации.

Заключение.

Список литературы.

Приложения.

Графическая часть должна содержать на первом листе: укрупненную схему технологического процесса технического воздействия, алгоритм функционирования производственного подразделения, исходные данные для регрессионного анализа, матрицу спектра плана, результаты моделирования, уравнения регрессии, результаты поиска области экстремума; на втором листе: методику и результаты оптимизации числа рабочих постов или исполнителей,

схему производственной зоны с оптимальным числом постов или производственного участка с оптимальным количеством рабочих мест, графики затрат и др.

## 2 Содержание разделов курсовой работы

*Введение.* Во введении необходимо дать краткую характеристику состояния вопроса моделирования и оптимизации работы производственных подразделений, возможность их использования для повышения эффективности работы производственных зон организаций автомобильного транспорта. Ставятся конкретные цели и задачи курсовой работы по предложенной теме.

### 2.1 Разработка концептуальной модели

*2.1.1 Постановка задачи моделирования.* В разделе обосновывают необходимость решения задачи оптимизации работы производственного подразделения АТО или ОАС методами моделирования. Предварительно выбирают методику решения задачи, примерно определяют масштабность задачи и возможность ее расчленения на составляющие.

*2.1.2 Анализ задачи моделирования.* Включает выбор внешних и внутренних факторов, влияющих на работу системы. Например, для АТО внешними факторами являются: модель автомобиля, суточное поступление автомобилей, среднесуточный или среднегодовой пробег, число дней работы автомобилей в году, коэффициент использования автомобилей, трудоёмкость одного технического воздействия, периодичность одного технического воздействия, условия эксплуатации и т. д.; внутренними – количество рабочих постов, дни работы в году зоны, время смены и количество смен, количество рабочих на посту, их квалификация и др. Для ОАС внешними будут: модель обслуживаемых автомобилей, их среднегодовой пробег, число заездов на ОАС в год, средняя трудоёмкость ТО и ремонта, интенсивность движения на дороге и процент схода (для дорожных ОАС) и др.; внутренними могут быть те же, что и для АТО.

Определяются основные критерии оценки эффективности работы производственного подразделения (например, абсолютная пропускная способность, относительная пропускная способность, затраты на выполнение одного технического воздействия, капитальные вложения, затраты на содержание зоны, среднее время ожидания в очереди, среднее время занятия постов (каналов), вероятность отказа в обслуживании и др.).

Результаты выбора представляют в таблицах (таблицы 2.1 и 2.2).

Предварительно выбирается математическая схема, позволяющая описать функционирование рассматриваемой системы (вероятностные автоматы, системы массового обслуживания, имитационные модели и др.).

Таблица 2.1 – Факторы, влияющие на работу зоны (пример)

Наименование фактора	Единица измерения	Символ	Описание фактора	Диапазон изменения
<i>Внешние</i>				
1 Суточное поступление автомобилей	ед.	$N_c$	Характеризует количество поступающих в зону автомобилей в течение суток	$0 \leq N_c \leq A_c$
...	...	...	...	...
<i>Внутренние</i>				
1 Количество рабочих на посту	чел.	$P_n$	Характеризует производительность поста	$1 \leq P_n \leq 3$
...	...	...	...	...

Таблица 2.2 – Основные критерии эффективности работы зоны ТО-1 (пример)

Наименование критерия эффективности	Единица измерения	Символ	Описание критерия	Расчётная формула
1 Абсолютная пропускная способность	авт./ч	$A$	Характеризует численность обслуживаемых объектов (автомобилей) в единицу времени	$A = \lambda q$ , где $\lambda$ – интенсивность поступления автомобилей; $q$ – относительная пропускная способность
...	...	...	...	...

### 2.1.3 Исходная информация, характеризующая поведение системы.

В разделе необходимо дать предварительный расчет системы с учетом усредненных методик и имеющейся информации о системе. В первую очередь следует рассчитать число рабочих постов. Это можно осуществить по методике, изложенной в [1, 3, 4, 5, 9, 10].

Количество универсальных постов ТО и Д для АТО определяется по формуле

$$X = \frac{\tau_n}{R_n}, \quad (2.1)$$

где  $\tau_n$  – такт поста, ч;

$R_n$  – ритм производства, ч.

$$\tau_n = \frac{t_{TO}}{P_n} + t_{nep}, \quad (2.2)$$

где  $t_{TO}$  – трудоемкость одного ТО (или диагностирования), чел.-ч, берется из [8];

$P_n$  – число рабочих, одновременно работающих на посту (принимается 2 чел.);

$t_{пер}$  – время на перемещения автомобиля,  $t_{пер} = 0,03 \dots 0,05$ , ч.

Трудоемкость диагностирования Д-1 или Д-2 берется в долях от трудоемкости соответственно ТО-1, ТО-2 от 0,2 до 0,3.

$$R_n = \frac{T_{см} C}{N_c}, \quad (2.3)$$

где  $T_{см}$  – время работы смены,  $T_{см} = 8$  ч;

$C$  – число смен, принимается 1; 1,5 или 2;

$N_c$  – суточная программа работ.

Суточная программа работ определяется для ТО и Д исходя из годового пробега парка  $L_{ГП}$  и периодичности выполнения работ  $l_{то}$ :

$$N_c = \frac{L_{ГП}}{l_{то} D_{рз}}, \quad (2.4)$$

где  $D_{рз}$  – число дней работы зоны в году (для АЗС – 365 дн., для пассажирских АТО и ОАС – 305 дн., для грузовых АТО – 253 дн.).

Периодичность ТО и Д выбирается для своей модели транспортных средств из [9]. Для зон текущего ремонта  $l_{то}$  выбирается из диапазона 10000...15000 км. Годовой пробег парка автомобилей определяется по формуле

$$L_{ГП} = l_c D_{ра} A_c a_u, \quad (2.5)$$

где  $l_c$  – среднесуточный пробег одного автомобиля, км;

$D_{ра}$  – число дней работы автомобилей в году (для пассажирских АТО – 365 дн., для грузовых – 253 или 305 дн.);

$A_c$  – списочное количество автомобилей в парке, ед.;

$a_u$  – коэффициент использования парка,  $a_u = 0,65 \dots 0,75$ .

Суточная программа Д-1 и Д-2 принимается равной суточной программе ТО-1 и ТО-2 соответственно, умноженной на коэффициент 1,2. Тем самым учитывается поступление автомобилей в зону диагностирования не только перед проведением своего вида ТО, но и после него или после ТР (для проверки качества выполненных работ), а также из зоны ТР – для определения места отказа, его характера и причин.

Если суточная программа ЕО меньше 100, то для зоны ЕО применяются универсальные посты, а если больше – то 3-постовая поточная линия. Если рассчитанное по формуле (2.1) количество универсальных постов Д-1, Д-2, ТО-1 и ТО-2 больше или равно 3, для них также следует использовать трехпостовую поточную линию. Число линий определяется по формуле

$$m = \frac{\tau_l}{R_n}, \quad (2.6)$$

где  $\tau_l$  – такт линии,

$$\tau_l = \frac{t_{TO}}{P_l} + t_{nep}; \quad (2.7)$$

$P_l$  – число рабочих на линии (принимается два человека на каждом из трех постов линии).

Расчетное число линий должно лежать в пределах 0,8...1,2; 1,6...2,4 и т. д., т. е. чтобы недогрузка или перегрузка линии не превышала 20 %. В противном случае необходимо так изменять выбранные значения  $D_{pg}$ ,  $D_{pa}$ ,  $a_u$ ,  $C$ , чтобы выполнилось это условие.

Число универсальных постов ТР определяется по формуле

$$X_{TP} = \frac{T_{TP} \cdot \varphi \cdot K_{TP}}{D_{pg} \cdot T_{cm} \cdot C \cdot P_n \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

где  $T_{TP}$  – годовая трудоемкость работ ТР, чел.-ч;

$\varphi$  – коэффициент неравномерности поступления автомобилей (принимается 1,1...1,2);

$K_{TP}$  – коэффициент, учитывающий долю постовых работ (принимается 0,4...0,5);

$C$  – число смен работы;

$\eta$  – коэффициент использования времени поста,  $\eta = 0,75...0,9$ .

$$T_{TP} = t_{TP} L_{TP}, \quad (2.9)$$

где  $t_{TP}$  – нормативная трудоемкость ТР [9].

При оптимизации числа постов городских ОАС первоначально находят годовую трудоемкость работ по организации в целом по формуле

$$T_G = \frac{X_p \cdot D_{pg} \cdot T_C \cdot C \cdot P_n}{\varphi}, \quad (2.10)$$

где  $X_p$  – число рабочих постов ОАС (указывается в задании).

В зависимости от зоны (ЕО, Д, ТО, ТР и др.) определяется годовая трудоемкость данного вида постовых работ по формуле

$$T_{ГЗ} = \frac{T_G \cdot K_3}{100}, \quad (2.11)$$

где  $K_3$  – объем работ данного вида [4, 5, 10], %.

Число автомобилей, которые будут обслуживаться в ОАС, можно найти по формуле

$$N_{СТО} = \frac{T_{Г}}{L_{Г} \cdot t_{cp}} 1000, \quad (2.12)$$

где  $L_{Г}$  – годовой пробег автомобиля,  $L_{Г} = 12000 \dots 20000$  км;

$t_{cp}$  – средняя трудоемкость работ,  $t_{cp} = 2,0 \dots 2,7$  чел.-ч/1000 км [4, 5].

Суточное число воздействий данного вида в зоне Д, ТО или ТР определяется по формуле

$$N_{СЗ} = \frac{d \cdot N_{СТО} \cdot K_3}{100 \cdot D_{ПГ}}, \quad (2.13)$$

где  $d$  – число заездов одного автомобиля в год,  $d = 2, 3$  или  $4$ .

Трудоемкость одного технического воздействия можно найти по формуле

$$t_{В} = \frac{T_{ГЗ}}{N_{СЗ} \cdot D_{ПГ}}. \quad (2.14)$$

Число постов Д, ТО определяется по формуле (2.1), а число постов ТР – по формуле (2.8) (вместо  $K_{ТР}$  необходимо использовать значение  $K_3/100$ ).

Суточное количество ЕО вычисляется по формуле

$$N_{СЕО} = \frac{N_{СТО} \cdot L_2}{l_{ЕО} \cdot D_{ПГ}}, \quad (2.15)$$

где  $l_{ЕО}$  – периодичность выполнения уборочно-моечных работ,  $l_{ЕО} = 800 \dots 1000$  км.

Трудоемкость ЕО принимается  $0,1 \dots 0,25$  чел.-ч при механизированной мойке и  $0,5$  чел.-ч – ручной шланговой.

Число постов ЕО определяется по формулам (2.1)–(2.3).

Для дорожных ОАС первоначально определяется общее суточное поступление автомобилей по формуле

$$N_{С} = \frac{I_{Д} \cdot p}{100}, \quad (2.16)$$

где  $I_{Д}$  – интенсивность движения на автодороге в зависимости от ее категории;

$p$  – частота заездов в процентах (для легковых автомобилей –  $4 \dots 5$  %, грузовых и автобусов –  $0,4 \dots 0,5$  %).

Суточное число воздействий данного вида (ТО, ТР и т. д.) определяется с учетом доли работ –  $K_3/100$ . Трудоемкость одного воздействия принимается из диапазона  $2 \dots 4$  чел.-ч в зависимости от типа транспортных средств. Расчет числа постов также проводится по формулам (2.1)–(2.3).

При оптимизации числа постов городской или дорожной АЗС задается суточная программа заправок  $N_{С}$ . Средняя трудоемкость одной заправки берется в диапазоне  $0,10 \dots 0,15$  чел.-ч. Расчет числа постов производится по формулам (2.1)–(2.3).

2.1.4 *Определение параметров и переменных модели системы.* Дается определение параметров системы: число постов (линий) зоны, число рабочих на посту, время работы зоны в сутки и дни работы в году, входные переменные (интенсивность поступления, диапазон ее вариации), выходные переменные (интенсивность обслуживания, диапазон ее изменения, длина очереди, среднее время ожидания в очереди, вероятность отказа в обслуживании, относительная пропускная способность зоны и др.). По каждому параметру и переменной даются определение и краткая характеристика, символ обозначения и единица измерения, диапазон изменения. Результаты представляют в табличной форме (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Характеристика параметров и переменных модели зоны ТО-1 (пример)

Наименование параметра или переменных	Определение и (или) краткая характеристика	Символ обозначения	Единица измерения	Диапазон изменения
<b>Параметр модели зоны ТО-1</b>				
1.1 Число постов зоны	Характеризует производственную мощность зоны	$X_n$	ед.	0...20
1.2 Число рабочих на посту	Характеризует интенсивность работ на посту	$P_n$	чел.	1...3
...	...	...	...	...
<b>Входные переменные модели зоны ТО-1</b>				
2.1 Интенсивность поступления автомобилей	Характеризуется как среднее количество автомобилей, поступающих в зону ТО в единицу времени	$\lambda$	авт./ч	0... $N_C$
...	...	...	...	...
<b>Выходные переменные зоны ТО-1</b>				
3.1 Интенсивность обслуживания	Характеризует производительность работ на посту	$\mu$	1/ч	0...60
...	...	...	...	...

Наиболее характерными параметрами систем, работающих как многоканальные системы массового обслуживания, являются интенсивность поступления  $\lambda$  и интенсивность обслуживания  $\mu$ , которые для универсальных постов рассчитываются следующим образом:

$$\lambda = \frac{N_C}{T_{CM} \cdot C}; \quad (2.17)$$

$$\mu = \frac{1}{\tau_n}. \quad (2.18)$$

Для многофазных систем (поточных линий)  $\lambda$  также определяется по формуле (2.17). Если линий несколько, то  $N_C$  необходимо разделить на число





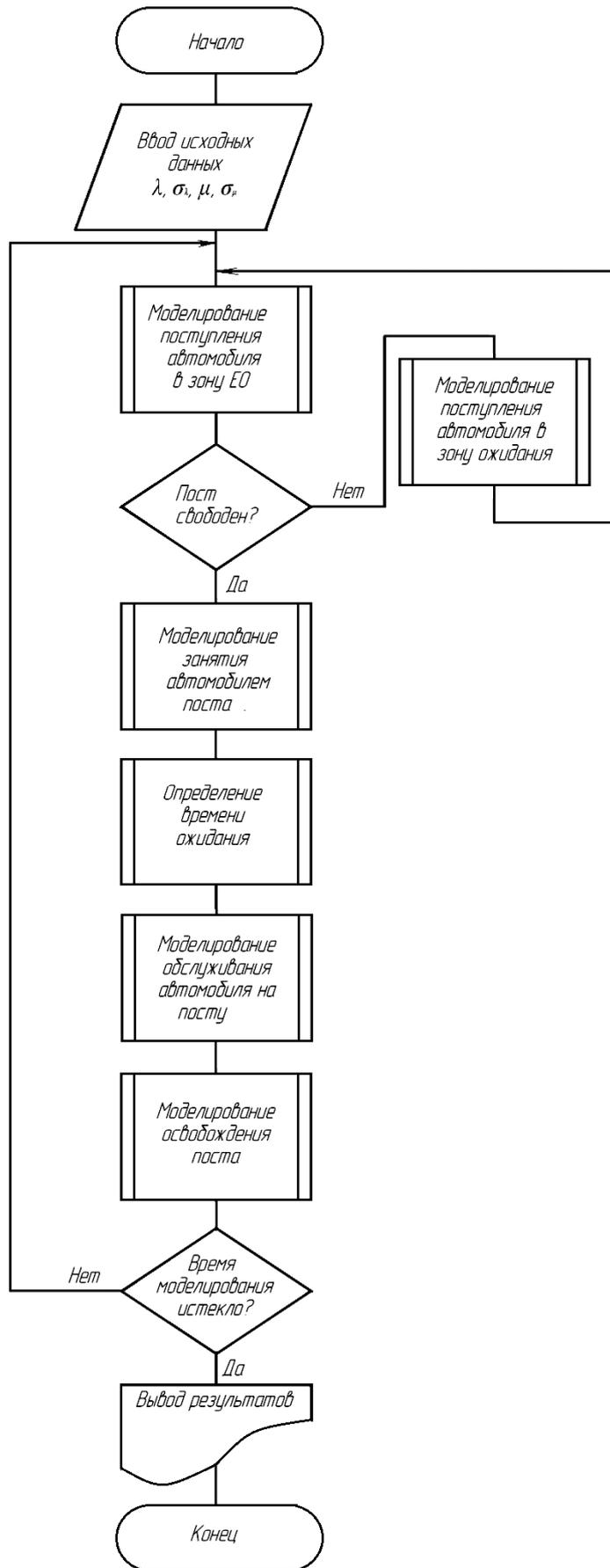


Рисунок 2.3 – Схема алгоритма моделирования работы зоны ЕО (пример)

Схема алгоритма выполняется с учетом требований ГОСТ 19.003–80 *Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические* и ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807–85) *Схемы алгоритмов программ данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения*. Очередность расположения блоков должна увязываться с технологическим процессом. На этом этапе целесообразно задать принятые математические соотношения в явном виде: формулы, связи, коэффициенты, параметры и т. д. При необходимости в данном разделе представляются схема программы для ЭВМ и текст рабочей программы на выбранном алгоритмическом языке.

**2.2.2 Выбор вычислительных средств моделирования.** Здесь окончательно обосновываются тип вычислительной машины для реализации модели, требуемые ее характеристики по быстродействию базовой и оперативной памяти и т. д.

При этом важно, чтобы данная ЭВМ была доступна для быстрого получения результатов. Если есть подходящее стандартное программное обеспечение, то его использование предпочтительно.

### **2.3 Регрессионный анализ работы системы**

**2.3.1 Разработка плана вычислительного эксперимента.** Регрессионный анализ применяется для получения математических соотношений между используемыми в модели параметрами (или факторами) и показателями эффективности работы системы. Необходимое число опытов  $N$  для полного факторного эксперимента определяется как

$$N = V^n, \quad (2.22)$$

где  $V$  – число уровней варьирования, принимается равным 2 (–1, +1);

$n$  – число учитываемых факторов.

За учитываемые факторы целесообразно принять такие комплексные факторы, как средняя интенсивность поступления автомобилей  $\lambda$ , характеризующая количество автомобилей, поступающих в производственную зону в единицу времени, и средняя интенсивность обслуживания автомобилей  $\mu$ , характеризующая производительность поста зоны.

Далее строится матрица спектра плана в соответствии с [1, 7]. В ней необходимо учесть взаимное влияние действующих факторов. Для получения  $\lambda_{-1}$  и  $\lambda_{+1}$  изменяют суточную программу поступления  $N_c \pm 1$  (если суточная программа работ менее трех) или  $N_c \pm 2$  (если суточная программа работ более трех). Для зон ЕО и АЗС  $N_c \pm 20$ .

Для получения  $\mu_{-1}$  и  $\mu_{+1}$  изменяют число рабочих, одновременно работающих на посту (1 и 3 чел. соответственно). Для  $\lambda_{-1}$ ,  $\lambda_{+1}$ ,  $\mu_{-1}$  и  $\mu_{+1}$  определяют среднеквадратические отклонения аналогично, как и в п. 2.1.4 формула (2.21).

Для задания интенсивности обслуживания  $\mu$  для автозаправочной станции необходимо варьировать трудоемкостью заправки, т. к. работу выполняет один

человек. Поскольку трудоемкость заправки описывается нормальным законом распределения, то интервал варьирования составляет:

$$H = t_3 \pm 3\sigma, \quad (2.23)$$

где  $t_3$  – средняя трудоемкость заправки, чел.-ч;  
 $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение, чел.-ч.

$$\sigma = t_3 \cdot v_3, \quad (2.24)$$

где  $v_3$  – коэффициент вариации (для нормального закона берется из интервала 0,1...0,33).

Тогда интенсивность обслуживания для АЗС определяется по формулам:

$$\mu_{-1} = \frac{1}{t_3 - 3\sigma}; \quad (2.25)$$

$$\mu_{+1} = \frac{1}{t_3 + 3\sigma}. \quad (2.26)$$

*2.3.2 Проведение вычислительного эксперимента.* В соответствии с матрицей спектра плана в компьютерном классе кафедры ТЭА проводят вычислительный эксперимент с применением программы `simsim.exe`. 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 запуска программы на экране монитора собирается схема производственной системы, задаются параметры ее составляющих –  $\lambda$ ,  $\mu$  и т. д. Накопители, используемые в модели, не должны иметь ограничений по емкости и времени ожидания. На этом этапе окончательно решается вопрос выбора критериев эффективности (в курсовой работе их должно быть не менее двух). Дополнительным основанием выбора критериев эффективности является требование, чтобы они ощутимо изменялись в каждом эксперименте.

Время моделирования  $T_{\text{мод}}$  целесообразно принять не менее одного месяца (в часах) и шаг моделирования – не более 0,1:

$$T_{\text{мод}} = T_{\text{см}} C \cdot \frac{D_{\text{РГ}}}{12}, \quad (2.27)$$

где  $D_{\text{РГ}}$  – число принятых дней работы зоны за год.

Результаты моделирования необходимо представить в табличной форме в пояснительной записке.

2.3.3 *Определение коэффициентов уравнения регрессии и оценка их значимости.* Определение коэффициентов уравнения регрессии осуществляется в соответствии с [2, 6, 7] по матричному уравнению

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (2.28)$$

где  $X$  – матрица спектра плана;

$X^T$  – транспонированная матрица спектра плана;

$Y$  – матрица результатов эксперимента.

Таким образом, последовательно перемножая обратную матрицу  $(X^T X)^{-1}$  на транспонированную матрицу  $X^T$  и на матрицу результатов  $Y$ , можно определить значения коэффициентов  $b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_n$ .

Для расчета коэффициентов уравнения регрессии целесообразно использовать программное приложение Excel. Вначале записывают матрицу спектра плана  $X$  (матрица квадратная  $4 \times 4$ ). Из нее получают транспонированную матрицу  $X^T$ . Далее с помощью функции МУМНОЖ осуществляют 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  $B = (X^T X)^{-1} X^T Y$ .

Проведенные расчеты позволят записать уравнение регрессии в явном виде.

Коэффициенты уравнения регрессии значимы, если половина доверительного интервала разброса коэффициентов  $\delta$  меньше или равна  $b_j$ . Если это условие не выполняется, то коэффициент незначим, а стоящий при нем фактор не оказывает влияния на критерий эффективности, поэтому его можно исключить из уравнения регрессии.

$$\delta = S_{bj} t_{\alpha}, \quad (2.29)$$

где  $S_{bj}$  – среднеквадратическое отклонение коэффициента;

$t_{\alpha}$  – критерий Стьюдента [2, 7] при заданном уровне значимости (принимают 0,1 или 0,05) и числе степеней свободы  $K_2 = N - n$ .

$$S_{bj}^2 = \frac{S_{ocm}^2}{N}, \quad (2.30)$$

где  $S_{ocm}^2$  – остаточная дисперсия,

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ip})^2, \quad (2.31)$$

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

Если два и более коэффициентов уравнения незначимы, то необходимо выбрать другой критерий эффективности, изменить условия проведения

экспериментов или выбрать другие факторы. Расчет значимости коэффициентов может быть представлен в табличной форме.

*2.3.4 Оценка адекватности регрессионного уравнения и определение оптимальных значений параметров системы.* Уравнение регрессии должно адекватно описывать поведение реальной системы. Степень адекватности и, соответственно, точность регрессионной модели оцениваются с помощью критерия Фишера. Если опытный критерий  $F_{on}$  больше или равен табличному  $F_m$ , то модель адекватна, и наоборот.

$$F_{on} = \frac{S_y^2}{S_{ocm}^2}, \quad (2.32)$$

где  $S_y^2$  – дисперсия среднего,

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2; \quad (2.33)$$

$\bar{y}$  – среднее значение критерия эффективности.

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (2.34)$$

Табличное значение критерия Фишера берется из [2, 6, 7] с учетом уровня значимости  $\alpha$  (как правило,  $\alpha = 0,05$ ) и числа степеней свободы:

$$K_1 = N - 1; \quad K_2 = N - n. \quad (2.35)$$

Если модель адекватна, то, анализируя уравнение регрессии, получают лучшие значения  $\lambda$  и  $\mu$ , соответствующие оптимальному значению критерия эффективности. Если модель неадекватна, то для описания поведения системы необходимо выбрать другие функции отклика либо расширить число учитываемых факторов. Для определения оптимальных значений параметров системы можно использовать градиентный метод (метод крутого восхождения). Суть его заключается в движении от стартовой точки  $A_1$ , которая характеризуется тем, что все учитываемые факторы будут иметь средние значения ( $\lambda_0$  и  $\mu_0$ ), к точке  $A_2$  (экстремуму) по направлению вектор-градиента при одновременном варьировании всех факторов [2, 7]. Например, для функции трех переменных вектор-градиент записывается как

$$Grad(y) = \frac{\partial y}{\partial x_1} i + \frac{\partial y}{\partial x_2} j + \frac{\partial y}{\partial x_3} k, \quad (2.36)$$

где  $i, j, k$  – единичные векторы (орты), направленные по координатным осям;

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

Вектор-градиент направлен в сторону возрастания функции. При использовании этого метода сначала проводят имитационный эксперимент, когда  $\lambda$  и  $\mu$  принимают средние значения (пункт 2.1.4), и определяют значения выбранных в курсовой работе функций откликов. Далее для них записывают выражения вектор-градиента. Если, например, уравнение регрессии получено в виде  $y = 40,7 + 7,2 \lambda - 2,6 \mu$ , то тогда вектор-градиент для него можно записать как

$$\text{Grad}(Y) = 7,2i - 2,6k.$$

Затем изменяют значения факторов каждый на свою величину. Шаг их изменения принимают 1/4 от интервала варьирования. Например, шаг интервала варьирования для интенсивности поступления определяют следующим образом:  $\Delta\lambda = (\lambda_{+1} - \lambda_0)/4$ . Если коэффициент положительный, то фактор увеличивают на величину шага и наоборот (если интересует максимум функции). Аналогично изменяют и второй фактор  $\mu$ . При восхождении по вектор-градиенту незначимые факторы (если они есть) фиксируют на любом уровне. Для новых значений факторов опять проводят имитационный эксперимент с использованием программы `simsim.exe`. Процедуру повторяют до получения экстремума функции. В пояснительной записке необходимо привести значения факторов, при которых функция принимает экстремальное значение.

#### ***2.4 Оптимизация числа постов производственных зон организаций автомобильного транспорта***

Применяемая в настоящее время методика определения числа постов в производственных зонах или на линиях не позволяет выбирать их оптимальное количество. Для решения этой задачи также необходимо использовать имитационные модели производственных подразделений. С помощью программы `simsim.exe` моделируют работу производственного подразделения в течение одного месяца. Если это линия, то последовательно необходимо моделировать два, три, четыре и пять постов с интенсивностью поступления, характерной для центральной точки (формула (2.17)), и интенсивностью обслуживания, рассчитанной по формуле (2.19). Если в зоне используются универсальные посты, то  $\lambda$  и  $\mu$  рассчитываются по уравнениям (2.17) и (2.18). Закон поступления и обслуживания заявок принимается нормальным с коэффициентом вариации  $0,1 \dots 0,33$ . Результаты моделирования целесообразно привести в виде таблицы (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Результаты моделирования работы производственной зоны (пример)

Результат имитационного моделирования	Число постов моделируемой зоны				
	1	2	3	...	$X_n$
1 Количество обслуженных автомобилей, авт.					
2 Среднее время ожидания в очереди, ч					

Целевой функцией является сумма затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобилей в ожидании Д, ТО или ремонта, приходящихся на одно воздействие:

$$C_{\Sigma i} = \frac{1}{12N_{оби}} (C_{нpi} + C_{эки} + E_n \cdot K_{ви}), \quad (2.37)$$

где  $N_{оби}$  – число обслуживаний за период моделирования;

$C_{нpi}$  – потери дохода, связанные с простоем автомобиля в ожидании обслуживания;

$C_{эки}$  – затраты на содержание производственного участка;

$E_n$  – нормативный коэффициент капвложений,  $E_n = 0,13 \dots 0,15$ ;

$K_{ви}$  – капитальные вложения в создание производственного участка.

$$C_{нpi} = 12T_{ожi} N_{оби} \cdot D_{час}, \quad (2.38)$$

где  $T_{ожi}$  – среднее время ожидания обслуживания, ч;

$D_{час}$  – плата за 1 ч использования автомобиля (для грузовых – 8...14 у. е., для легковых – 4...8 у. е., для автобусов – 12...18 у. е.).

Эксплуатационные затраты на содержание производственного участка находятся по формуле

$$C_{эки} = C_{зни} + C_{соди}, \quad (2.39)$$

где  $C_{зни}$  – зарплата ремонтных рабочих для  $i$ -го варианта;

$C_{соди}$  – затраты на содержание рабочих постов для  $i$ -го варианта.

Затраты на зарплату для универсальных постов определяются по формуле

$$C_{зни} = P_n X_{ni} S \Phi_{рг} \beta C, \quad (2.40)$$

где  $P_n$  – число рабочих на посту (берется как для центральной точки эксперимента в регрессионном анализе);

$X_{ni}$  – моделируемое число постов;

$S$  – часовая тарифная ставка рабочего,  $S = 0,40 \dots 0,50$  у. е.;

$\Phi_{рг}$  – годовой фонд времени рабочего,  $\Phi_{рг} = 1840$  ч;

$\beta$  – коэффициент доплат,  $\beta = 1,75$ .

Для поточной линии

$$C_{zni} = P_{ли} S \Phi_{p2} \beta C, \quad (2.41)$$

где  $P_{ли}$  – число рабочих на линии; определяется произведением моделируемого числа постов (2, 3, 4, 5) на число рабочих на посту (для поточной линии рекомендуется 1 или 2 чел.);

$$C_{codi} = A_i + C_{эi}, \quad (2.42)$$

где  $A_i$  – амортизационные отчисления на ремонт и замену оборудования для  $i$ -го варианта;

$C_{эi}$  – эксплуатационные затраты на электроэнергию, воду, тепло, сжатый воздух и др.

$$A_i = C_{он} A_o X_{ni}, \quad (2.43)$$

где  $C_{он}$  – стоимость оборудования одного поста;

$A_o$  – нормативный коэффициент,  $A_o = 0,148$ .

Для определения стоимости оборудования необходимо рассмотреть типовую планировку зоны [1, 3–5, 8, 10] и с помощью программы *oborud.exe* или соответствующих сайтов сети Интернет подобрать его количество, модели и оценить суммарную стоимость.

$A_i$  для линии можно найти по формуле

$$A_i = C_{ол} A_o, \quad (2.44)$$

где  $C_{ол}$  – стоимость оборудования, устанавливаемого на поточной линии.

Стоимости эксплуатационных затрат для зоны с универсальными постами и для поточной линии определяются по формулам:

$$C_{эi} = 0,1 \cdot C_{он} \cdot X_i; \quad C_{эi} = 0,1 \cdot C_{ол}. \quad (2.45)$$

Капитальные затраты определяются суммой стоимостей приобретения и монтажа оборудования, а также стоимости строительства производственного участка  $C_{зdi}$ . Для универсальных постов и поточной линии

$$K_{6i} = 1,25 \cdot C_{он} \cdot X_{ni} + C_{зdi}; \quad K_{6i} = 1,25 \cdot C_{л} + C_{зdi}; \quad (2.46)$$

$$C_{зdi} = K_{зd} \cdot X_{ni} \cdot F_n, \quad (2.47)$$

где  $K_{зd}$  – стоимость строительства 1 м<sup>2</sup> производственного участка,  $K_{зd} = 250...350$  у. е.;

$F_n$  – площадь одного рабочего поста,

$$F_n = f_a \cdot K_n; \quad (2.48)$$

где  $f_a$  – площадь автомобиля в плане;

$K_n$  – коэффициент плотности расстановки (для линий  $K_n = 2,5 \dots 3,5$ , для постов  $K_n = 4 \dots 5$ ).

Минимальная сумма затрат будет соответствовать оптимальному числу постов.

В разделе «Заключение» необходимо изложить основные результаты расчетов и дать рекомендации по оптимальной организации работы производственной зоны.

В приложении может быть приведена ведомость оборудования поста или поточной линии.

### 3 Общие требования к выполнению курсовой работы

Курсовая работа включает пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка должна включать все разделы и подразделы, указанные в задании на курсовую работу (пункт 1), и их содержание должно соответствовать указаниям данных методических рекомендаций. Пояснительная записка пишется от руки чернилами синего или черного цвета на одной стороне листа формата А4 со штампом в соответствии с ГОСТ 2.104–68 формата 2в (рисунок 3.1), в котором проставляется номер страницы. Основная подпись по ГОСТ 2.104–68 форма 2 (рисунок 3.2) дается только на листе «Содержание».

					ОАС - ТО - Renault Duster - 957/22 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

Рисунок 3.1 – Штамп на листах ПЗ по ГОСТ 2.104–68

					ОАС - ТО - Renault Duster - 957/22 - ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Оптимизация работы зоны ТО ОАС	Лит.	Лист	Листов
Разработ	Иванов				и			3	29
Проверил	Коваленко				Белорусско-Российский Университет гр. АВТ-221				
Н. контр.									
Утв.									

Рисунок 3.2 – Основная надпись по ГОСТ 2.104–68

Допускается оформление пояснительной записки с помощью компьютерной техники. Записка выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95. Каждый раздел должен начинаться с новой страницы. Формулы могут быть пронумерованы в пределах раздела или иметь сквозную нумерацию. Таблицы и рисунки должны иметь нумерацию в пределах раздела. В тексте пояснительной записки должны быть ссылки на таблицы, рисунки,

формулы и литературу. Список литературы должен быть выполнен по ГОСТ 7.1–2003.

Графическая часть выполняется по нормам машиностроительного черчения. Объем графической части – два листа формата А1.

## 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 **Напольский, Г. М.** Техническое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания / Г. М. Напольский. – Москва: Транспорт, 1993. – 271 с.

5 Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебник для студентов специальности «Техническая эксплуатация автомобилей» / М. М. Болбас [и др.]; под ред. М. М. Болбаса. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.

6 **Советов, Б. Я.** Моделирование систем: учебник для вузов по специальности АСУ / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва: Высшая школа, 2001. – 271 с.

7 **Тарасик, В. П.** Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск: Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.

8 Техническая эксплуатация автомобилей / Под ред. Е. С. Кузнецова. – Москва : Транспорт, 1992. – 431 с.

9 **ТКП 248–2010.** Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения. – Минск : Транстехника, 2010. – 42 с.

10 **ОНТП-01–91.** Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. – Москва : Гипроавтотранс, 1991. – 184 с.