ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

С.П. Матыюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И СЕТЕЙ КОММУНИКАЦИЙ

Учебно-методическое пособие
по выполнению практических работ

для студентов IV курса
специальности 10.05.02
очной формы обучения

Москва
ИД Академии Жуковского
2025

УДК 621.39
ББК 6Ф1.3
М34

Рецензент:
Антонов А.А. – канд. техн. наук, доцент

Матыюк С.П.
М34 Моделирование систем и сетей коммуникаций [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению практических работ / С.П. Матыюк – М.: ИД Академии Жуковского, 2025. – 28 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Моделирование систем и сетей телекоммуникаций» по учебному плану для обучающихся по направлению подготовки 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 19.03.2025 г. и методического совета 27.03.2025 г.

УДК 621.39
ББК 6Ф1.3

В авторской редакции

Подписано в печать 13.10.2025 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1,75 Усл. печ. л. 1,63
Заказ № 2012/0522-УМП11 Тираж 25 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (499) 755-55-43
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2025

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При подготовке к практическому занятию студенты должны:

-уяснить цель и порядок проведения практического занятия;

-изучить материалы, изложенные на лекционных занятиях и в рекомендуемой литературе.

На занятии студент должен иметь конспект лекций, данное пособие и нормативную документацию.

Практическое занятие начинается с опроса студентов по знанию теоретических положений практического занятия с использованием контрольных вопросов, а также проверяется понимание решения типовых заданий.

Далее студенты решают приведенные в пособии задания с последующим обсуждением полученных результатов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература.

1.1. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. Учебное пособие. Болелов Э.А. МГТУГА. 2012.

1.2. Имитационное моделирование. Учебник для вузов. Кораблев Ю.А. - М.: Кнорус, 2020.

1.3. Моделирование процессов и систем. Учебник для вузов. Стельмашонок Е.В. - М.: Юрайт, 2017.

Дополнительная литература.

2.1. Типовые математические схемы моделирования. Примеры и задачи. Учебное пособие для ВУЗов. Мохрачева Л.П. – Е.: Уральский университет, 2018

Практическое занятие №1
Моделирование случайных процессов

Цель занятия–изучение типовых моделей случайных процессов.

Контрольные вопросы

1. Известные системообразующие свойства системы;
2. Какие модели относятся к эвристическим?
3. Какие формы моделей типа мозговой атаки вам известны?
4. В чем заключаются методы типа сценариев?
5. В чем заключаются методы экспертных оценок?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.1], с.33-83, [1.2], с.23-35, [1.3] с.36-48, и конспект лекций.

Статистический анализ данных с помощью Пакета анализа данных.

В качестве инструментального средства удобно использовать MS Excel для проведения статистического или инженерного анализа надстройку «Пакет анализа». Чтобы выполнять статистический анализ с помощью этого пакета с применением подходящей статистической или инженерной макрофункции, необходимо произвести первоначальную загрузку и активацию Пакета анализа данных при использовании данного пакета впервые. Функции анализа данных можно применять только на конкретном листе. Чтобы провести анализ данных на всех листах, повторите процедуру для каждого листа в отдельности.

Ниже описаны инструменты, включенные в Пакет анализа данных. Для доступа к ним нажмите кнопку **Анализ данных** в группе **Анализ** на вкладке **Данные**. Если команда Анализ данных недоступна, необходимо загрузить надстройку «Пакет анализа данных».

Откройте вкладку **Файл**, нажмите кнопку **Параметры** и выберите категорию **Надстройки** (рис. 1).

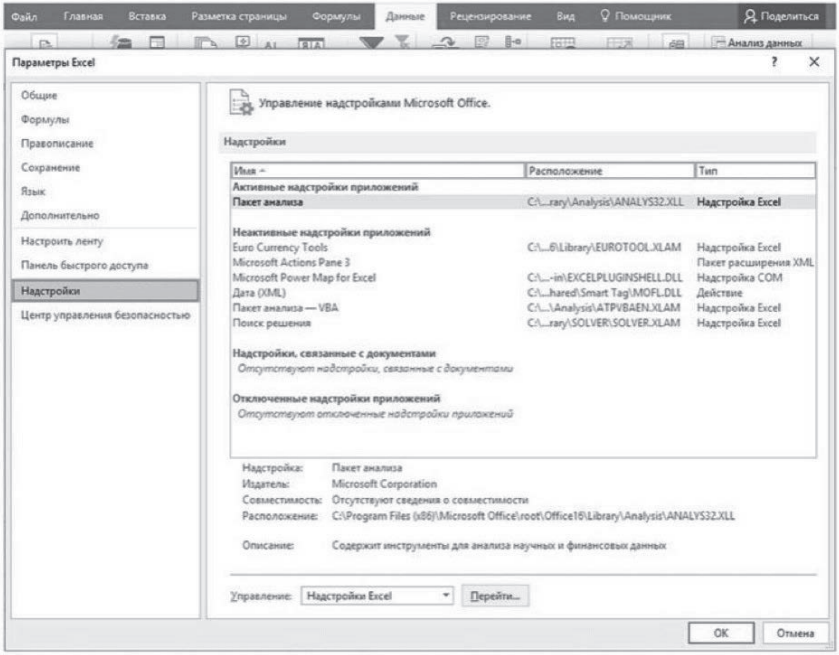


Рис. 1. Выбор настроек для добавления Пакета анализа данных

Если используется Excel не старше 2007, нажмите кнопку **Microsoft Office** и далее — кнопку **Параметры Excel**. В раскрывающемся списке **Управление** выберите пункт **Надстройки Excel** и нажмите кнопку **Перейти**. Если вы используете Excel для Mac, в меню «Файл» выберите **Сервис**, **Добавить – которые запускаются Excel**.

В диалоговом окне **Надстройки** установите флажок **Пакет анализа**, а затем нажмите кнопку **ОК**. Если **Пакет анализа** отсутствует в списке поля **Доступные надстройки**, нажмите кнопку **Обзор**, чтобы выполнить поиск. Если выводится сообщение о том, что Пакет анализа не установлен на компьютере, нажмите кнопку **Да**, чтобы установить его.

Решение любой задачи статистического анализа с использованием пакетов прикладных программ начинается с процедуры ввода данных.

В качестве исходных рассмотрены динамические ряды, построенные на реальных отчетных данных, которые необходимо проверить, насколько они соответствуют поставленной цели исследования и могут ли быть включены в факторную систему. Для примера взят ведущий мультимедийный холдинг

России — РБК как лидер среди новостных и бизнес- медиа компаний медиаиндустрии, а также в сегменте регистрации доменов и хостинга.

Для ввода этих данных в файл Excel копируется таблица: в Excel заносится число изучаемых явлений (динамических рядов), в поле Годы заносим число моментов (интервалов) времени, на которых рассматриваются динамические ряды.

После создания рабочей книги сохраняем ее под уникальным названием в соответствующую папку.

Excel предоставляет широкие возможности по настройке и редактированию различных типов графиков. Если щелкнуть правой кнопкой мыши в свободном поле графика и выбрать в появившемся подменю свойства графика, то на экране появится диалоговое окно, состоящее из операций для настройки определенных функций графика.

Задание для самостоятельной работы

Основные настройки пользователь может освоить самостоятельно, они соответствуют настройкам основных Windows-приложений.

В главном меню выберите процедуру **Данные/Анализ данных**.

Затем, в появившемся контекстном окне, выберите пункт **Описательная статистика** — описательные статистики.

Процедура **Описательная статистика** предлагает пользователю определенный набор функций. Для этого выбираются все нужные переменные.

Для запуска процедуры необходимо воспользоваться кнопкой **ОК**.

Отметим, что программа рассчитывает только средние арифметические невзвешенные для всех переменных.

Практическое занятие №2
Моделирование РТУ и С

Цель занятия - изучение методов анализа данных при моделировании РТУ и С.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются методы экспертных оценок?
2. Для решения каких проблем применяются экспертные оценки?
3. Какие модели относятся к натурным?
4. С какой целью проводятся эксперименты?
5. Какие типовые схемы испытаний нам известны?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.2], с.7-12, [2.2] с.13-25, [2.3] с.26-38 и конспект лекций.

В рамках работы проведено сглаживание динамического ряда трех- и четырехчленными скользящими средними (если это позволяет длина динамического ряда).

Для начала работы воспользуемся уже известным нам меню **Данные/ Анализ данных/Скользящее среднее**. Напомним, что работать необходимо с результирующей переменной, по которой будет вестись прогнозирование.

Для получения трехчленной скользящей средней в поле интервала сглаживания ставим цифру 3 (N =3), выбираем выходной интервал и вывод графика и нажимаем на кнопку ОК.

Система автоматически строит графическое изображение, выраженное скользящей средней с заданными параметрами (рис. 2).

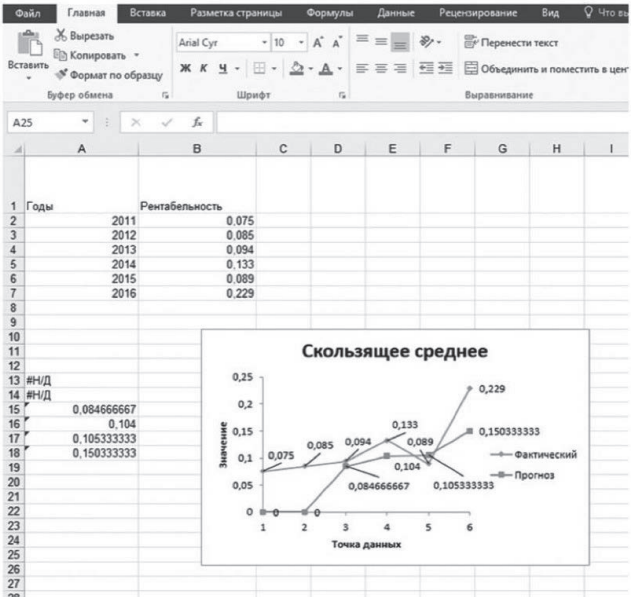


Рис. 2. Исходный динамический ряд, график и скользящая средняя.

В пакете Анализа данных Excel все перечисленные этапы реализуются в рамках одной процедуры **Скользящее среднее**.

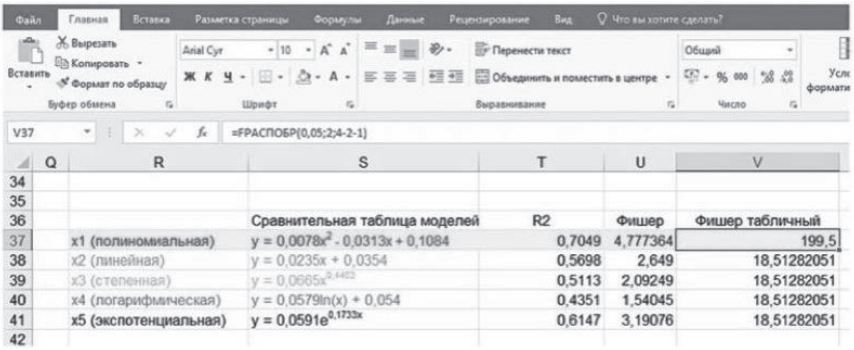
Для решения поставленной задачи по аналитическому сглаживанию динамических рядов с помощью **Мастера диаграмм** потребуется сделать активным с помощью правой кнопки мыши в зоне графика следующее меню.

Задание для самостоятельной работы

Постройте пять-шесть различных уравнений тренда, по существу являющихся уравнениями регрессии.

Данная процедура позволяет строить регрессионные модели как линейного, так и нелинейного тина.

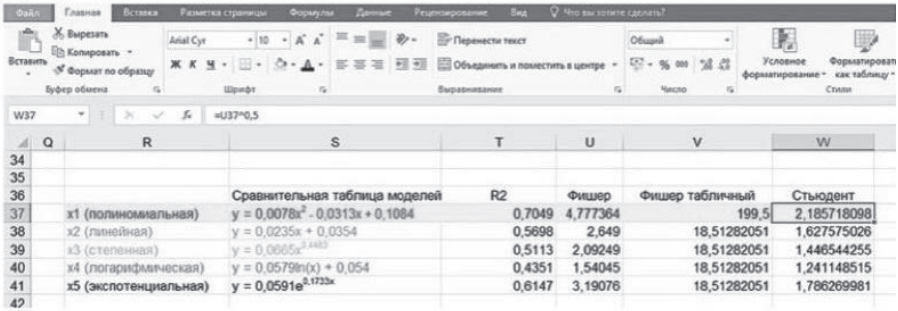
На рис. 3 — 5 представлены этапы проверки статистической значимости построенных моделей.



V37 =FРАСПОБР(0,05;2;4-2-1)

	Q	R	S	T	U	V
34						
35						
36			Сравнительная таблица моделей	R2	Фишер	Фишер табличный
37		x1 (полиномиальная)	$y = 0{,}0078x^2 - 0{,}0313x + 0{,}1084$	0,7049	4,777364	199,5
38		x2 (линейная)	$y = 0{,}0235x + 0{,}0354$	0,5698	2,649	18,51282051
39		x3 (степенная)	$y = 0{,}0665x^{0{,}4402}$	0,5113	2,09249	18,51282051
40		x4 (логарифмическая)	$y = 0{,}0579\ln(x) + 0{,}054$	0,4351	1,54045	18,51282051
41		x5 (экспотенциальная)	$y = 0{,}0591e^{0{,}1733x}$	0,6147	3,19076	18,51282051
42						

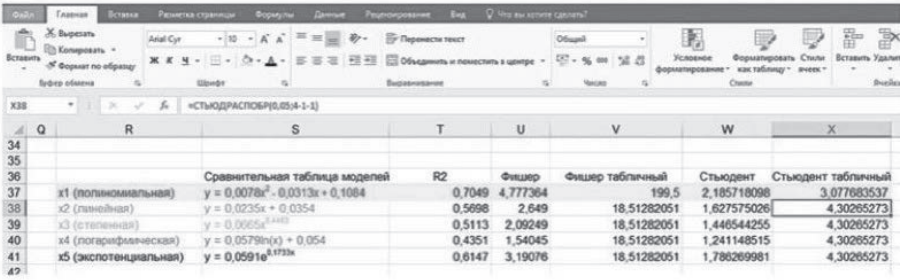
Рис. 3. Расчет табличного коэффициента Фишера средствами Excel



W37 =U37*0,5

	Q	R	S	T	U	V	W
34							
35							
36			Сравнительная таблица моделей	R2	Фишер	Фишер табличный	Стьюдент
37		x1 (полиномиальная)	$y = 0{,}0078x^2 - 0{,}0313x + 0{,}1084$	0,7049	4,777364	199,5	2,185718098
38		x2 (линейная)	$y = 0{,}0235x + 0{,}0354$	0,5698	2,649	18,51282051	1,627575026
39		x3 (степенная)	$y = 0{,}0665x^{0{,}4402}$	0,5113	2,09249	18,51282051	1,446544255
40		x4 (логарифмическая)	$y = 0{,}0579\ln(x) + 0{,}054$	0,4351	1,54045	18,51282051	1,241148515
41		x5 (экспотенциальная)	$y = 0{,}0591e^{0{,}1733x}$	0,6147	3,19076	18,51282051	1,786269981
42							

Рис. 4. Сравнение полученных моделей тренда по коэффициенту Стьюдента



X38 =СТЬЮДРАСПОБР(0,05;4-1-1)

	Q	R	S	T	U	V	W	X
34								
35								
36			Сравнительная таблица моделей	R2	Фишер	Фишер табличный	Стьюдент	Стьюдент табличный
37		x1 (полиномиальная)	$y = 0{,}0078x^2 - 0{,}0313x + 0{,}1084$	0,7049	4,777364	199,5	2,185718098	3,077683537
38		x2 (линейная)	$y = 0{,}0235x + 0{,}0354$	0,5698	2,649	18,51282051	1,627575026	4,30265273
39		x3 (степенная)	$y = 0{,}0665x^{0{,}4402}$	0,5113	2,09249	18,51282051	1,446544255	4,30265273
40		x4 (логарифмическая)	$y = 0{,}0579\ln(x) + 0{,}054$	0,4351	1,54045	18,51282051	1,241148515	4,30265273
41		x5 (экспотенциальная)	$y = 0{,}0591e^{0{,}1733x}$	0,6147	3,19076	18,51282051	1,786269981	4,30265273
42								

Рис. 5. Расчет табличного коэффициента Стьюдента

Построение итоговых характеристик построенных уравнений тренда

Сопоставив значения коэффициентов детерминации для различных типов кривых, сделайте вывод о том, что для исследуемого динамического ряда какая модель будет оптимальна.

Проведите прогнозирование на основе экстраполяции лучшей формы тренда (полиномиальной) для нашей переменной.

Для подсчета минимальных и максимальных значений доверительного интервала необходимо сначала найти стандартную ошибку. Для этого проводится регрессионный анализ (рис. 6).

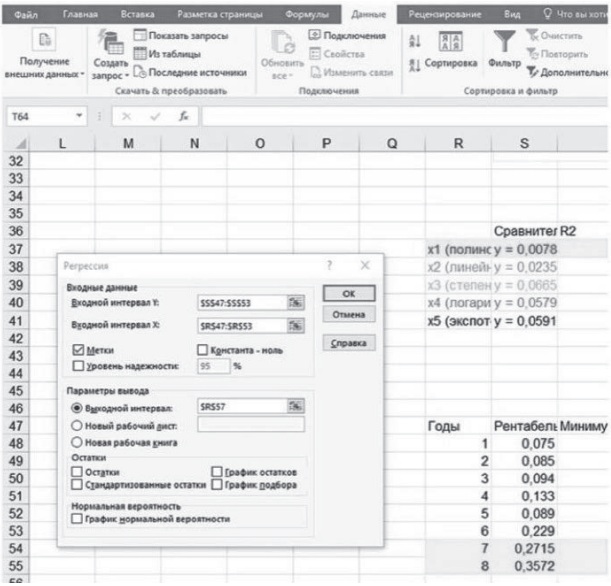


Рис. 6. Запуск процедуры Данные/Анализ/Регрессия

Для запуска процедуры необходимо воспользоваться кнопкой **ОК**.

Исходя из полученных данных можно провести расчет минимальных и максимальных значений доверительного интервала (приблизительный прогноз).

Завершающим этапом прогнозирования является построение графических изображений, дающих представление о точности прогноза и демонстрирующих размах доверительных интервалов (рис. 7).

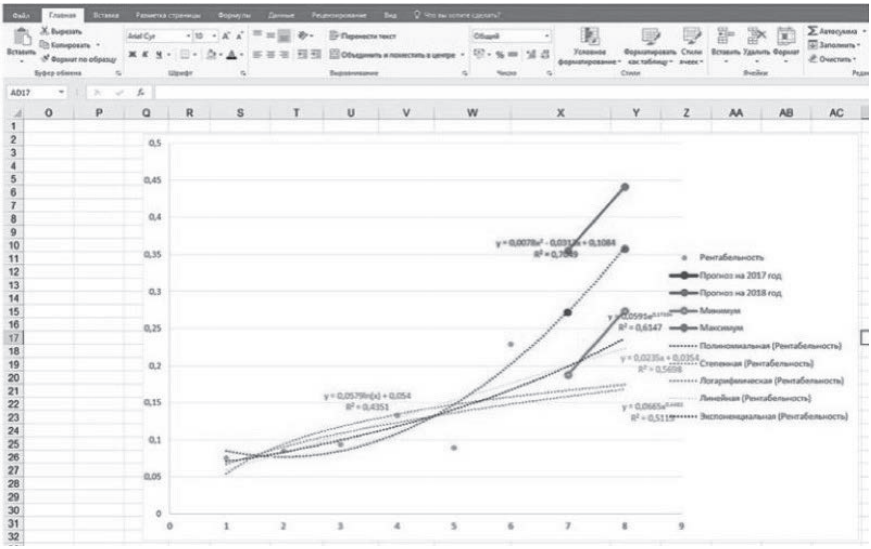


Рис. 7. Графическое представление доверительных интервалов

Для этого создайте новый рабочий лист уже известным способом и скопируйте на него данные исходного ряда, однако расширяем ось времени до горизонта планирования. Далее добавьте еще две переменные, соответствующие нижней и верхней границам доверительных интервалов прогноза. В столбец с исходными данными в пустые строки введите точечные прогнозы по уравнению тренда, а в столбцы с границами доверительных интервалов — соответствующие значения. Далее постройте графическое изображение всех переменных.

При условии статистической значимости уравнения и параметров модель может быть использована для прогнозирования. В нашем случае этого не наблюдается.

Отметим, что при возможности прогнозирования все действия аналогичны прогнозированию с помощью трендовых моделей, но не стоит забывать о сокращении числа уровней ряда

Практическое занятие №3
Планирование экспериментов с моделями систем

Цель занятия-закрепление теоретических знаний в области планирования эксперимента

Контрольные вопросы

1. Какие модели относятся к аналитическим?
2. В чем состоят особенности аналитических методов?
3. Каковы достоинства и недостатки аналитических методов?
4. Какова характеристика математических методов?
5. Какова характеристика статистических методов?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.2], с.69-89, [2.1], с.244-265, [2.3], с.80-84 и конспект лекций.

Поиск решений

Для активации пакета **Поиска решения** необходимо открыть вкладку **Файл**, нажать кнопку **Параметры** и выбрать категорию **Надстройки**.

Если используется Excel не старше 2007, нажмите Кнопку **Microsoft Office** и затем — кнопку **Параметры Excel**. В раскрывающемся списке **Управление** выберите пункт **Надстройки Excel** и нажмите кнопку **Перейти**. Если вы используете Excel для Мас, в меню «файл» выберите **Сервис**, **Добавить-**которые запускаются Excel.

В диалоговом окне **Надстройки** установите флажок **Поиск решения,** а затем нажмите кнопку **ОК**. Если Пакет анализа отсутствует в списке поля **Доступные надстройки,** нажмите кнопку **Обзор,** чтобы выполнить поиск. Если выводится сообщение о том, что пакет анализа не установлен на компьютере, нажмите кнопку **Да,** чтобы установить его.

Задание

Завод использует при производстве пластичных смазок N видов смесей, которые состоят из пяти компонентов в следующих пропорциях (табл. 1, 2).

Таблица 1.

Исходные данные по составу компонентов смесей

Смесь	Компоненты				
N	I	II	III	IV	V
A	3	2	4	6	5
B	1	3	5	4	2
C	4	5	7	3	1
D	2	1	5	6	4

Таблица 2.

Исходные данные по ассортименту смесей

Смеси			
A	*B*	*C*	*D*
Нет	+	+	+

Ресурсы каждого из компонентов ограничены: первого — 0 т, второго — 15 т, третьего — 85 т, четвертого — 120 т, пятого — 280 т.

Цена одной тонны смеси А составляет 54 тыс. руб., смеси В — 43 тыс. руб., смеси С — 27 тыс. руб. и смеси D — 75 тыс. руб.

Постройте модель линейного программирования, оптимизирующую план выпуска смазок с использованием всех компонентов.

Решение:

Математическая модель линейного программирования данной задачи выглядит следующим образом:

$$F(c) = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_3 + c_4 \cdot x_4 \to \max;$$
$$F(x) = 0 \cdot x_1 + 43 \cdot x_2 + 24 \cdot x_3 + 35 \cdot x_4 \to \max;$$
$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0, x_{ij} \in Z \text{ целочисленное решение задачи,} \\ \sum\limits_{j=1}^{n} a_{ij} \cdot x_j \leq b_i, \\ (\mathrm{I})\, 0 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 2 \cdot x_4 \leq 10, \\ (\mathrm{II})\, 0 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 5 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 \leq 15, \\ (\mathrm{III})\, 0 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 7 \cdot x_3 + 5 \cdot x_4 \leq 85, \\ (\mathrm{IV})\, 0 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 + 3 \cdot x_3 + 6 \cdot x_4 \leq 120, \\ (\mathrm{V})\, 0 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 4 \cdot x_4 \leq 280. \end{cases}$$

Задание для самостоятельной работы

Реализовать решение задачи средствами Excel с использованием пакета. Поиск решения выглядит, как показано на рис. 8—10.

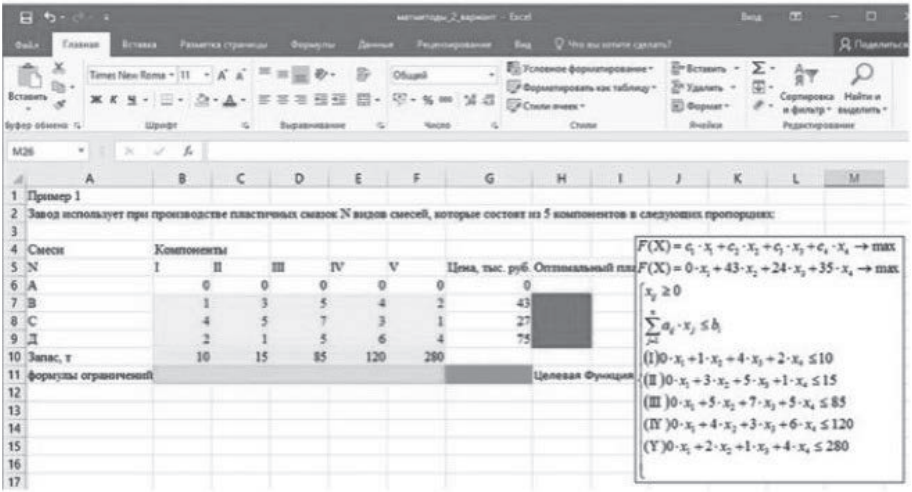


Рис 8. Первый этап: заполнение данных в таблицу Excel и подготовка ячеек для заполнения формул

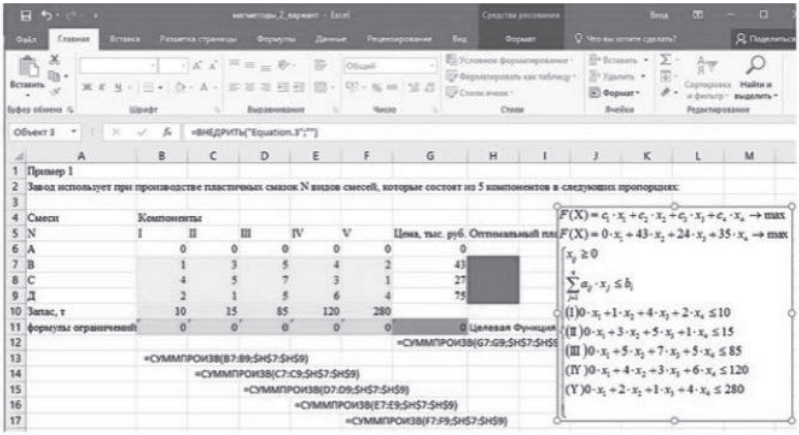


Рис 9. Второй этап: заполнение формул по модели в таблицу Excel

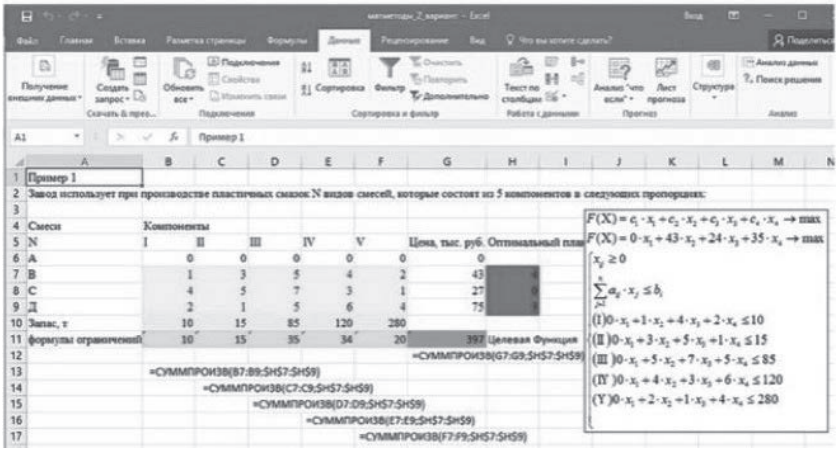


Рис 10. Третий этап: получение решения по модели в Excel

Сформулируйте правильный ответ.

Практическое занятие №4
Статистическая обработка результатов моделирования

Цель занятия- изучение возможностей пакета «Анализ данных» MS Excel для моделирования прогнозов на основе парного регрессионного анализа

Контрольные вопросы

1. Какие модели относятся к натурным?
2. С какой целью проводятся эксперименты?
3. Как классифицируется показатели, используемые в экспериментальных исследованиях?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.3], с.92-108, и конспект лекций.

Имеется 24 наблюдения следующих переменных, представленных в таблице № 3.

Таблица №3

Исходные данные

x_1	y
89,36	15,36
91,14	20,2
110,22	21,22
131,28	23,5
160,59	25,85
143,42	21,07
147,63	24,37
152,14	26,05
171,51	25,71
180,93	25,58
179,95	25,89
186,02	26,83
182,34	25,66
174,17	24,4
189,28	28,89
190,28	29

Продолжение таблицы № 3

x_1	y
168,8	28,39
162,5	27,9
179,31	30,79
169,53	28,95
177,43	29,31
181,89	30,27
179,45	29,6
196,97	32,25

Требуется построить интервальный прогноз по имеющимся данным, для чего необходимо выполнить следующие действия:

1. оценить качество подбора линии регрессии к имеющимся данным;
2. рассчитать стандартную ошибку и стандартные ошибки коэффициентов регрессии;
3. проверить значимость регрессии в целом;
4. проверить значимость коэффициентов регрессии.

Решение:

Для оценки качества подбора линии регрессии к имеющимся данным требуется построение уравнения регрессии $y = a + b \cdot x + \varepsilon$ средствами MS Excel «Анализ данных».

В результате построено уравнение регрессии $\hat{y} = 0{,}112 \cdot x + 7{,}9415$ средствами MS Excel «Анализ данных», которое может быть интерпретировано следующим образом.

Коэффициент регрессии $b = 0{,}112$ означает, что при увеличении $\mathbf{X_1}$ на единицу своего измерения **Y** увеличатся в среднем на 0,112 ед. своего измерения, руб. Свободный член уравнения регрессии, $a = 7{,}9415$, говорит о сильном влияния прочих факторов, неучтенных в модели $\hat{y} = 0{,}112 \cdot x + 7{,}9415$. Коэффициент детерминации $R_2 = 0{,}74$ и коэффициент корреляции $R = 0{,}86$ говорят о наличии тесной взаимосвязи между этими признаками. Скорректированный коэффициент R^2 показывает, какая доля вариации (0,74) $\mathbf{X_1}$ вариацией **Y**.

Ответ: $\hat{y} = 0{,}112 \cdot x + 7{,}9415$.

Задание для самостоятельной работы

Для расчета стандартной ошибки регрессии и стандартных ошибок коэффициентов регрессии используйте режим «Описательная статистика».

Рассчитайте стандартные ошибки регрессии и стандартные ошибки коэффициентов регрессии, которые используются для интерпретации результатов расчетов.

В качестве меры рассеивания фактического значения y относительно теоретического значения $\hat{y}$ (находится по уравнению регрессии) используется стандартная ошибка уравнения регрессии, которая равна $S_{\hat{y}} = 1{,}99$.

Любое стандартное отклонение иногда называют стандартной ошибкой соответствующего коэффициента, они равны $S_b = 2{,}29$, $S_a = 0{,}01$.

Для проверки значимости уравнения регрессии в целом проводите F-тест, но критерию Фишера с использованием встроенной функции MS Excel.

Для проверки значимости коэффициентов регрессии рассчитайте коэффициент Стьюдента с помощью соответствующей встроенной функции.

Практическое занятие №5
Аналитическое моделирование элементов телекоммуникационной сети

Цель занятия - моделирование прогнозов на основе множественного регрессионного анализа.

Контрольные вопросы

1. Какие модели относятся к аналитическим?
2. В чем заключается особенность аналитических методов?
3. Каковы достоинства и недостатки аналитических методов?
4. Какова характеристика математических методов?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.3], с.101-130, [1.2], с.50-70 [2.1] с. 20-25 и конспект лекций.

Имеется 59 результатов наблюдений следующих переменных, представленных в табл. №4

Таблица №4

Исходные данные

y, тыс. руб.	x_1, м^2	x_2, м^2	x_3, **мин**	x_4	x_5
1	2	3	4	5	6
3800	45,4	6	5	1	1
3950	50	5	10	0	0
4000	30	7	10	0	0
4000	40	10	2	1	1
4250	36,1	5	10	1	1
4250	46,3	5	5	1	1
4350	47	5	5	0	0
4450	45	5	15	0	0
4490	53,2	10	15	1	1
4500	45	8	5	1	1
4500	45	6	5	1	1
4500	45	7	10	0	0

Продолжение таблицы № 4

y, тыс. руб.	x_1, м^2	x_2, м^2	x_3, **мин**	x_4	x_5
4500	45	10	15	0	0
4500	44	9	3	0	0
4530	45,9	7	10	1	1
4600	55	10	5	1	1
4690	42	6	10	0	0
4750	49	8	4	1	1
4800	47,2	8	5	1	1
4850	47	7	15	1	1
4870	51	6	10	0	0
4880	58	6	10	1	1
4930	64	12	5	0	0
4989	38	6	7	1	1
4990	66	10	5	1	1
5000	32,5	8	10	0	0
5000	61	9	10	1	1
5000	87	30	15	1	1
5000	59,2	11	15	0	0
5000	65	8	10	1	0
5150	46	6	10	0	0
5200	54,1	10	5	0	1
5200	54	10	10	0	1
5200	51,9	8	10	1	0
5300	53	9	10	0	1
5300	49,2	12	2	0	1
5400	52	9	10	1	0
5400	59,4	9	10	1	1

Продолжение таблицы № 4

y, тыс. руб.	x_1,м^2	x_2,м^2	x_3, мин	x_4	x_5
5400	48,7	10	10	1	1
5400	50,4	13	15	1	1
5420	48	10	10	0	1
5450	55,2	8	10	1	0
5500	70	15	10	1	0
5500	50,3	12	10	1	1
5500	37	11	5	1	1
5500	75,9	12	15	0	1
5500	47,5	7	15	1	1
5550	45,2	8	10	1	1
5570	31	5	15	0	1
5650	49	7	10	1	1
5678	58,8	9	10	1	0
5699	66	11	2	0	1
5700	57,3	10	5	1	1
5700	62,2	12	5	1	0
5700	53	11	10	1	1
5760	61	9	5	1	1
5800	50,7	8	5	0	1
5800	64	8	10	1	1
5800	50,1	7	5	1	1

Требуется построить прогнозное уравнение множественной регрессии линейного вида по имеющимся данным, для чего необходимо выполнить следующие действия:

- оценить качество подбора множественного уравнения регрессии к имеющимся данным;
- оценить стандартную ошибку и стандартные ошибки коэффициентов регрессии;
- проверить значимость регрессии в целом;
- проверить значимость коэффициентов регрессии.

Решение:

Для оценки качества подбора множественного уравнения регрессии к имеющимся данным требуется построить уравнение множественной регрессии

вида $Y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + \varepsilon$ средствами пакета MS Excel «Анализ данных».

В результате построено уравнение регрессии $y = 3840{,}05 + 18{,}4 \cdot x_1 + 1{,}77 \cdot x_2 + 10{,}32 \cdot x_3 + 0{,}72 \cdot x_4 + 225{,}52 \cdot x_5$ средствами пакета MS Excel «Анализ данных», параметры которого могут быть интерпретированы следующим образом.

Свободный член уравнения регрессии $\mathrm{a} = 3840{,}05$ свидетельствует о наличии неучтенных факторов в модели $y = 3840{,}05 + 18{,}4 \cdot x_1 + 1{,}77 \cdot x_2 + 10{,}32 \cdot x_3 + 0{,}72 \cdot x_4 + 225{,}52 \cdot x_5$.

Коэффициент детерминации R^2= 0,18 и множественный коэффициент корреляции R = 0,42 говорят о наличии слабой взаимосвязи между этими признаками. Скорректированный коэффициент R^2= 0,1 показывает, какая доля вариации (0,1) цены обусловлена вариацией объемов факторных признаков в целом с учетом степеней свободы.

Проведенный F-тест и критерий Стьюдента на улучшение качества оценивания модели показали необходимость исключения из модели статистически незначимых факторов

В итоге построено скорректированное парное уравнение регрессии $y = 4035{,}99 + 19{,}6 \cdot x_1$средствами MS Excel «Анализ данных».

Задание для самостоятельной работы

Рассчитать как стандартные ошибки уравнения множественной регрессии, так и стандартные ошибки коэффициентов регрессии.

В качестве меры рассеивания фактического значения y относительно теоретического значения $\hat{y}$ (находится по уравнению множественной регрессии) используется стандартная ошибка уравнения регрессии, которая равна $S_{\hat{y}} \approx 511{,}05$ тыс. руб.

Любое стандартное отклонение иногда называют стандартной ошибкой соответствующего коэффициента, они равны

$S_{b_1} = 8{,}54$; $S_{b_2} = 24{,}75$; $S_{b_3} = 17{,}9$; $S_{b_4} = 153{,}067$; $S_{b_5} = 157{,}28$; $S_a = 384{,}93$

Для проверки значимости уравнения регрессии в целом проводите F-тест, но критерию Фишера с использованием встроенной функции MS Excel с уровнем значимости 0,05.

Для проверки значимости коэффициентов регрессии рассчитайте коэффициент Стьюдента с помощью соответствующей встроенной функции.

Практическое занятие №6
Планирование статистического эксперимента.

Цель занятия-моделирование оптимального плана перевозок.

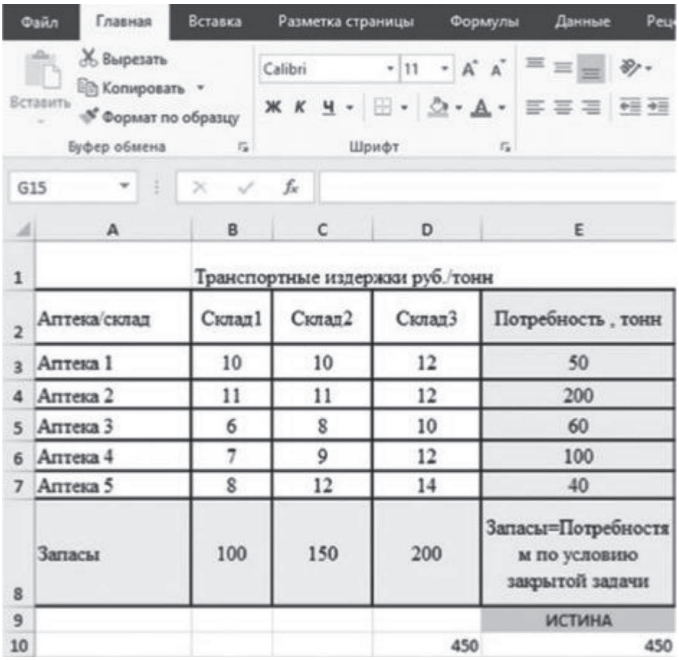
Контрольные вопросы

1. Какова характеристика статистических методов?
2. Какова характеристика теоретико-множественных методов?
3. Какова характеристика множественных методов?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.3], с.70-100, [1.2], с.70-90 [2.1] с. 26- и конспект лекций.

Транспортная задача по оптимизации перевозок медикаментов в аптеки со складов представлена на рис. 11. Требуется выполнение условия минимизации транспортных издержек.



	A	B	C	D	E
1		Транспортные издержки руб./тонн			
2	Аптека/склад	Склад1	Склад2	Склад3	Потребность , тонн
3	Аптека 1	10	10	12	50
4	Аптека 2	11	11	12	200
5	Аптека 3	6	8	10	60
6	Аптека 4	7	9	12	100
7	Аптека 5	8	12	14	40
8	Запасы	100	150	200	Запасы=Потребностям по условию закрытой задачи
9					ИСТИНА
10				450	450

Рис. 11. ***Исходные данные по издержкам, потребностям аптек и запасам на складах***

Решение:

Экономико-математическая модель для нахождения оптимального плана перевозки грузов средствами MS Excel «Поиск решения» имеет вид:

$$F(x) = 10x_{11} + 11x_{12} + 6x_{13} + 7x_{14} + 8x_{15} + 10x_{21} + 11x_{22} + 8x_{23} + 9x_{24} + 12x_{25} + 12x_{31} + 12x_{32} + 10x_{33} + 12x_{34} + 14x_{35} \to min;$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{3} a_i = \sum_{j=1}^{5} b_j\,, \\ x_{ij} \geq 0, \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 100, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 150, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} = 200 - \text{ограничения по складам}, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = 50 - \text{ ограничения по аптекам}, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = 200, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = 60, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} = 100, \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} = 40. \end{cases}$$

Задание для самостоятельной работы

В результате использования возможностей MS Excel «Поиск решения» (см ПЗ№3) смоделируйте процесс подготовки нахождения оптимального решения перевозки медикаментов со склада в аптеки при условии, что общая стоимость перевозок должна быть минимальной.

- Настроите таблицу в Excel с исходными данными и формулами.
- Запустите инструмент «Поиск решений» с указанием целевой функции и ограничений.
- Получите оптимальный план перевозок, минимизирующий затраты.
- Проанализируйте отчеты по результатам, устойчивости и пределам для оценки модели.

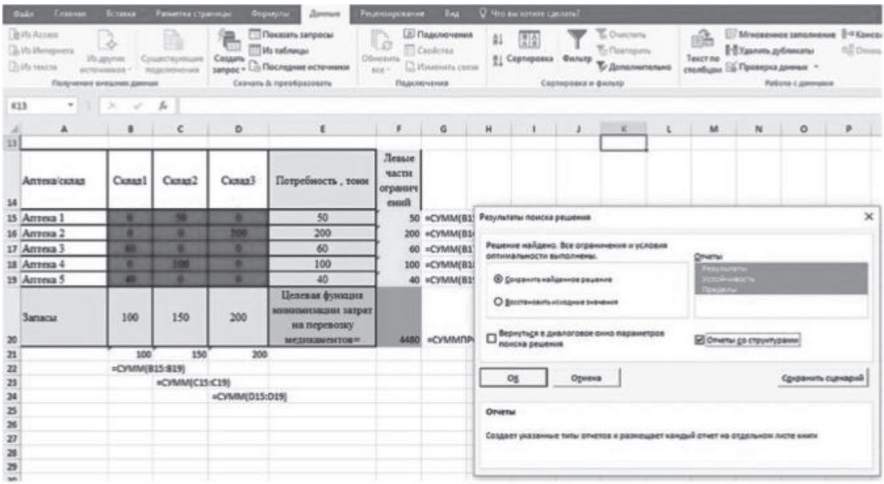


Рис. 12. ***Заказ на получение отчетов по результатам по устойчивости, по пределам***

Практическое занятие № 7
Имитационное моделирование элементов телекоммуникационной сети.

Цель занятия-изучение языка программирования Go для выполнения SQL запросов и анализа данных.

Контрольные вопросы

1. Какова характеристика логических методов?
2. Какова характеристика лингвистических и семиотических методов?
3. Какова характеристика графических методов?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.3], с.122 - 150, [2.2], [2.3] и конспект лекций.

Установить golang компилятор. Инструкции можно найти по ссылке на оффициальную документацию https://go.dev/doc/install.

Пройдите go tour по ссылке https://go.dev/tour/ базовыми конструкциями языка go.

Установите пакеты необходимые для подключения к базе данных PostgreSQL с помощью команд go get database/sql и go get github.com/lib/pq.

Для статистического анализа данных установите пакет gonum.org/v1/gonum/stat с помощью команды go get gonum.org/v1/gonum/stat.

Задание для самостоятельной работы

После изучения базовой конструкции реализуйте программу *main.go*, выводящую "Hello, world!" (используйте команду *go run main.go* и пакет *fmt*)

В файле *main.go* создайте код для подключения к базе данных, используя определенные параметры (рис. 13). Примените функцию sql.Open со строкой подключения вида user=... password=... dbname=... sslmode=disable, и проверьте корректность соединения, обрабатывая возможные ошибки.

```
const (
    DB_USER     = "your_username"
    DB_PASSWORD = "your_password"
    DB_NAME     = "your_database_name"
)
```

Рис. 13 – параметры для файла *main.go*

Создайте таблицу financials в базе данных с полями: year (целое число, первичный ключ), profitability, service_cost, cost_of_goods_sold, taxes (десятичные числа) и services_sold (целое число). Вставьте в таблицу данные за 2013–2016 годы. Для этого напишите функцию createAndPopulateTable, которая использует db.Exec для создания таблицы и вставки данных. Вызовите эту функцию в main(). Подсказка: убедитесь, что SQL-запросы для создания таблицы и вставки данных написаны корректно, с обработкой ошибок.

```go
func createAndPopulateTable(db *sql.DB) {
    _, err := db.Exec(`CREATE TABLE IF NOT EXISTS financials (
        year INTEGER PRIMARY KEY,
        profitability DECIMAL,
        service_cost DECIMAL,
        cost_of_goods_sold DECIMAL,
        taxes DECIMAL,
        services_sold INTEGER
    )`)
    if err != nil {
        log.Fatal(err)
    }

    _, err = db.Exec(`
      INSERT INTO financials
                (year,
                 profitability,
                 service_cost,
                 cost_of_goods_sold,
                 taxes,
                 services_sold)
               VALUES
                 (2013, 0.0940, 6548.00, 7965.30, 2135.70, 1854),
                 (2014, 0.1330, 6256.00, 8351.80, 2484.60, 2114),
                 (2015, 0.0890, 6450.00, 9964.70, 2914.80, 2741),
                 (2016, 0.0290, 5350.00, 11256.20, 4063.20, 3902)`)
    if err != nil {
        log.Fatal(err)
    }
}
```

Рис. 14 – функция createAndPopulateTable.

Реализуйте функцию printFinancials, которая выполняет SQL-запрос для выборки всех записей из таблицы financials и выводит их в консоль. Используйте db.Query для выполнения запроса и rows.Scan для чтения данных. Вызовите эту функцию в main() после создания таблицы, чтобы проверить содержимое. Подсказка: не забудьте закрыть результат запроса с помощью defer rows.Close() и проверить ошибки с помощью rows.Err().

Напишите функцию calculateStatistics, которая принимает имя столбца и вычисляет для него статистические показатели: среднее, стандартное отклонение, дисперсию, медиану, минимальное и максимальное значения, сумму и интервал. Используйте функции stat.Mean, stat.StdDev, stat.Variance и stat.Quantile из пакета gonum/stat, сортируя данные с помощью sort.Float64s. Вызовите эту функцию в main() для каждого столбца таблицы (year, profitability, service_cost, cost_of_goods_sold, taxes, services_sold). Подсказка: убедитесь, что данные из базы данных считываются в срез []float64 и обрабатываются корректно.

Практическое занятие № 8
Проведение экспериментов на модели. Анализ результатов. Оценка погрешности.

Цель занятия-моделирование системы массового обслуживания.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются особенности детерминированных моделей?
2. В чем заключаются особенности стохастических моделей?
3. Какова область использования статистических методов прогнозирования?

Задание на практическое занятие

При подготовке к занятию необходимо изучить теоретические материалы и ответить на контрольные вопросы, используя литературу [1.3], с.10-30, [1.2], с.10-200 [2.1] с. 30-35 и конспект лекций.

Имеется сеть с одним каналом связи. Пакеты данных приходят в среднем по 10 в 10 мкс. Длительность обслуживания каждого пакета данных в среднем занимает 1 мкс на пакет. Есть основание предполагать, что процесс поступления и обслуживания простейший (Пуассоновский), длительность интервалов между поступлениями и длительность обслуживания подчиняется экспоненциальному закону распределения.

Задание для самостоятельной работы

Определите основные характеристики системы массового обслуживания, за время моделирования приема время обслуживания 100 пакетов данных, определить её основные характеристики и проанализировать результаты с помощью MS Excel.

Задайте столбцы для имитации времени поступления пакетов данных, времени начала и окончания обслуживания, а также времени ожидания в очереди. Подсказка: переведите время в минуты для удобства расчётов, так как среднее время обслуживания составляет 1-2 мкс.

Формула для времени обслуживания и времени между поступлениями пакетов одинаковая.

На основе вышенайденных данных рассчитайте время начала обслуживания (учитывая, что канал связи обслуживает только один пакет данных за раз) и время ожидания в очереди (разница между временем поступления и началом обслуживания).