

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «Моделирование процессов в электроэнергетических системах»

для студентов направления подготовки /специальности

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

Направленность (профиль) «Возобновляемые источники энергии и гидроэлектростанции "

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1. Решение задач математического программирования средствами MS Excel

Электронные таблицы MS Excel содержат в своем составе специализированные средства, которые позволяют решать большинство типовых практических задач оптимизации.

При решении оптимизационных задач пользователь должен иметь представление об основах математического моделирования и уметь составлять оптимизационные математические модели. Кроме того, от пользователя требуется знание основных методов математического программирования и навыки практической работы с пакетом MS Office.

1.2.1. Решение задач линейного программирования

Общая задача линейного программирования состоит в минимизации (максимизации) линейной функции

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

От n переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$, удовлетворяющих условиям неотрицательности

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

и m линейным ограничениям

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (=, <, >) b_1,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (=, <, >) b_2,$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (=, <, >) b_m.$$

Для того чтобы решить задачу линейного программирования в табличном редакторе Microsoft Excel, необходимо придерживаться следующего плана действий.

1. Ввести условие задачи:

а) создать экранную форму для ввода условия задачи:

- переменных,
- целевой функции,
- ограничений,
- граничных условий;

б) ввести исходные данные в экранную форму

- коэффициенты целевой функции,
- коэффициенты при переменных в ограничениях,
- правые части ограничений;

в) ввести зависимости из математической модели в экранную форму

- формулу для расчета целевой функции,
- формулы для расчета значений левых частей ограничений;

г) задать целевую функцию (в окне "Поиск решения"):

- целевую ячейку,
- направление оптимизации ЦФ;

д) ввести ограничения и граничные условия(в окне "**Поиск решения**"):

- ячейки со значениями переменных,
- граничные условия для допустимых значений переменных,
- соотношения между правыми и левыми частями ограничений.

2. Решить задачу:

а) установить параметры решения задачи(в окне "**Поиск решения**"),

б) запустить задачу на решение(в окне "**Поиск решения**");

в)выбрать формат вывода решения(в окне "**Результаты поиска решения**")

Рассмотрим решение оптимизационной задачи линейного программирования средствами MS Excel на конкретном примере.

Задача 1

Предприятие выпускает три вида продукции: табуретки, столы и стулья. На изготовление каждого изделия требуется три вида сырья: ткань, доски и фурнитура. Для упрощения задачи будем считать, что расход энергетических, трудовых и других ресурсов на изготовления каждого вида продукции одинаков. Нормы расхода каждого вида сырья на изготовление одного изделия и прибыль от его реализации приведены в табл. 1.1. При планировании производственной программы необходимо учесть ограничения на каждый вид сырьевого ресурса, которые составляют 80, 120, 60 для ткани, досок и фурнитуры соответственно. Требуется определить, в каком количестве нужно выпускать каждый вид изделия, чтобы получить максимальную прибыль (маркетинговую ситуацию на рынке не учитываем – все что произвели, сразу продали).

Таблица 1.1 - Исходные данные к задаче 1

	Табурет	Стул	Стол
Ткань	1	3	2
Доски	2	4	8
Фурнитура	1	2	4
Прибыль	25	70	120

Решение.

Математическая модель решаемой задачи будет иметь следующий вид.

Целевая функция

$$Z = 25 \cdot x_1 + 70 \cdot x_2 + 120 \cdot x_3 \rightarrow \max \quad (1.1)$$

Система ограничений

$$\left. \begin{aligned} 1 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 &\leq 80 \\ 2 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 + 8 \cdot x_3 &\leq 120 \\ 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 &\leq 60 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Граничные условия

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0 \quad (1.3)$$

Из математической модели задачи видно, что целевая функция имеет линейную зависимость от переменных, значит решаемая задача является задачей линейного программирования.

На рабочем листе книги MS Excel создадим экранную форму для ввода условий задачи, рис.1.1

	A	B	C	D	E	F	G
1		Переменные					
2	Вид	Табурет	Стул	Стол			
3	Значение	0	0	0			
4	Нижн. граница	>=0	>=0	>=0			
5	Верх. граница				Целевая функция	Тип	
6	Коефф. ЦФ	25	70	120	=СУММПРОИЗВ(B3:D3;B6:D6)	max	
7							
8		Ограничения					
9	Вид				Левая часть	Знак	Пр. часть
10	Ткань	1	3	2	=СУММПРОИЗВ(B3:D3;B10:D10)	<=	80
11	Доски	2	4	8	=СУММПРОИЗВ(B3:D3;B11:D11)	<=	120
12	Фурнитура	1	2	4	=СУММПРОИЗВ(B3:D3;B12:D12)	<=	60
13							
14							

Рис. 1.1. Экранная форма задачи 1

В экранной форме на рис. 1.1 каждой переменной и каждому коэффициенту задачи поставлена в соответствие конкретная ячейка в Excel. Имя ячейки состоит из буквы, обозначающей столбец, и цифры, обозначающей строку, на пересечении которых находится объект задачи линейного программирования. Переменным задачи соответствуют ячейки B3:D3, коэффициентам целевой функции (ЦФ) соответствуют ячейки B6:D6, правым частям ограничений соответствуют ячейки G10:G12.

В ячейку E6, в которой будет отображаться значение ЦФ, необходимо ввести формулу, по которой это значение будет рассчитано. В экранной форме значение целевой функции можно вычислить по формуле:

$$E6 = \text{СУММПРОИЗВ}(B3:D3;B6:D6) \quad (1/4)$$

Формулы для расчета левых частей системы ограничений (1.2) разместим в ячейках E10:E12. Для экранной формы, представленной на рис.1.1, они могут быть рассчитаны по следующим формулам

$$E10 = \text{СУММПРОИЗВ}(B3:D3;B10:D10)$$

$$E11 = \text{СУММПРОИЗВ}(B3:D3;B11:D11)$$

$$E12 = \text{СУММПРОИЗВ}(B3:D3;B12:D12)$$

Экранная форма готова для решения задачи линейного программирования.

В качестве начального приближения значений искомых переменных примем нулевые значения, для чего введем в ячейки B3:D3 нули.

Для решения задачи линейного программирования средствами MS Excel в меню СЕРВИС нужно выбрать команду ПОИСК РЕШЕНИЯ.

Примечание. При первоначальном обращении к инструменту поиска решения в главном меню СЕРВИС можно не обнаружить операции ПОИСК РЕШЕНИЯ. Это означает, что компонент поиска решения в программе MS Excel не установлен. Для установки компонента необходимо выбрать в меню СЕРВИС команду НАДСТРОЙКИ и в открывшемся диалоговом окне установить галочку в строке ПОИСК РЕШЕНИЯ, рис.1.2.

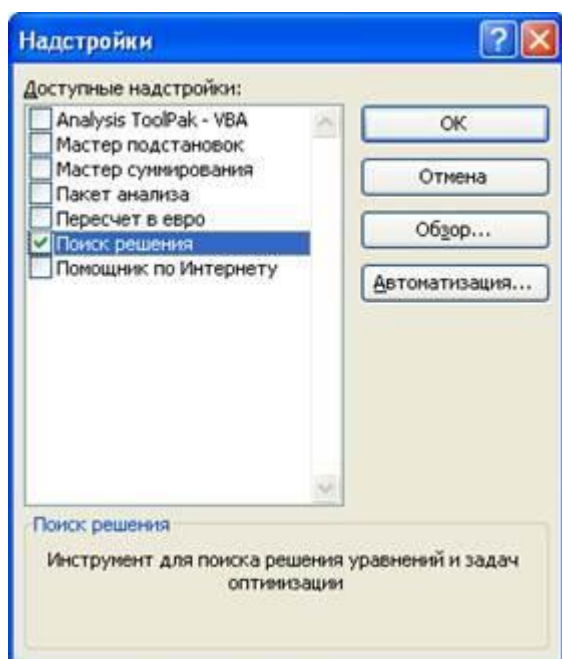


Рис.1.2. Диалоговое окно установки дополнительных компонент MS Excel

При установке дополнительных компонент программы MS Excel может потребоваться установочный диск пакета MS Office.

Параметры решения задачи устанавливаются в диалоговом окне «Поиск решения», представленном на рис. 1.3

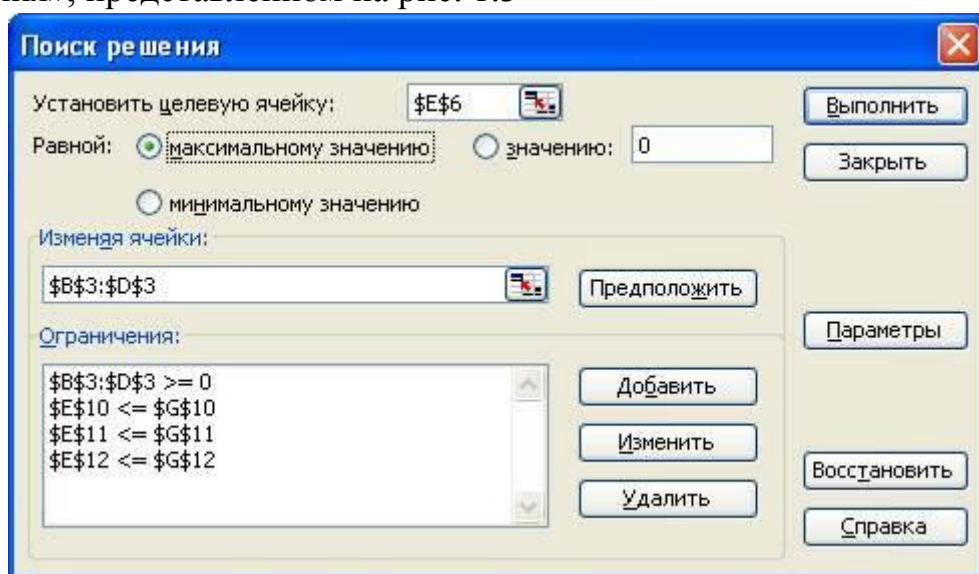


Рис.1.3. Диалоговое окно «Поиск решения» задачи 1

В открывшемся диалоговом окне необходимо выбрать целевую ячейку (в нашей задаче E6), установить переключатель характера решаемой задачи в требуемое положение (в нашем случае «максимальное значение»), в поле «Изменяя ячейки» указать ячейки, которые должны изменяться в процессе поиска решения задачи (в нашей задаче B3:D3). После этого в поле «Ограничения» нужно ввести ограничения и граничные условия решаемой задачи оптимизации.

Для того, чтобы добавить ограничение, нужно нажать кнопку ДОБАВИТЬ, и в отрывшемся диалоговом окне «Добавление ограничения» установить ссылку на требуемую ячейку, вид и значение ограничения (рис.1.4).

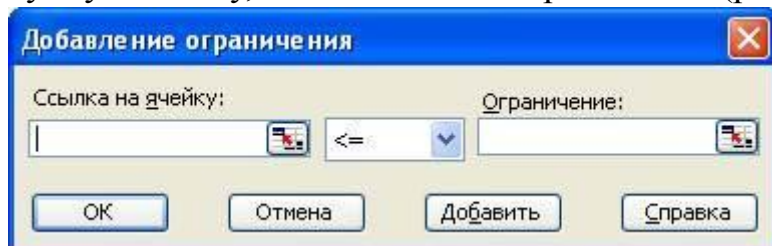


Рис.1.4. Диалоговое окно «Добавление ограничения»

В соответствии с заданными условиями и экранной формой решаемой нами задачи в нашем случае требуется ввести 4 ограничения:

- значения ячеек E10:E12 должны быть меньше или равны значениям ячеек G10:G12 соответственно (система ограничений 1.2);
- значения ячеек B3:D3 должны быть больше или равны нулю (граничные условия 1.3).

Для решения задач оптимизации определенного класса необходима установка конкретных параметров поиска решения. Для этого нужно нажать кнопку ПАРАМЕТРЫ и заполнить некоторые поля окна «Параметры поиска решения» (рис. 1.5).

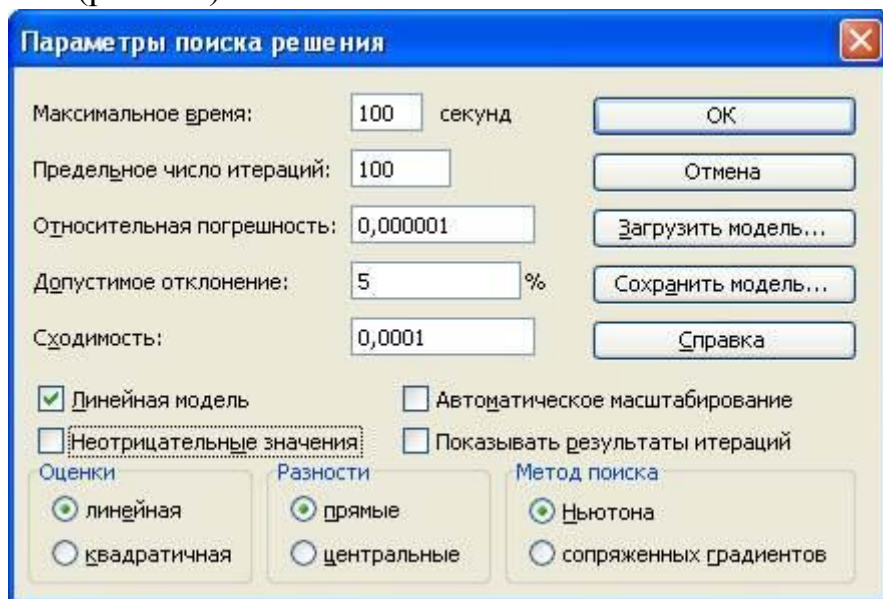


Рис.1.5. Диалоговое окно «Параметры поиска решения»

Параметр «Максимальное время» служит для назначения времени (в секундах), выделяемого на решение задачи. В поле можно ввести время, не превышающее 32 767 секунд (более 9 часов).

Параметр «Предельное число итераций» служит для управления временем решения задачи путем ограничения числа промежуточных вычислений. В поле можно ввести количество итераций, не превышающее 32 767.

Параметр «Относительная погрешность» служит для задания точности, с которой определяется соответствие ячейки целевому значению или приближение к указанным границам. Поле должно содержать число из интервала от 0 до 1.

Чем меньше количество десятичных знаков во введенном числе, тем ниже точность. Высокая точность увеличит время, которое требуется для того, чтобы сошелся процесс оптимизации.

Параметр «Допустимое отклонение» служит для задания допуска на отклонение от оптимального решения в целочисленных задачах. При указании большего допуска поиск решения заканчивается быстрее.

Параметр «Сходимость» применяется только при решении нелинейных задач.

Установка флажка «Линейная модель» обеспечивает ускорение поиска решения линейной задачи за счет применения симплекс-метода.

Установленные по умолчанию значения параметров подходят для большинства решаемых задач. Оставим их без изменения, отметив галочкой «Линейная модель», так как наша задача линейная.

Подтвердим установленные параметры нажатием кнопки ОК.

Запуск задачи на решение производится из окна «Поиск решения» путем нажатия кнопки ВЫПОЛНИТЬ.

На экране появляется окно «Результаты поиска решения», представленное на рис.1.6.

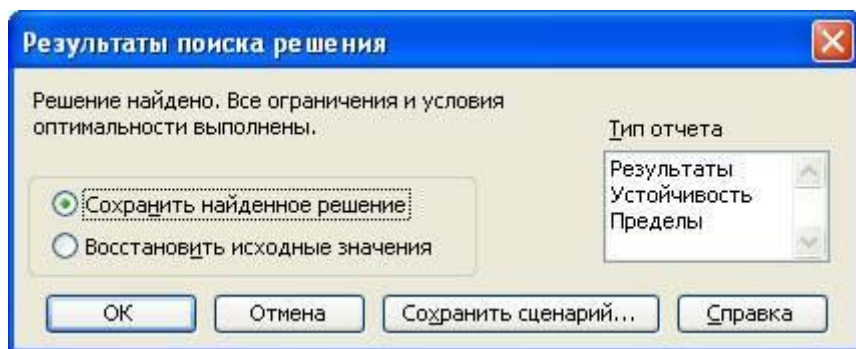


Рис.1.6. Диалоговое окно «Результаты поиска решения»

Примечание. Иногда при решении оптимизационных задач характер выводимых в диалоговом окне «Результаты поиска решения» сообщений может быть другим: «Поиск не может найти подходящего решения» или «Значения целевой ячейки не сходятся». Вывод таких сообщений не всегда свидетельствуют о характере оптимального решения задачи, а чаще о том, что при вводе условий задачи в Excel были допущены ошибки, не позволяющие Excel найти оптимальное решение, которое в действительности существует.

Если решение оптимизационной задачи найдено, мы можем сохранить его в ячейках экранной формы и просмотреть три типа отчетов «Результаты», «Устойчивость», «Пределы», которые предлагает Excel для анализа полученного решения. Нажмем в диалоговом окне «Результаты поиска решения» кнопку ОК и сохраним результаты решения в экранной форме.

Экранная форма с результатами решения задачи представлена на рис.1.7.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Переменные						
2	Вид	Табурет	Стул	Стол				
3	Значение	0	25	2,5				
4	Нижн. граница	>=0	>=0	>=0				
5	Верх. граница				Целевая функция	Тип		
6	Коефф. ЦФ	25	70	120	2050	max		
7								
8		Ограничения						
9	Вид				Левая часть	Знак	Пр. часть	
10	Ткань	1	3	2	80	<=	80	
11	Доски	2	4	8	120	<=	120	
12	Фурнитура	1	2	4	60	<=	60	
13								
14								

Рис. 1.7. Экранная форма задачи 1 с результатом решения

Из результатов решения задачи, представленных на рис.1.7, следует, что для получения максимальной прибыли в планируемом производственном периоде а размере 2050 у.е. мы должны произвести 25 стульев и 2,5 стола. При этом запасы всех наших ресурсов (ткани, досок и фурнитуры) будут израсходованы полностью без остатка.

С практической точки зрения полученное решение не имеет смысла, так как производство 0,5 стола если теоретически и возможно, то получение прибыли от его реализации крайне затруднительно.

С математической точки зрения при решении задачи мы допустили ошибку, выполнив решение без учета того, что наша задача относится к классу задач целочисленного программирования – переменные: табуретки, столы и стулья могут быть только целыми числами. Для исправления ошибки выберем в меню СЕРВИС команду ПОИСК РЕШЕНИЯ и в поле «Ограничения» добавим еще одно ограничение – ячейки B3:D3 должны быть целыми числами (рис.1.8).

Рис.1.8. Диалоговое окно «Поиск решения» целочисленной задачи 1

Экранная форма с результатами решения задачи линейного целочисленного программирования представлена на рис.1.9.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Переменные						
2	Вид	Табурет	Стул	Стол				
3	Значение	0	24	3				
4	Нижн. граница	>=0	>=0	>=0				
5	Верх. граница				Целевая функция	Тип		
6	Коефф. ЦФ	25	70	120	2040	max		
7								
8		Ограничения						
9	Вид				Левая часть	Знак	Прав. часть	
10	Ткань	1	3	2	78	<=	80	
11	Доски	2	4	8	120	<=	120	
12	Фурнитура	1	2	4	60	<=	60	
13								
14								

Готово

Рис. 1.9. Экранная форма задачи 1 с результатом решения

Выберем в диалоговом окне «Результаты поиска решения» (рис.1.6) тип отчета «Результаты» и нажмем кнопку ОК.

MS Excel автоматически создаст в рабочей книге новый лист «Отчет по результатам 1», представленный на рис. 1.10.

1	Microsoft Excel 11.0 Отчет по результатам					
2	Рабочий лист: [Пример1.xls]Задача 1					
3	Отчет создан: 04.03.2007 14:52:46					
4						
5						
6	Целевая ячейка (Максимум)					
7	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат		
8	\$E\$6	Коефф. ЦФ Целевая функция	0	2040		
9						
10						
11	Изменяемые ячейки					
12	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат		
13	\$B\$3	Значение Табурет	0	0		
14	\$C\$3	Значение Стул	0	24		
15	\$D\$3	Значение Стол	0	3		
16						
17						
18	Ограничения					
19	Ячейка	Имя	Значение	Формула	Статус	Разница
20	\$E\$10	Ткань Левая часть	78	\$E\$10<=\$G\$10	не связан.	2
21	\$E\$11	Доски Левая часть	120	\$E\$11<=\$G\$11	связанное	0
22	\$E\$12	Фурнитура Левая часть	60	\$E\$12<=\$G\$12	связанное	0
23	\$B\$3	Значение Табурет	0	\$B\$3>=0	связанное	0
24	\$C\$3	Значение Стул	24	\$C\$3>=0	не связан.	24
25	\$D\$3	Значение Стол	3	\$D\$3>=0	не связан.	3
26	\$B\$3	Значение Табурет	0	\$B\$3=целое	связанное	0
27	\$C\$3	Значение Стул	24	\$C\$3=целое	связанное	0
28	\$D\$3	Значение Стол	3	\$D\$3=целое	связанное	0

Готово

NUM

Рис.1.10 Отчет по результатам решения задачи

Отчет состоит из трех таблиц.

В первой таблице указана ячейка целевой функции, ее исходное (начальное) значение и полученный оптимальный результат – 2040 у.е.

Во второй таблице приведены номера ячеек, наименование, исходное и полученные в результате решения задачи значения переменных: табуретов, стульев и столов. Из таблицы видно, что для получения максимальной прибыли мы должны произвести 24 стула и 3 стола. Изготавливать табуретки в данной постановке задачи экономически не целесообразно.

В третьей таблице представлены данные по ограничениям решаемой задачи. Из таблицы видно, что при планируемом оптимальном объеме производства доски и фурнитура будут израсходованы полностью, а ткани останется 2 у.е.

Решение задачи математического программирования с помощью MathCad

Для решения задачи в MathCad можно выполнить следующие действия:

1. Определить начальное приближение неизвестных.
2. Задать функцию цели, в данном случае - $L(x_1, x_2, x_3)$
3. Начать решающий блок служебным словом Given.
4. Внутри решающего блока ввести ограничения, учитывая условия положительности всех x_i
5. Завершить решающий блок обращением к функции Minimize (Maximize).

В отличие от MS Excel, Mathcad не позволяет задавать целочисленность переменных.

Решение приведенной задачи выглядит следующим образом:

$$x1 := 1$$

$$x2 := 1$$

$$x3 := 1$$

$$L(x1, x2, x3) := 25 \cdot x1 + 70 \cdot x2 + 120 \cdot x3$$

Given

$$x1 + 3 \cdot x2 + 2 \cdot x3 \leq 80$$

$$2 \cdot x1 + 4 \cdot x2 + 8 \cdot x3 \leq 120$$

$$x1 + 2 \cdot x2 + 4 \cdot x3 \leq 60$$

$$x1 \geq 0$$

$$x2 \geq 0$$

$$x3 \geq 0$$

$$v := \text{maximize}(L, x1, x2, x3)$$

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ 25 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

2 Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1.

Для изготовления трёх видов изделий P_1 , P_2 и P_3 используют три вида материалов: S_1 , S_2 , S_3 . Запасы материалов, технологические нормы расхода материалов на каждое изделие и цена единицы изделия приведены в таблице 1. Составить план выпуска изделий, обеспечивающих их максимальный выпуск по стоимости.

Таблица 1

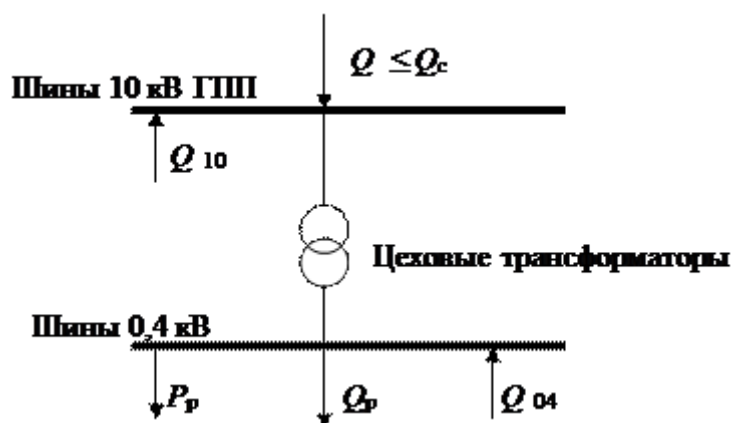
Вид материала	Норма расхода материала на одно изделие, кг			Запас материала, кг
	P_1	P_2	P_3	
S_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	b_1
S_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	b_2
S_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	b_3
Цена одного изделия (у.е.)	C_1	C_2	C_3	max

Таблица 2 – Варианты заданий

№ варианта	Задание
1	$a_{11}=1, a_{12}=2, a_{13}=1, a_{21}=2, a_{22}=1, a_{23}=3, a_{31}=4, a_{32}=2, a_{33}=1; b_1=420, b_2=600, b_3=900; c_1=3, c_2=3, c_3=4$
2	$a_{11}=3, a_{12}=6, a_{13}=4, a_{21}=2, a_{22}=1, a_{23}=2, a_{31}=2, a_{32}=3, a_{33}=1; b_1=180, b_2=50, b_3=40; c_1=6, c_2=5, c_3=5$
3	$a_{11}=16, a_{12}=18, a_{13}=9, a_{21}=7, a_{22}=7, a_{23}=2, a_{31}=9, a_{32}=2, a_{33}=3; b_1=520, b_2=140, b_3=810; c_1=8, c_2=6, c_3=4$
4	$a_{11}=4, a_{12}=8, a_{13}=2, a_{21}=3, a_{22}=8, a_{23}=4, a_{31}=12, a_{32}=4, a_{33}=6; b_1=116, b_2=240, b_3=432; c_1=8, c_2=6, c_3=6$
5	$a_{11}=4, a_{12}=2, a_{13}=6, a_{21}=2, a_{22}=4, a_{23}=3, a_{31}=6, a_{32}=8, a_{33}=0; b_1=120, b_2=160, b_3=240; c_1=2, c_2=3, c_3=2$
6	$a_{11}=8, a_{12}=10, a_{13}=20, a_{21}=4, a_{22}=13, a_{23}=8, a_{31}=2, a_{32}=18, a_{33}=12; b_1=800, b_2=520, b_3=940; c_1=3, c_2=6, c_3=7$
7	$a_{11}=3, a_{12}=3, a_{13}=9, a_{21}=10, a_{22}=9, a_{23}=15, a_{31}=5, a_{32}=5, a_{33}=1; b_1=810, b_2=900, b_3=250; c_1=7, c_2=7, c_3=6$
8	$a_{11}=17, a_{12}=5, a_{13}=5, a_{21}=8, a_{22}=6, a_{23}=6, a_{31}=4, a_{32}=2, a_{33}=4; b_1=850, b_2=1120, b_3=1060; c_1=8, c_2=7, c_3=4$
9	$a_{11}=2, a_{12}=1, a_{13}=6, a_{21}=3, a_{22}=3, a_{23}=9, a_{31}=2, a_{32}=1, a_{33}=2; b_1=240, b_2=540, b_3=120; c_1=14, c_2=6, c_3=22$
10	$a_{11}=2, a_{12}=3, a_{13}=6, a_{21}=6, a_{22}=8, a_{23}=2, a_{31}=3, a_{32}=4, a_{33}=2; b_1=450, b_2=400, b_3=350; c_1=3, c_2=5, c_3=4$
11	$a_{11}=1, a_{12}=1, a_{13}=1, a_{21}=2, a_{22}=1, a_{23}=3, a_{31}=4, a_{32}=2, a_{33}=3; b_1=160, b_2=200, b_3=240; c_1=4, c_2=3, c_3=5$
12	$a_{11}=2, a_{12}=3, a_{13}=6, a_{21}=4, a_{22}=2, a_{23}=4, a_{31}=4, a_{32}=6, a_{33}=8; b_1=240, b_2=200, b_3=160; c_1=4, c_2=5, c_3=4$
13	$a_{11}=9, a_{12}=9, a_{13}=2, a_{21}=4, a_{22}=3, a_{23}=2, a_{31}=1, a_{32}=2, a_{33}=4; b_1=180, b_2=120, b_3=220; c_1=7, c_2=8, c_3=6$
14	$a_{11}=18, a_{12}=9, a_{13}=6, a_{21}=4, a_{22}=2, a_{23}=4, a_{31}=3, a_{32}=3, a_{33}=1; b_1=540, b_2=340, b_3=120; c_1=3, c_2=4, c_3=3$
15	$a_{11}=16, a_{12}=18, a_{13}=9, a_{21}=7, a_{22}=7, a_{23}=2, a_{31}=9, a_{32}=2, a_{33}=3; b_1=520, b_2=140, b_3=810; c_1=8, c_2=6, c_3=4$

Задача 2.

От шин 10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия осуществляется электроснабжение цехов с суммарными расчетными нагрузками P_p и Q_p . Определить оптимальное количество цеховых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ с заданными номинальной мощностью $S_{тр}$ и коэффициентом загрузки k_z при условии, что со стороны питания потребляемая реактивная мощность не должна превышать значения Q_p . Устройства для компенсации реактивной мощности могут быть установлены как на шинах 10 кВ ГПП Q_{10} , так и на шинах 0,4 кВ цеховых трансформаторов Q_{04} .



Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 3. Затраты на единицу мощности трансформаторов и компенсирующих устройств обозначены через Z .

Необходимо составить математическую модель задачи, создать экранную форму и решить задачу в программах MS Excel и MathCad.

Таблица 3 - Исходные данные

№ вар	P_p , МВА	Q_p , МВар	k_3	$S_{тр}$, кВА	$Z_{тр}$, у.е./кВА	Z_{04} , у.е./кВар	Z_{10} , у.е./кВар
1	20	18	0,7	1000	9	10	4
2	25	20	0,75	1600	10	9	4,5
3	30	25	0,8	2500	9	8	4
4	33	29	0,85	1000	10	8,5	5
5	35	30	0,9	1600	9	10	5
6	28	24	0,75	2500	11	9	4,5
7	33	25	0,8	1000	10	8	3,8
8	30	28	0,7	1600	12	9	5
9	32	27	0,75	2500	11	10	4
10	26	22	0,8	630	12	9	3,8
11	28	25	0,7	1000	10	10	5
12	24	20	0,75	630	10	9	4
13	30	25	0,8	1600	9	8	3,5
14	25	20	0,7	630	10	9	5
15	23	19	0,8	1000	9	9	5

Методические указания к решению задачи 2.

По заданным расчетным активной P_p и реактивной Q_p нагрузкам определяется полная расчетная нагрузка

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (M1)$$

По величине S_p и заданному коэффициенту загрузки k_3 определяется максимальное количество цеховых трансформаторов с заданной номинальной мощностью $S_{тр}$

$$N_{\max} = \frac{S_p}{S_{\text{тр}} \cdot k_2} \quad (\text{M2})$$

При полной компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ ($Q_p = Q_{04}$) количество цеховых трансформаторов будет минимальным

$$N_{\min} = \frac{P_p}{S_{\text{тр}} \cdot k_1} \quad (\text{M3})$$

Значения $N_{\max}$ и $N_{\min}$ округляются до ближайших больших целых чисел.

Оптимальное количество цеховых трансформаторов N , подлежащее определению, будет лежать в пределах $N_{\max} \geq N \geq N_{\min}$.

Величина мощности компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ, позволяющая сократить количество трансформаторов на единицу составит

$$Q_{04}^1 = \frac{Q_p}{N_{\max} - N_{\min}} \quad (\text{M4})$$

Для определения оптимального количества трансформаторов необходимо найти минимум целевой функции

$$Z = Z_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot N + Z_{04} \cdot Q_{04} + Z_{10} \cdot Q_{10} \quad (\text{M5})$$

представляющей собой суммарные затраты на цеховые трансформаторы и компенсирующие устройства на 0,4 и 10 кВ.

Минимум целевой функции (M5) ищется при следующих ограничениях:

1. Суммарная величина мощности компенсирующих устройств на шинах 0,4 и 10 кВ должна быть равна расчетной реактивной нагрузке (перекомпенсация не допускается)

$$Q_{04} + Q_{10} = Q_p \quad (\text{M6})$$

2. Искомое количество трансформаторов, уменьшаемое за счет установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ, определится условием

$$N \geq N_{\max} - \frac{Q_{04}}{Q_{04}^1} \quad (\text{M7})$$

Решение задачи должно выполняться при граничных условиях

$$N \geq 0, Q_{04} \geq 0, Q_{10} \geq 0. \quad (\text{M8})$$

Задача приведена к формализованному виду для решения в MS Excel и Mathcad. Все предварительные расчеты можно выполнить в указанных программах.

3. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать для каждой задачи:

1. Математическую модель задачи и результаты промежуточных расчетов
2. Скриншот экранной формы в MS Excel
3. Результаты расчетов и отчет по устойчивости в среде MS Excel
4. Скриншот решения и результаты решения в среде Mathcad
5. Краткий анализ решения

6. Выводы

4. Контрольные вопросы

1. Каковы основные этапы решения задач линейного программирования в MS Excel
2. Каков вид и способы задания формул для целевой ячейки и ячеек левых частей ограничений
3. Каким образом в MS Excel задается направление оптимизации целевой функции
4. Какие ячейки экранной формы выполняют иллюстративную функцию, а какие необходимы для решения задачи
5. Поясните общий порядок работы с формой «Поиск решения»
6. Назовите порядок решения задачи линейного программирования в Mathcad
7. Как должны измениться затраты на единицу мощности трансформаторов и компенсирующих устройств, чтобы в задаче 2 получилось другое решение?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2. РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

1 Теоретические сведения

Рассмотрим решение транспортной задачи на примере: Крупная оптовая фирма занимается поставкой некоего товара в магазины города. Товар поставляется из трех складов, месячные запасы которых составляют 1500, 1300 и 1600 единиц товара соответственно. Товар нужно развести по трем магазинам, месячные потребности которых равны 2100, 1600 и 1000 единиц товара соответственно. Транспортные расходы по доставке единицы товара из соответствующего склада в соответствующий магазин приведены в табл.1. Необходимо определить оптимальные по транспортным расходам способы доставки товара со складов в магазины.

Таблица 1 - Транспортные расходы по доставке товара, руб/шт.

Магазины Склады	Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3
Склад 1	80	200	70
Склад 2	100	105	120
Склад 3	120	70	90

Составим в MS Excel транспортную матрицу для решения задачи, рис. 1

	A	B	C	D	E
1	Склады	Магазины			Запасы товара, шт
2		Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	
3		Стоимость перевозки товара, руб/шт.			
4	Склад 1	80	200	70	1500
5	Склад 2	100	105	120	1300
6	Склад 3	120	70	90	1600
7	Потребность в товаре, шт.	2100	1600	1000	

Рис. 1 Транспортная матрица задачи в MS Excel

Проверяем баланс ТЗ.

Суммарные запасы составляют $\sum_{i=1}^m a_i = 4400$ шт. товара, суммарная

потребность $\sum_{j=1}^n b_j = 4700$ шт.

Транспортная задача не сбалансирована – спрос превышает предложение. Приведем ТЗ к сбалансированной, добавив еще один фиктивный склад, стоимость перевозки товара в который будет равна нулю.

$$a_{\Phi} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i = 4700$$

Определим количество товара на фиктивном складе
– $4400 = 300$ шт. и внесем изменения в лист книги MS Excel.

	A	B	C	D	E
1	Склады	Магазины			Запасы товара, шт
2		Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	
3		Стоимость перевозки товара, руб/шт.			
4	Склад 1	80	200	70	1500
5	Склад 2	100	105	120	1300
6	Склад 3	120	70	90	1600
7	Фиктивн. Склад	0	0	0	300
8	Потребность в товаре, шт.	2100	1600	1000	

Рис. 2 Сбалансированная транспортная матрица

Сбалансированность транспортной матрицы легко проверить средствами Excel, последовательно вычислив суммы ячеек B8:D8 и E4:E7. Суммы должны быть одинаковыми.

Создадим экранную форму решения ТЗ, для чего выделим на листе книги все ячейки транспортной матрицы, создадим ее копию и внесем в копию необходимые исправления. За начальные условия перевозимого количества товара примем нули, рис. 3.

	A	B	C	D	E
1	Склады	Магазины			Запасы товара, шт
2		Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	
3		Стоимость перевозки товара, руб/шт.			
4		Склад 1	80	200	
5	Склад 2	100	105	120	1300
6	Склад 3	120	70	90	1600
7	Фиктивн. Склад	0	0	0	300
8	Потребность в товаре, шт.	2100	1600	1000	
9					
10					
11	Склады	Магазины			Запасы товара, шт
12		Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	
13		Количество перевозимого товара, шт.			
14		Склад 1	0	0	
15	Склад 2	0	0	0	
16	Склад 3	0	0	0	
17	Фиктивн. Склад	0	0	0	
18	Потребность в товаре, шт.				
19	Стоимость перевозок, руб				

Рис.3 Транспортная матрица и экранная форма решения ТЗ

Заполним полученную экранную форму необходимыми формулами. Для этого удобно воспользоваться встроенными в Excel математическими формулами СУММ() и СУММПРОИЗВ(), рис. 4.

	A	B	C	D	E
1			Магазины		
2	Склады	Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	Запасы товара, шт
3			Стоимость перевозки товара, руб/шт.		
4	Склад 1	80	200	70	1500
5	Склад 2	100	105	120	1300
6	Склад 3	120	70	90	1600
7	Фиктивн. Склад	0	0	0	300
8	Потребность в товаре, шт.	2100	1600	1000	
9					
10					
11			Магазины		
12	Склады	Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	Запасы товара, шт
13			Количество перевозимого товара, шт.		
14	Склад 1	0	0	0	=СУММ(B14:D14)
15	Склад 2	0	0	0	=СУММ(B15:D15)
16	Склад 3	0	0	0	=СУММ(B16:D16)
17	Фиктивн. Склад	0	0	0	=СУММ(B17:D17)
18	Потребность в товаре, шт.	=СУММ(B14:B17)	=СУММ(C14:C17)	=СУММ(D14:D17)	
19	Стоимость перевозок, руб	=СУММПРОИЗВ(B4:B7;B14:B17)	=СУММПРОИЗВ(C4:C7;C14:C17)	=СУММПРОИЗВ(D4:D7;D14:D17)	=СУММ(B19:D19)
20					

Рис. 4 Экранная форма решения ТЗ с введенными формулами

Ячейка E19 содержит формулу для вычисления значения целевой функции – суммарной стоимости всех транспортных перевозок.

Выберем в меню СЕРВИС команду ПОИСК РЕШЕНИЯ и установим в диалоговом окне формы «Поиск решения» целевую ячейку, требуемый вид зависимости целевой функции, диапазон ячеек переменных и ограничения в соответствии с условиями решаемой ТЗ аналогично примеру Задачи 1, п.1.2.1, рис. 5.

Рис.5 Окно форма «Поиск решения» ТЗ

Нажмем кнопку «Параметры» и в открывшемся диалоговом окне формы «Параметры поиска решения» отметим галочкой «Линейная модель», так как решаемая нами ТЗ является задачей линейного программирования.

После выполнения процедуры поиска решения на рабочем листе книги получим решение ТЗ, рис. 6.

	A	B	C	D	E
11	Склады	Магазины			Запасы товара, шт
12		Магазин 1	Магазин 2	Магазин 3	
13		Количество перевозимого товара, шт.			
14	Склад 1	500	0	1000	1500
15	Склад 2	1300	0	0	1300
16	Склад 3	0	1600	0	1600
17	Фиктивн. Склад	300	0	0	300
18	Потребность в товаре, шт.	2100	1600	1000	
19	Стоимость перевозок, руб	170000	112000	70000	352000

Рис. 6 Результат решения ТЗ на листе книги MS Excel

Решение в пакете Mathcad

В пакете Mathcad решение наиболее удобно в матричной форме.

$\text{+ } \text{ORIGIN} := 1$

$n := 3$

$m := 4$

$j := 1..n$

$i := 1..m$

$t_j := 1$

$l_i := 1$

$$a := \begin{pmatrix} 1500 \\ 1300 \\ 1600 \\ 300 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 2100 \\ 1600 \\ 1000 \end{pmatrix}$$

$$c := \begin{pmatrix} 80 & 200 & 70 \\ 100 & 105 & 120 \\ 120 & 70 & 90 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$x_{i,j} := 0$$

$$f(x) := \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{i,j} \cdot x_{i,j})$$

Given

$$x \cdot t = a$$

$$x^T \cdot 1 = b$$

$$x \geq 0$$

$$\text{Minimize}(f, x) = \begin{pmatrix} 500 & 0 & 1 \times 10^3 \\ 1.3 \times 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1.6 \times 10^3 & 0 \\ 300 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2. Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1.

Производится проектирование схемы электроснабжения сетевого района нефтедобывающей компании. Определены требуемая мощность производственных объектов и располагаемый резерв мощности близлежащих подстанций. Известны также расстояния от производственных объектов до каждой подстанции (табл.2).

Требуется определить оптимальную с точки зрения минимума приведенных затрат схему электроснабжения сетевого района.

Таблица 2 - Исходные данные на проектирование

№ вар	Резерв мощности, МВт		Мощность производственных объектов, МВт					
			Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5	Объект 6
			25	40	30	10	20	15
			Расстояние от объекта до подстанции, км					
1	П/ст 1	19	50	15	30	18	42	16
	П/ст 2	40	80	25	12	21	30	20
	П/ст 3	42	40	30	16	25	25	32
2	П/ст 1	20	50	25	25	10	15	15
	П/ст 2	20	50	25	20	25	20	25
	П/ст 3	10	60	25	15	30	35	20
3	П/ст 1	15	50	10	20	25	25	20

	П/ст 2	20	40	30	20	20	25	10
	П/ст 3	15	80	30	25	25	20	15
	П/ст 1	20	60	10	10	10	20	20
4	П/ст 2	30	60	30	30	20	15	15
	П/ст 3	20	40	35	15	35	30	25
	П/ст 1	30	80	30	20	10	10	20
5	П/ст 2	15	60	15	15	35	35	35
	П/ст 3	10	40	20	10	30	30	20
	П/ст 1	30	80	30	20	10	10	20

Методические указания

Приведенные годовые затраты на сооружение и эксплуатацию электрической сети определяются по выражению:

$$Z_{\text{пр}} = p_n \cdot K + C_3, \text{ руб} \quad (\text{M1})$$

Где p_n – нормативный коэффициент капитальных вложений; K – капитальные вложения; C_3 – стоимость потерь электроэнергии в проводах ЛЭП.

Величина капитальных вложений на сооружение ЛЭП зависит от ее сечения и длины:

$$K = (a + b \cdot S) \cdot l \quad (\text{M2})$$

Где a, b – расчетные коэффициенты; S, l – сечение и длина ЛЭП соответственно.

Стоимость потерь электрической энергии в проводах ЛЭП определяется законом Джоуля-Ленца:

$$C_3 = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \text{Ц} \cdot t \quad (\text{M3})$$

Где I, R – ток в фазе линии и ее активное сопротивление; Ц – отпускная цена кВт·ч электрической энергии; t – число часов работы линии в год.

Активное сопротивление линии можно определить по выражению:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\text{M4})$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода.

Сечения проводников в сетях высокого напряжения определяются по экономической плотности тока:

$$S = \frac{I}{J_{\text{ЭК}}} \quad (\text{M5})$$

Преобразуя выражение (M1) с учетом (M2)-(M5), получим:

$$Z_{\text{пр}} = a \cdot l + \left(\frac{b}{J_{\text{ЭК}}} + 3 \cdot J_{\text{ЭК}} \cdot \rho \cdot \text{Ц} \cdot t \right) \cdot I \cdot l \quad (\text{M6})$$

Для n участков электрической сети суммарные приведенные затраты определяются выражением:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_1 \cdot l_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_2 \cdot l_{ij} \cdot I_{ij} \quad (\text{M7})$$

Где I_{ij} – ток, потребляемый j -м потребителем с i -й подстанции; l_{ij} – расстояние от j -го потребителя до i -й подстанции; k_1, k_2 – постоянные коэффициенты.

Для достижения минимальных приведенных затрат достаточно минимизировать второй член уравнения (M7), при этом значение коэффициента k_2 можно не учитывать. С учетом того, что ток в линии прямо пропорционален передаваемой по ней мощности, получим выражение целевой функции решаемой задачи:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{ij} \cdot P_{ij} \rightarrow \min \quad (\text{M8})$$

Требуется найти минимум целевой функции при следующих ограничениях

1. Суммарная мощность, потребляемая всеми потребителями с одной подстанции должна быть равна располагаемой мощности подстанции

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = P_i, i=1, 2 \dots m \quad (\text{M9})$$

2. Суммарная мощность, передаваемая всеми подстанциями одному потребителю должна быть равна требуемой мощности этого объекта

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = P_j, j=1, 2 \dots n \quad (\text{M10})$$

3. Величина мощности, передаваемой по линии должна быть положительной

$$P_{ij} \geq 0 \quad (\text{M11})$$

Выражения (M8)-(M11) являются математической моделью решаемой задачи.

Перед решением задачи необходимо проверить баланс располагаемой и требуемой мощности и при необходимости привести задачу к сбалансированной.

Задача 2.

В проектируемой системе электроснабжения имеется 2 узла с источниками питания и 3 узла потребителей. Мощности источников составляют A_1 и A_2 , а мощности потребителей – B_1 , B_2 и B_3 е.м. Взаимное расположение узлов и возможные к сооружению линии электрической сети показаны на рис.М1.

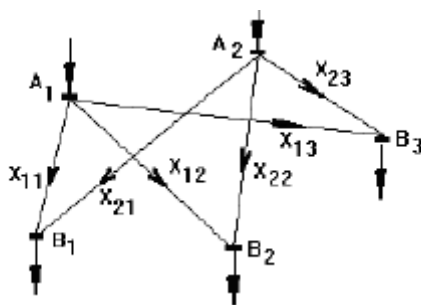


Рис.М1. Взаимное расположение узлов и возможные к сооружению линии электрической сети

Удельные затраты на передачу мощностей по линиям между узлами источников и потребителей составляют $z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{21}, z_{22}, z_{23}$ у.е/е.м.

Составить математическую модель и решить задачу средствами Excel и Mathcad. Исходные данные для решения задачи даны в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 2.

Вариант	A1	A2	B1	B2	B3	Z11	Z12	Z13	Z21	Z22	Z23
1	50	30	20	25	35	1,2	1,8	1,5	1,6	2,3	2,1
2	45	55	35	50	15	2,3	2,7	3,1	3,5	2,7	2,9
3	60	40	45	30	25	1,6	2,1	1,8	2,6	2,1	2,4
4	35	45	40	25	15	1,7	2,6	2,3	2,1	1,9	2,4
5	45	40	20	35	30	2,2	3,1	2,7	2,4	2,6	2,1

Задача 3.

При проектировании систем электроснабжения часто сталкиваются с задачей ограничения пропускной способности линии. Пусть для линии x_{ij} между источником i и потребителем j передаваемая мощность ограничена величиной S . Ограничение пропускной способности учитывается следующим образом:

- Столбец j транспортной матрицы, отвечающий потребителю с мощностью B_j разбивается на два столбца (два условных потребителя) с мощностями $B_{1j}=B_j-S, B_{2j}=S$
- Для переменной между источником i и потребителем B_{1j} осуществляется блокировка передачи мощности, т.е. для этой переменной принимается очень большой показатель удельной стоимости.

Рассмотреть задачу 2 для случая, когда мощность, передаваемая по линии x_{13} ограничена величиной 20 е.м.

Задача 4.

В реальных схемах электрических сетей часто оказывается целесообразнее передача мощности через промежуточные (транзитные) узлы. Такими узлами могут быть как узлы источников питания, так и узлы потребителей.

На рисунке мощность к потребителю В3 передается через транзитный узел потребителя В2. Величина транзитной мощности, передаваемой через узел В2, равна мощности потребителя В3 ($x_{22}=B_3$).

Транзитная мощность обозначена переменной с двумя одинаковыми индексами, соответствующими номеру узла, через который она протекает. Транзитным узлом может быть и узел источника питания.

Для решения транспортной задачи с транзитом мощности составляется транспортная матрица. Отличия от решения классической транспортной задачи следующие:

- Всем n узлам источников и m узлам потребителей присваивается сквозная нумерация $1, 2, \dots, (n+m)$
- Считается, что через любой i -й узел может передаваться транзитная мощность x_{ii}
- Удельные стоимость передачи транзитной мощности $z_{ii}=0$
- Транспортная матрица является квадратной и имеет размерность $(n+m) \times (n+m)$
- Транзитные переменные x_{ii} входят в решение задачи (в транспортную матрицу) со знаком минус
- Целевая функция представляет собой сумму произведений удельных стоимостей на величины передаваемых мощностей от узла i к узлу j

$$Z = \sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} z_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad i \neq j.$$

Стоимость передачи мощности между узлами i и j не зависит от направления этой мощности, поэтому принимается $z_{ij}=z_{ji}$.

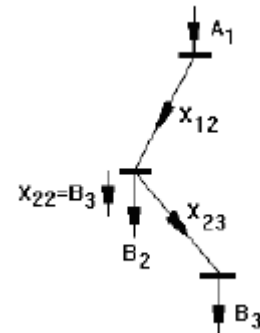
- Для любого j -го потребителя сумма мощностей, притекающих от всех других узлов, за вычетом транзитной мощности x_{jj} равна мощности этого потребителя

$$\sum_{i=1, i \neq j}^{n+m} x_{ij} - x_{jj} = B_j.$$

- Аналогично можно записать уравнение баланса мощности для любого i источника:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{n+m} x_{ij} - x_{ii} = A_i.$$

В проектируемой системе электроснабжения имеется 2 узла источников питания и 2 узла потребителей. Мощности источников и потребителей, а также



удельные затраты на передачу мощностей по линиям между узлами приведены в таблице 3. Требуется найти оптимальную схему электрической сети.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 4.

Вариант	A1	A2	B3	B4	Z12	Z13	Z14	Z23	Z24	Z34
1	100	50	90	60	10	5	2	4	3	2
2	110	55	75	90	8	10	5	8	5	3
3	80	100	70	110	12	6	4	3	3	2
4	100	60	65	95	10	6	3	3	2	2
5	80	60	50	90	9	11	3	5	2	2

3. Требования к отчету

Отчет по практической работе должен содержать для каждой задачи:

1. Математическую модель задачи и результаты промежуточных расчетов
2. Скриншот экранной формы в MS Excel
3. Результаты расчетов в среде MS Excel
4. Скриншот решения и результаты решения в среде Mathcad
5. Краткий анализ решения, получившуюся схему электроснабжения
6. Выводы

4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение транспортной задачи линейного программирования
2. Какие основные отличия между сбалансированной и несбалансированной транспортными задачами
3. Какие возможные области применения транспортных задач при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения
4. Особенности транспортной задачи с учетом транзита мощности
5. Назовите разновидности задач линейного программирования

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3. РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

1 Теоретические сведения

Пример 1. В существующей схеме электроснабжения требуется определить мощности компенсирующих устройств $Q_{к1}$ и $Q_{к2}$ в узлах 1 и 2 исходя из условия минимума суммарных затрат на установку этих устройств и покрытие потерь активной мощности в схеме.

Исходные данные:

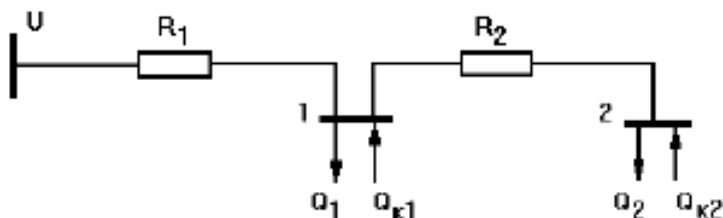
Напряжение схемы $U=110$ кВ;

Сопротивление линий $R_1=6$ Ом, $R_2=4$ Ом;

Реактивные нагрузки узлов $Q_1=600$ квар и $Q_2=800$ квар;

Удельные затраты на установку компенсирующих устройств $z_0=0,5$ у.е./квар;

Удельные затраты на покрытие потерь активной мощности $c_0=10$ у.е./кВт



Целевая функция, представляющая собой суммарные затраты на установку компенсирующих устройств и покрытие потерь активной мощности в схеме, имеет следующий вид:

$$Z = z_0(Q_{к1} + Q_{к2}) + a_1(Q_1 + Q_2 - Q_{к1} - Q_{к2})^2 + a_2(Q_2 - Q_{к2})^2 \rightarrow \min,$$

Где

$$a_1 = R_1 c_0 10^{-3} / U^2 = 0,0006;$$

$$a_2 = R_2 c_0 10^{-3} / U^2 = 0,0004.$$

Решение данной задачи в Excel:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Исходные данные	Q1	Q2	R1	R2	U	z	c
3		600	800	6	4	10	0,5	10
4								
5	$a1=R1*c*10^{-3}/U^{2=}$	$=D3*H3*0,001/(F3*F3)$						
6	$a2=R2*c*10^{-3}/U^{2=}$	$=E3*H3*0,001/(F3*F3)$						
7								
8								
9		Qk1	Qk2					
10	Переменные							
11	Целевая функция	$=G3*(B10+C10)+B5*СТЕПЕНЬ((B3+C3-B10-C10);2)+B6*СТЕПЕНЬ((C3-C10);2)$						
12								

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

☒ Сделайте переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения
 Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Результат решения:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	Исходные данные	Q1	Q2	R1	R2	U	z	c	
3		600	800	6	4	10	0,5	10	
4									
5	$a1=R1*c*10^{-3}/U^{2=}$	0,0006							
6	$a2=R2*c*10^{-3}/U^{3=}$	0,0004							
7									
8									
9		Qk1	Qk2						
10	Переменные	183,334	799,999						
11	Целевая функция	595,833333							
12									

Решение в Mathcad

ORIGIN := 1

U := 10

R1 := 6

R2 := 4

Q1 := 600

Q2 := 800

z0 := 0.5

c0 := 10

Qk1 := 0

Qk2 := 0

$$a1 := \frac{R1 \cdot c0 \cdot (10^{-3})}{U^2} \quad a2 := \frac{R2 \cdot c0 \cdot (10^{-3})}{U^2}$$

$$F(Qk1, Qk2) := z0 \cdot (Qk1 + Qk2) + a1 \cdot (Q1 + Q2 - Qk1 - Qk2)^2 + a2 \cdot (Q2 - Qk2)^2$$

Given

$$Qk1 \geq 0 \quad Qk2 \geq 0$$

$$v := \text{minimize}(F, Qk1, Qk2)$$

$$F(v_1, v_2) = 595.833$$

+

Решение задачи дискретного программирования

Пример 2. Составить математическую модель для определения в схеме электроснабжения оптимального узла установки компенсирующего устройства заданной мощности Q_k . Критерий оптимальности – минимум потерь активной мощности в схеме.

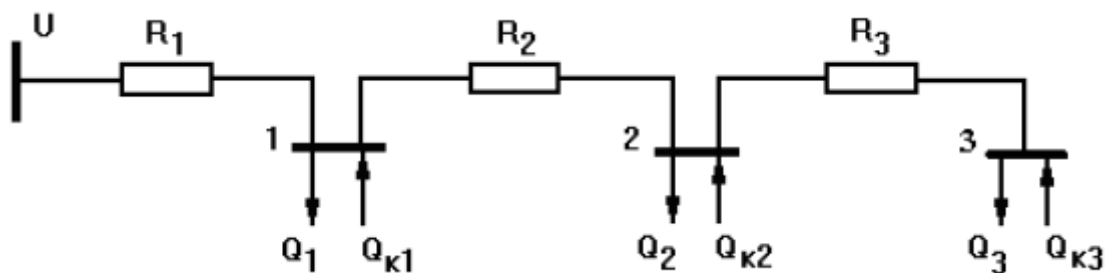
Исходные данные:

Напряжение схемы $U=10$ кВ;

Сопротивление линий $R_1=0,4$ Ом, $R_2=0,5$ Ом, $R_3=0,6$ Ом;

Реактивные нагрузки узлов $Q_1=600$ квар, $Q_2=500$ квар, $Q_3=400$ квар;

Мощность компенсирующего устройства $Q_k=1000$ квар.



В рассматриваемой схеме имеются 3 узла (1, 2 и 3), в каждом из которых можно установить компенсирующее устройство. Обозначим Q_{k1} , Q_{k2} и Q_{k3}

мощности компенсирующих устройств, размещаемых соответственно в узлах 1, 2 и 3. Это дискретные переменные, каждая из которых может принимать значения 0 или 1000 квар.

Каждой переменной Q_{k1} , Q_{k2} и Q_{k3} поставим в соответствие двоичную переменную $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.

Целевая функция, представляющая собой потери мощности в схеме, будет иметь следующий вид:

$$\Delta P = a_1(Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{k1}\delta_1 - Q_{k2}\delta_2 - Q_{k3}\delta_3)^2 + a_2(Q_2 + Q_3 - Q_{k2}\delta_2 - Q_{k3}\delta_3)^2 + a_3(Q_3 - Q_{k3}\delta_3)^2 \rightarrow \min,$$

Где $a_i = R_i / U^2$ ($i = 1, 2, 3$).

Выражение для потерь мощности предусматривает возможность установки компенсирующего устройства в каждом из 3 узлов. Однако в зависимости от величины двоичной переменной компенсирующее устройство в узле i должно быть установлено при $\delta_i=1$.

Поскольку компенсирующее устройство может быть установлено только в одном узле, сумма двоичных переменных должна быть равна 1.

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1,$$

δ_1, δ_2 и δ_3 – двоичные.

Величина дискретной переменной Q_{ki} будет зависеть от значения соответствующей двоичной переменной:

$$Q_{k1} = Q_k \delta_1,$$

$$Q_{k2} = Q_k \delta_2,$$

$$Q_{k3} = Q_k \delta_3.$$

Решение в системе Excel

[illegible]

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

☒ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения
 Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Результат решения:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Исходные данные	Q1	Q2	Q3	R1	R2	R3	U	Qk	
3		600	500	400	0,4	0,5	0,6	10	1000	
4										
5	$a1=R1/U^2=$	0,004								
6	$a2=R2/U^2=$	0,005								
7	$a3=R3/U^2=$	0,006								
8										
9		Qk1	Qk2	Qk3						
10	Переменные	0,000	1000,000	0,000						
11	Двоичные	0,000	1,000	0,000	1,000					
12										
13	Целевая функция	2010								
14										
15										

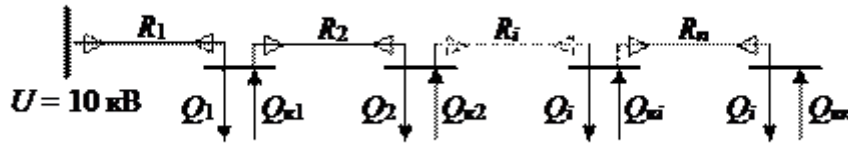
Для обеспечения минимальных потерь мощности компенсирующее устройство мощностью 1000 квар следует установить в узле 2.

2 Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1

Питание группы потребителей промышленного предприятия осуществляется от шин $U = 10$ кВ главной понизительной подстанции (ГПП) кабельными линиями по магистральной схеме.

Шины 10 кВ ГПП



Значения активных сопротивлений кабельных линий R_i , реактивные нагрузки потребителей Q_i и суммарная мощность компенсирующих устройств Q_k выбираются в соответствии с вариантом из таблицы.

Таблица 1 - Исходные данные

№ вар	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$Q_1, \text{ кВар}$	$Q_2, \text{ кВар}$	$Q_3, \text{ кВар}$	$Q_4, \text{ кВар}$	$Q_k, \text{ кВар}$
1	0,1	0,2	0,3	0,4	4000	3000	1000	2000	7500
2	0,15	0,1	0,3	0,25	1000	2000	3000	4000	7500
3	0,35	0,25	0,2	0,1	2500	3500	1000	2000	6000
4	0,4	0,3	0,25	0,2	1000	2000	2500	3500	6000
5	0,25	0,25	0,1	0,1	1500	3500	3500	1500	7500
6	0,1	0,1	0,25	0,25	2500	2000	2000	2500	6600
7	0,25	0,1	0,25	0,1	3000	1500	1500	3000	6600
8	0,15	0,25	0,15	0,25	1500	2500	2500	2500	6000
9	0,2	0,4	0,3	0,1	2500	2500	2500	2500	7500
10	0,4	0,3	0,2	0,1	1500	1500	3000	3000	6600
11	0,4	0,4	0,2	0,15	1000	2000	3000	4000	7500
12	0,25	0,15	0,1	0,4	2000	3000	2500	2500	7500

Требуется найти оптимальный вариант распределения компенсирующих устройств заданной суммарной мощности Q_k между узлами нагрузки по условию минимума потерь активной мощности в линиях.

Методические указания

Суммарные потери активной мощности в магистральной линии при передаче по ней реактивной мощности определяются выражением:

$$\Delta P = \frac{1}{U^2} \left[R_1 \cdot \left(\sum_1^n Q_i - \sum_1^n Q_{ki} \right)^2 + R_2 \cdot \left(\sum_2^n Q_i - \sum_2^n Q_{ki} \right)^2 + \dots + R_n \cdot (Q_n - Q_{kn})^2 \right], \text{ Вт} \quad (M1)$$

где Q_i , Q_{ki} — значения потребляемой и компенсирующей реактивной мощности в узле нагрузки соответственно, кВар; R_i — активное сопротивление

участка линии, Ом; U – номинальное напряжение, кВ, n – количество узлов нагрузки.

Выражение (M1) представляет собой целевую функцию решаемой задачи. Требуется найти минимум целевой функции при следующих ограничениях

1. Мощность устанавливаемых компенсирующих устройств должна быть положительной

$$Q_{ki} \geq 0, i = 1, 2 \dots n \quad (M2)$$

2. Суммарная мощность устанавливаемых компенсирующих устройств должна быть равна заданной Q_k

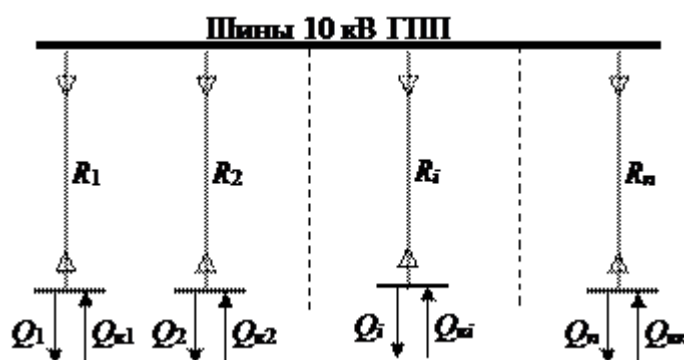
$$\sum_{i=1}^n Q_{ki} = Q_k \quad (M3)$$

Выражения (M1)-(M3) являются математической моделью решаемой задачи с непрерывными переменными.

Разработайте экранную форму математической модели задачи и найдите ее решение средствами MS Excel и Mathcad.

Задача 2

Питание цеховых трансформаторных подстанций промышленного предприятия осуществляется от шин $U = 10$ кВ главной понизительной подстанции (ГПП) кабельными линиями по радиальной схеме.



Значения активных сопротивлений кабельных линий R_i , реактивные нагрузки цехов Q_i и суммарная мощность компенсирующих устройств Q_k приведены в таблице 1 к Задаче 1.

Технические данные нерегулируемых конденсаторных установок, используемых на предприятии, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные нерегулируемых конденсаторных установок

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Шкала номинальных мощностей, кВар
УК-10-Q УЗ	10,5	300, 600, 900, 1200, 1500, 1800

Требуется найти оптимальный вариант распределения компенсирующих устройств заданной суммарной мощности Q_k между цеховыми подстанциями по условию минимума потерь активной мощности в линиях.

Методические указания

Потери активной мощности в линии при передаче по ней реактивной мощности определяются выражением:

$$\Delta P = \frac{Q^2 \cdot R}{U^2}, \text{ Вт} \quad (\text{M4})$$

Где Q – значение передаваемой по линии реактивной мощности, кВар; R – активное сопротивление линии, Ом; U – номинальное напряжение, кВ.

Суммарные потери активной мощности в радиальной схеме электроснабжения от реактивных нагрузок Q_i при установке у каждой нагрузки компенсирующего устройства мощностью Q_{ki} можно определить по выражению

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_{ki})^2 \cdot R_i}{U^2} \quad (\text{M5})$$

Где n – количество узлов нагрузки (цеховых трансформаторных подстанций).

Выражение (M5) является целевой функцией решаемой задачи. Требуется найти минимум целевой функции при следующих ограничениях

1. Мощность устанавливаемых компенсирующих устройств должна быть положительной

$$Q_{ki} \geq 0, i = 1, 2 \dots n \quad (\text{M6})$$

2. Суммарная мощность устанавливаемых компенсирующих устройств должна быть равна заданной Q_k

$$\sum_{i=1}^n Q_{ki} = Q_k \quad (\text{M7})$$

Выражения (M5)-(M7) являются математической моделью решаемой задачи с непрерывными переменными. Решение данной задачи позволяет определить теоретически возможный минимум потерь активной мощности в системе электроснабжения, достижение которого возможно только при использовании в каждом узле нагрузки регулируемых источников реактивной мощности, например синхронных компенсаторов. Однако такое решение требует значительных капитальных затрат, поэтому на практике для компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях обычно используют нерегулируемые статические конденсаторные батареи. В этом случае мощность компенсирующих устройств может изменяться только с дискретным шагом, величина которого зависит от типа и технических характеристик используемых конденсаторных установок.

Для конденсаторных батарей, технические характеристики которых приведены в табл.2, шаг дискретизации составляет 300 кВар.

Для нахождения практического минимума потерь активной мощности в системе электроснабжения требуется формализовать математическую модель, описываемую выражениями (M5)-(M7), к математической модели с дискретными переменными. В общем случае, способы формализации математических уравнений могут быть различными, выбор же конкретного варианта определяется исследователем самостоятельно.

3. Требования к отчету

Отчет по практической работе должен содержать для каждой задачи:

1. Математическую модель задачи и результаты промежуточных расчетов
2. Скриншот экранной формы в MS Excel
3. Результаты расчетов в среде MS Excel
4. Скриншот решения и результаты решения в среде Mathcad
5. Краткий анализ решения.
6. Выводы

4. Контрольные вопросы

1. В чем заключается различие решения задач линейного и нелинейного программирования в среде MS Excel
2. Каковы особенности математических моделей дискретной оптимизации
3. Каким образом в MS Excel задачи математического программирования приводятся к целочисленным

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПОЛАГАЕМОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Цель работы. Ознакомление с моделью располагаемой реактивной мощности гидрогенератора инструментальными средствами получения оценок параметров математических моделей по экспериментальным данным.

Задание

Получить математическую модель располагаемой мощности гидрогенератора в виде системы уравнений для допустимой области на диаграмме мощностей.

Краткие теоретические сведения

Техническая характеристика синхронного генератора

Генератор электрической станции является преобразователем механической энергии вращения вала турбины и ротора генератора в электрическую энергию.

Принцип работы синхронного генератора основан на законе электромагнитной индукции Фарадея, который в общем случае устанавливает связь между ЭДС и скоростью изменения магнитного потока. Генератор переменного тока имеет неподвижный статор с трехфазной обмоткой и вращающийся ротор, на котором находится обмотка возбуждения. Эта обмотка получает питание от источника постоянного тока и при вращении ротора, являющегося по сути дела электромагнитом, в неподвижных проводниках обмотки статора наводится ЭДС генератора.

Выдача активной мощности генератора зависит от нагрузки энергосистемы и определяется мощностью первичного двигателя (турбины), который приводится во вращение подачей энергоносителя (пара или воды). Реактивная мощность генератора зависит от ЭДС генератора, определяемой током возбуждения.

Модель располагаемой реактивной мощности

В ЭЭС с помощью изменения реактивной мощности генераторов достигается регулирование напряжения на шинах станций и в других узлах системы.

Пределы изменения реактивной мощности (располагаемая реактивная мощность) генератора зависят от выдаваемой активной мощности и электромагнитных свойств генератора. При выдаче реактивной мощности (режим перевозбуждения) ее предельные значения ограничиваются максимально возможным током ротора или статора, а при потреблении реактивной мощности (режим недовозбуждения) – условиями перегрева торцевых зон статора и устойчивостью работы генератора. Зависимости предельно допустимой мощности генерации и потребления снимаются для каждого генератора экспериментальным путем, а ограничение по максимальному току статора получается из соотношения

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \quad (7.1)$$

откуда уравнение ограничения по току статора

Максимально возможная активная мощность генератора ограничивается режимом работы турбины и, как правило, равна номинальной мощности генератора.

$$Q = \sqrt{S_{\max}^2 - P^2}. \quad (7.2)$$

При создании систем управления технологическим процессом на электростанции необходимо иметь математическую модель располагаемой мощности в аналитической форме, т. е. в виде системы ограничений на реактивную мощность гидрогенератора. С этой целью экспериментально полученные данные аппроксимируются некоторыми функциями, вид и параметры которых подбираются на основе опыта, эвристических методов и вычислительных средств.

Графическую модель реактивной мощности гидрогенератора можно изобразить, как это сделано на рис. 7.1. Из рисунка видно, что ограничение на выдачу (генерацию) реактивной мощности гидрогенератора имеет излом в точке 1 и линия от точки 1 до точки 2 представляет собой дугу окружности радиусом $S_{\max}$.

Система ограничений на реактивную мощность может быть записана в виде:

$$\begin{aligned} Q &\leq f_1(P), \\ Q &= \sqrt{S_{\max}^2 - P^2}, \\ Q &\geq f_2(P), \\ P &\leq P_{\max}, \end{aligned} \quad (7.3)$$

где $f_1(P)$ и $f_2(P)$ – некоторые функции, полученные путем обработки экспериментальных данных.

Получение вида и параметров функций $f_1(P)$ и $f_2(P)$ является задачей аппроксимации и может быть сделано с помощью функций регрессии в системе Mathcad.

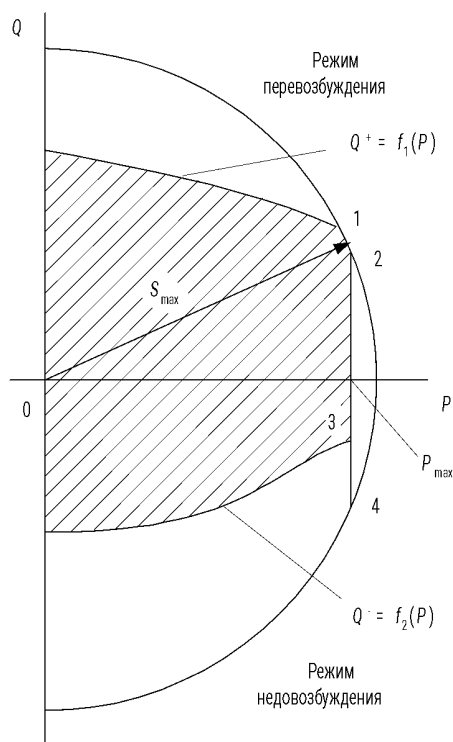


Рис. 7.1. Графическая модель располагаемой мощности гидрогенератора

Указания

1. Для каждой из двух экспериментально полученных зависимостей построить несколько вариантов приближения функций, удовлетворяющих

условиям непрерывности и монотонности, а также непрерывности и монотонности первой производной.

2. В качестве моделей выбрать полиномиальные модели: линейную, квадратичную, кубическую и так до степени полинома, для которого еще выполняются указанные выше свойства.

3. Выбрать для каждой из двух зависимостей наиболее адекватную модель, удовлетворяющую условию простоты и минимума ошибки аппроксимации.

4. Построить графическое изображение области допустимых значений вырабатываемой мощности гидрогенератора.

Исходные данные:

- экспериментально полученная в табличном виде характеристика ограничения на реактивную мощность гидрогенератора по максимальному току ротора (ограничение перегрузки – ОП);

- экспериментально полученная в табличном виде характеристика ограничения на реактивную мощность гидрогенератора по минимальному возбуждению (ограничение минимального возбуждения – ОМВ);

- номинальные электрические параметры гидрогенератора.

Данные берутся из табл. П.20...П.24 приложения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Цель работы. Ознакомление со свойствами процесса электропотребления и его прогнозировании.

Задание

Для одной из стран мира (задается по вариантам) сделать прогноз годовой выработки электроэнергии на заданный период с использованием экспоненциальной и логистической модели.

Теоретические сведения о прогнозировании электропотребления даны в [1]. Там же приведены примеры, выполненные в системе Mathcad.

Указания

1. Прогноз выполнить путем экстраполяции временного ряда с использованием экспоненциальных: $W(t) = W_0 e^{\alpha(t-t_0)}$, $W(t) = W_0 e^{\alpha(t-t_0)} + \beta$ и логистических: $W(t) = W_0 e^{\frac{\alpha_0}{\gamma}(e^{-\gamma(t-t_0)} - 1)}$, $W(t) = \frac{a}{1 + b e^{-ct}}$ моделей.

2. Оценить погрешности прогноза электропотребления по всем использованным моделям.

Исходные данные

Статистические данные по годовому потреблению электроэнергии, табл П.25 приложения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

Цель работы. Ознакомление с методами экстраполяции случайных последовательностей.

Задание

Выполнить прогноз случайного процесса изменения мощности нагрузки потребителя электрической энергии.

Указания

1. Для прогноза использовать три метода: по последнему значению, по математическому ожиданию и по условному математическому ожиданию.
2. По всем трем методам вычислить погрешность прогноза и сделать выводы об адекватности использованных моделей прогноза.
3. Построить графики изменения функций прогноза и ошибок прогноза для всех моделей на интервале упреждения от нуля до последнего прогнозного значения.
4. Для статистического прогноза получить аналитическое выражение для корреляционной функции путем аппроксимации функции, заданной в графической форме. Часто применяют следующие аппроксимации корреляционной функции [3]:

$$r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|};$$

$$r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|^2};$$

$$r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau;$$

$$r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|^2} \cos \beta \tau.$$

Исходные данные:

- числовые характеристики случайного процесса: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и корреляционная функция, заданная в графической форме;
- последнее значение прогнозируемого процесса.

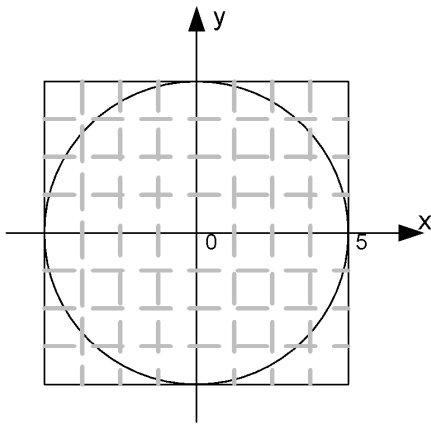
Числовые характеристики и последнее значение случайного процесса берутся из табл. П.26 приложения. График корреляционной функции выдается преподавателем.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ (МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО)

Теоретическая часть.

Пример 1. Пусть требуется определить площадь круга известного диаметра с помощью выборок из значений случайной величины. Впишем круг в квадрат; таким образом, стороны квадрата будут равны диаметру круга.

Пусть круг имеет радиус $r=5$ см и его центр в точке $(0,0)$.



Уравнение окружности будет иметь вид

$$x^2 + y^2 = 25$$

Описанный квадрат определяется его вершинами $(-5, 5)$, $(5, 5)$, $(5, -5)$ и $(-5, -5)$, которые получаются непосредственно из геометрических свойств фигуры. Любая точка (x, y) внутри квадрата или на его границе должна удовлетворять неравенствам $-5 \leq x \leq 5$ и $-5 \leq y \leq 5$

Применение выборок при использовании метода Монте-Карло основано на предположении, что все точки в квадрате $-5 \leq x \leq 5$ и $-5 \leq y \leq 5$ могут появляться с одинаковой вероятностью, т. е. x и y распределены равномерно с плотностями вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 1/10, & -5 \leq x \leq 5 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$f(y) = \begin{cases} 1/10, & -5 \leq y \leq 5 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

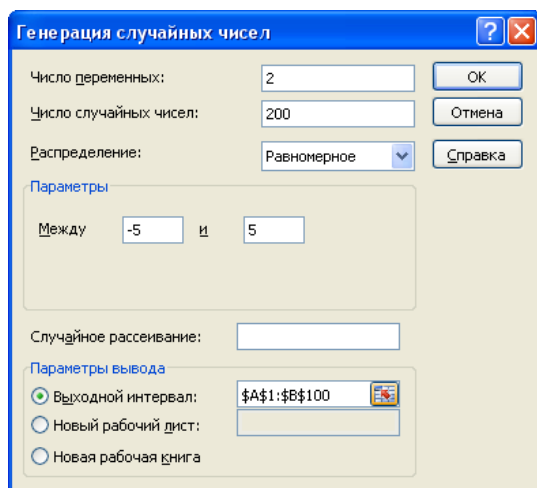
Определим теперь точку (x, y) в соответствии с распределениями $f(x)$ и $f(y)$. Продолжая этот процесс, подсчитаем число точек, попавших внутрь круга или на окружность. Предположим, что выборка состоит из n наблюдений и m из n точек попали внутрь круга или на окружность. Тогда

$$\text{оценка площади круга} = m/n(\text{площадь квадрата}) = (m/n) * (10 * 10)$$

Подобный способ оценивания площади круга можно обосновать тем, что в процессе получения выборки любая точка (x, y) может с одинаковой вероятностью попасть в любое место квадрата. Поэтому отношение m/n представляет оценку площади круга относительно площади квадрата.

1. Использование Excel для постановки эксперимента.

Для получения выборки случайных чисел с заданным распределением можно воспользоваться функцией «Генерация случайных чисел» из меню «Анализ данных».



	А	В	С
1	-2,69432660908841	-1,50318918424024	=ЕСЛИ(А1*А1+В1*В1<=25;1;0)
2	0,62639240699484 2	-4,30265205847346	=ЕСЛИ(А2*А2+В2*В2<=25;1;0)
3	-4,60478530228584	-1,3075655384991	=ЕСЛИ(А3*А3+В3*В3<=25;1;0)
4	-4,74211859492782	0,30716879787591 2	=ЕСЛИ(А4*А4+В4*В4<=25;1;0)
5	3,57356486709189	-4,41953794976653	=ЕСЛИ(А5*А5+В5*В5<=25;1;0)
...			
14 8	-4,65086825159459	2,68517105624561	=ЕСЛИ(А148*А148+В148*В148<=25;1;0)

14 9	-3,85921811578722	-4,19644764549699	=ЕСЛИ(A149*A149+B149*B149<=25;1;0)
15 0	2,46147038178655	3,33826715903195	=ЕСЛИ(A150*A150+B150*B150<=25;1;0)
15 1		число попаданий	=СУММ(C1:C150)
15 2		число наблюдений	=СЧЁТ(C1:C150)
15 3		площадь круга	=(C151/C152)*100

2. Использование MathCad для постановки эксперимента.

Для решения аналогичной задачи в системе MathCad можно воспользоваться программным модулем с использованием функции $\text{rnd}(x)$, возвращающей случайное число в диапазоне от 0 до x . В данном модуле n – число наблюдений.

```

F(n) :=
  m ← 0
  for k ∈ 1.. n
    x ← rnd(10)
    y ← rnd(10)
    x ← x – 5
    y ← y – 5
    m ← m + 1 if  $x^2 + y^2 \leq 25$ 
  S ←  $\frac{m}{n} \cdot 100$ 

```

3. Использование Matlab для постановки эксперимента.

Для решения данной задачи в системе Matlab можно воспользоваться следующей М-функцией:

```

function[s]=sum(n)
m=0;
for i=1:n
    x=Random('unif',-5,5);
    y=Random('unif',-5,5);
    if x*x+y*y<=25
        m=m+1;
    end;
end;
s=(m/n)*100;

```

Здесь параметр 'unif' функции Random позволяет получить равномерно распределенное случайное число.

4. Обработка результатов

Для изучения влияния статистической ошибки при моделировании задача решалась для различных значений n , равных 150, 200, 500, 1000, 2000, 5000 и 10 000. Кроме того, при каждом n было проведено 10 прогонов, в каждом из которых использовались различные последовательности случайных чисел из интервала $[-5, 5]$.

Номер прогона	Оценки площади круга при данном числе испытаний n					
	150	200	500	1000	2000	5000
1	76	80,5	76	78,6	79,55	78,32
2	82	79,5	79,6	78,8	78,85	79,26
3	86	81,5	76,6	77,6	79,1	77,22
4	75	82	78,8	80	79,55	79,34
5	77	72	76,2	79,8	79,4	79,22
6	81	77,5	76,6	77,6	77,4	77,44
7	75	81,5	80,4	78,5	78,1	79,28
8	74	76,5	81,8	79,7	77,2	78,82
9	71	80,5	76,6	76,4	77,76	78,74
10	84	72	81,2	78	78,4	77,74
Среднее	78,1	78,35	78,38	78,5	78,531	78,538
Дисперсия	23,6555	14,2805	5,03511	1,30666	0,78949	0,65861
	6	6	1	7	9	8

Расчетное значение

78,54

В таблице приведены результаты эксперимента, исходя из которых можно сделать следующие заключения.

1. С ростом числа генерируемых точек (т. е. *продолжительности прогона модели*) оценки площади круга приближаются к точному значению (78,54 см²). На рис. 2 показаны оценки площади прогонов 1 и 2 в зависимости от продолжительности прогона n . Мы видим, что сначала оценки колеблются около точного значения, а затем стабилизируются. Это условие обычно достигается после повторения эксперимента достаточное количество раз. Наблюдаемое явление типично для результатов любой имитационной модели. Обычно в большинстве имитационных моделей нас интересуют результаты, полученные в стационарных условиях.

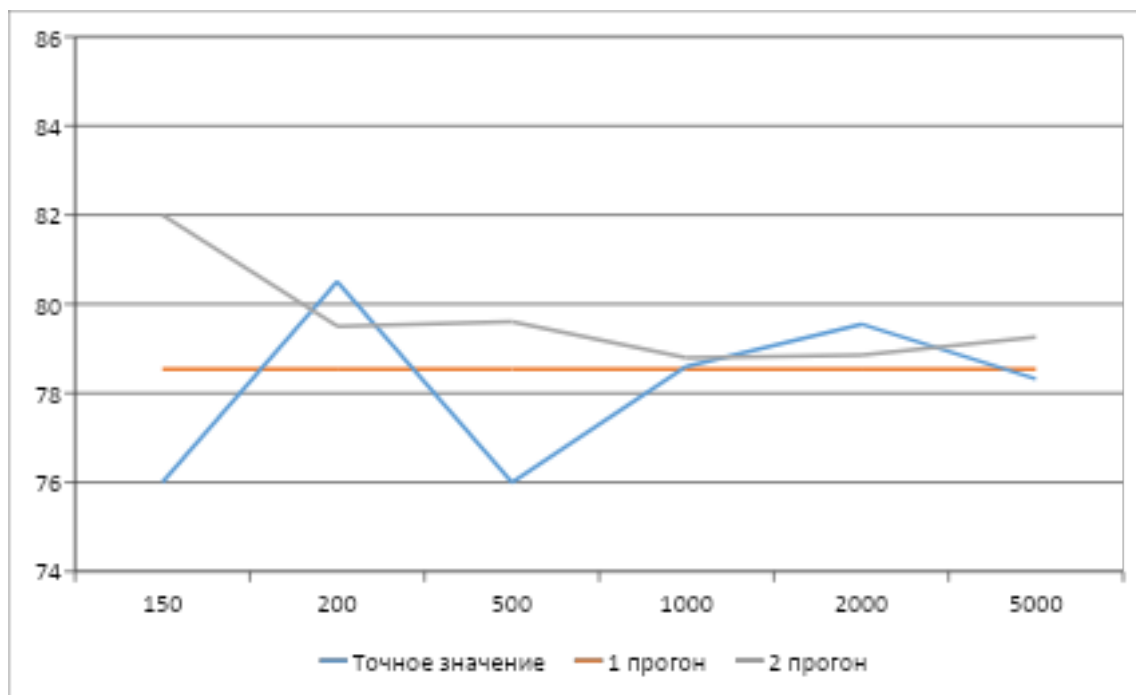


Рис. 2

2. Влияние переходных условий уменьшается, если *усреднить* результаты 10 серий. Это иллюстрирует рис. 3, на котором показана зависимость среднего от n . Кроме того, на рисунках видно, что для каждого n при достижении стационарных условий дисперсия убывает. При возрастании n от 150 до 200 дисперсия резко уменьшается с 23,66 до 14,25. За исключением этого интервала, столь резкого уменьшения дисперсии нигде больше не наблюдается. Последнее замечание указывает на то, что существует предел, за которым увеличение продолжительности прогона модели уже не дает существенного повышения *точности* результата, измеряемой дисперсией. Это замечание представляется чрезвычайно важным, поскольку затраты на эксплуатацию имитационной модели прямо пропорциональны продолжительности прогонов. Поэтому желательно найти компромисс между большой точностью (т. е. малой дисперсией) и небольшими затратами на процедуру получения результатов.

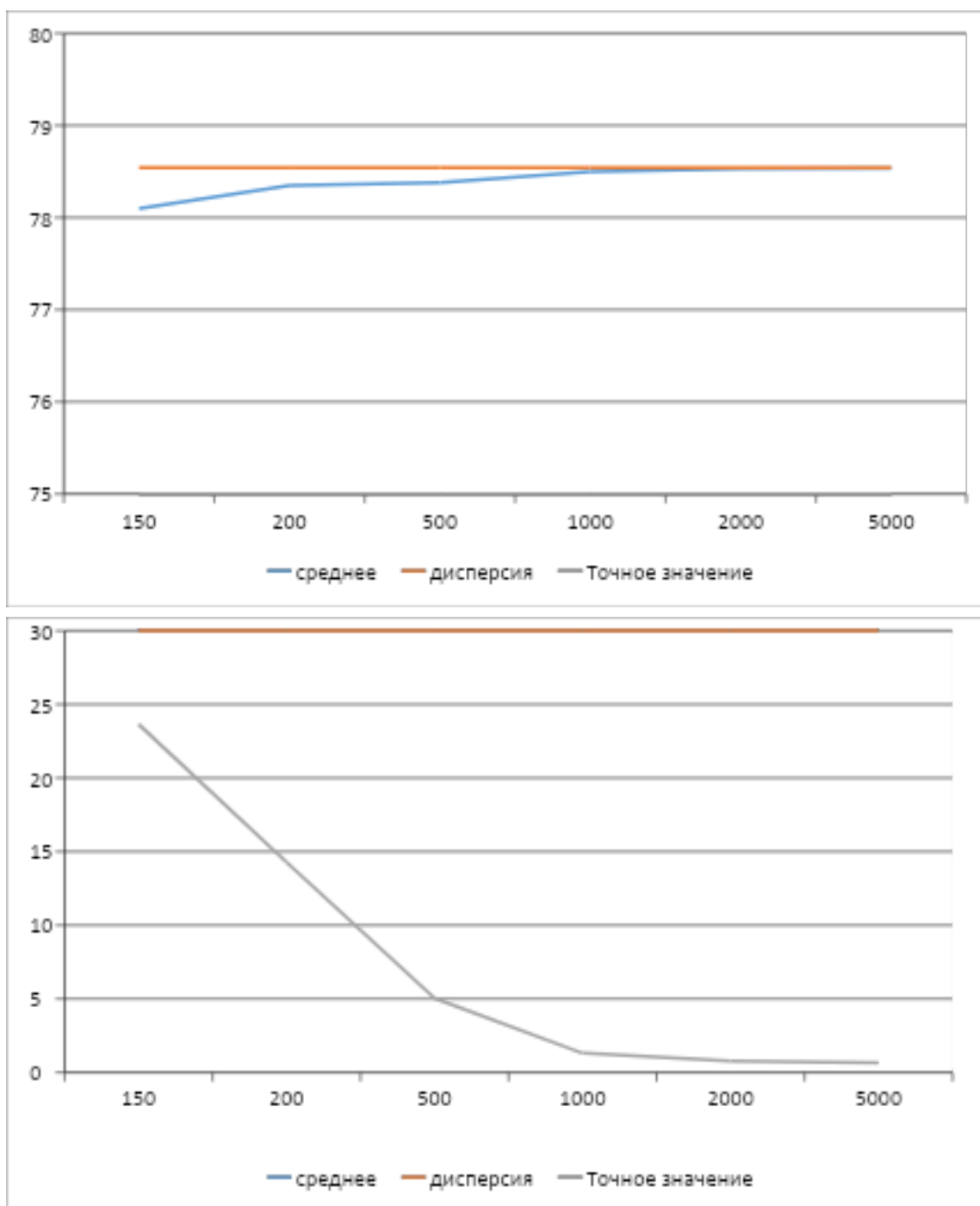


Рис.3.

3. Ввиду того что оценки площади имеют разброс, важно, чтобы результаты эксперимента, связанного с моделированием, были выражены в виде *доверительных интервалов*, показывающих величину отклонения от точного значений. В рассматриваемом примере, если A представляет собой точное значение площади, а $\bar{A}$ и s^2 — среднее и дисперсию N наблюдений, то 100 $(1-\alpha)\%$ -ный доверительный интервал для A задается как

$$\bar{A} - \left(\frac{s}{\sqrt{N}} \right) t_{\frac{\alpha}{2}, N-1} \leq A \leq \bar{A} + \left(\frac{s}{\sqrt{N}} \right) t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}$$

Задание

Проверить решение Примера 1 с использованием разных пакетов. Решение задания 2 также привести в разных пакетах (Excel, MathCad, Matlab). Решение задач 1 и 3 можно осуществить в любом пакете. Результаты, полученные с помощью моделирования в задании 2 сравнить с расчетным результатом.

Для отчета необходимо:

1. Для каждого задания привести математическую модель эксперимента
2. Привести тексты модулей решения всех заданий.
3. Определить оптимальное количество экспериментов с помощью оценки дисперсии.
4. Произвести обработку результатов моделирования и представить ответ в виде доверительных интервалов для искомой величины.

Задание 1.

- 1) Решить задачу «случайных блужданий» в ее классической трактовке.
- 2) Дополнить модель, учитывая, что человек делает шаги вперед в 2 раза чаще, чем шаги назад.
- 3) Дополнить модель задачи, учитывая, что человек делает шаг не только по диагонали, но и строго вперед (назад), вправо (влево).

Задание 2 (по вариантам)

1. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями:

$$y = \sin(x) + 2$$

$$y = \sqrt{9 - x^2}$$

$$y = 0$$

2. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями:

$$y = e^{0,4x}$$

$$y = \sqrt{25 - x^2}$$

$$y = 0$$

3. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями:

$$y = 0,2x^2$$

$$y = \frac{1}{0,2x}$$

$$x = 0$$

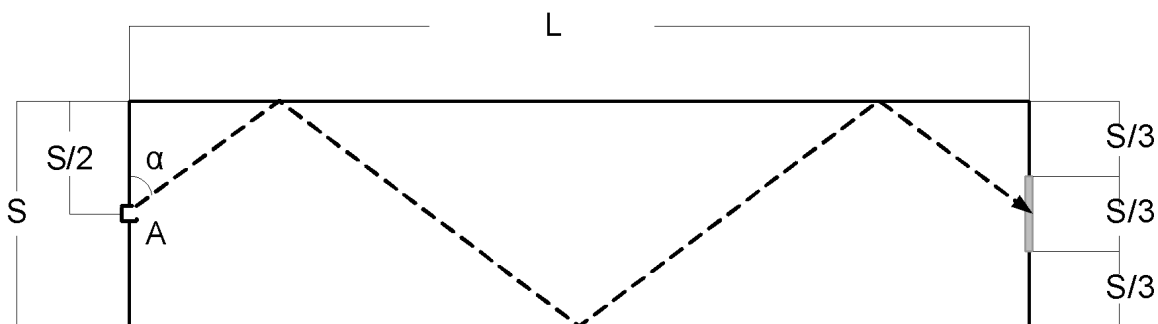
$$y = 4$$

4. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями:

$$y = \frac{1}{x}$$

$x=3$

Из отверстия А трубки длиной L вылетают частицы под углом α (α – случайная величина, распределенная равномерно). Частицы могут сколь угодно много раз отталкиваться от стенок трубки. Составить математическую модель и провести эксперимент для определения доли частиц, попадающих в выделенную область. Для упрощения модели пренебречь диаметром отверстия А, диаметром частиц, затуханием колебаний частиц.



Теоретическая часть.

Пример 1. В городе имеется транспортное агентство для обслуживания населения. Число заявок на обслуживание случайно и представлено выборкой 1. Время перевозок (включая время возвращения в гараж), так же случайно и представлено выборкой 2.

$$X1 =$$
[illegible]

Выборка 2 Время обслуживания одной заявки в часах.

X2 =

2	5	2	7	1	5	4	1	2	24	2	2	1	1	11	3	8	1	1	73
5	2	2		5	5	3	1	5		3	4	3	5		8		8	4	
8	4	2	4	3	6	1	1	2	11	1	4	4	3	12	3	5	1	5	12
	8	2		0		7	2	3	2	0	5		2	3	9	9	9		
5	7	7	5	1	3	1	2	1	16										
		4	7	0	5	2	8	1											

Прежде чем приступить к исследованию данной системы, необходимо определить характеристики входного и выходного потоков.

Во-первых, входящий поток должен являться простейшим (пуассоновским).

Простейший поток обладает такими важными свойствами:

- 1) Свойством стационарности, которое выражает неизменность вероятностного режима потока по времени. Это значит, что число требований, поступающих в систему в равные промежутки времени, в среднем должно быть постоянным.
- 2) Отсутствия последействия, которое обуславливает взаимную независимость поступления того или иного числа требований на обслуживание в непересекающиеся промежутки времени. Это значит, что число требований, поступающих в данный отрезок времени, не зависит от числа требований, обслуженных в предыдущем промежутке времени.
- 3) Свойством ординарности, которое выражает практическую невозможность одновременного поступления двух или более требований (вероятность такого события неизмеримо мала по отношению к рассматриваемому промежутку времени, когда последний устремляют к нулю).

Одним из признаков того, что случайная величина распределена по закону распределения Пуассона, является совпадение математического ожидания случайной величины и дисперсии этой же случайной величины, то есть:

$$\alpha = \sigma^2.$$

В качестве оценки для математического ожидания обычно выбирают выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_k \cdot x_k,$$

а в качестве оценки дисперсии - выборочную дисперсию:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^N n_k \cdot (x_k - \bar{x})^2,$$

где n - объём выборки $X1 = \{x_k | k=1, \bar{n}\}$;

N - объём вариационного ряда;

n_k - частота x_k в выборке X1.

Проведём расчёты (в Excel):

	выборка
	6
	3
	4
	...
	5
	8
	9
Среднее	8,3265306
Дисперсия	9,2244898
Отношение	0,9026549

	выборка
	6
	3
	4
	...
	5
	8
	9
Среднее	=СРЗНАЧ(B2:B50)
Дисперсия	=ДИСП(B2:B50)
Отношение	=B51/B52

Так как входной поток обладает всеми свойствами простейшего потока, а отношение математического ожидания и дисперсии близко к 1, можно сделать вывод о том, что входной поток распределен по закону Пуассона со средним $\lambda=8$.

Во-вторых, время обслуживания заявок должно подчиняться экспоненциальному закону распределения. Показательный (экспоненциальный) закон распределения времени обслуживания имеет место тогда, когда плотность распределения резко убывает с возрастанием времени t . Например, когда основная масса требований обслуживается быстро, а продолжительное обслуживание встречается редко. Наличие показательного закона распределения времени обслуживания устанавливается на основе статистических наблюдений. Для проверки гипотезы о соответствии распределения эмпирической случайной величины теоретическому можно воспользоваться критерием А.Н.Колмогорова.

Пусть задана выборка $X_2 = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ случайной величины ξ , которая выражает длительность (время) обслуживания заявок одним из каналов исследуемой системы массового обслуживания. Выборка X_2 имеет объём $n=50$.

Гипотеза H_0 заключается в том, что случайная величина ξ имеет показательное распределение с параметром $\nu = \bar{\nu}$, т.е.

$$F_{\xi}(t) = 1 - e^{-\bar{\nu} \cdot t},$$

где $\bar{\nu}$ - оценка параметра показательного распределения ν , которая находится как обратная величина к исправленному среднему выборочному $\bar{t}$:

$$\bar{\nu} = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{\bar{t}},$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n t_k,$$

где

t_k - элемент выборки X_2 , выражает чистое время обслуживания k -той заявки, поступившей в систему массового обслуживания.

Дальнейший этап исследования заключается в построении эмпирической функции распределения $F_n(t)$. Для этой цели по выборке X_2 строится вариационный ряд $X \tilde{Z} = \{t'_1, t'_2, \dots, t'_N\}$, где $t'_1 < t'_2 < \dots < t'_N$ - строго упорядоченные, а каждому значению t'_k отвечает соответствующая ему частота n_k , равная числу повторений t_k в выборке X_2 , причем выполняется тождество:

$$\sum_{k=1}^N n_k = n.$$

Тогда эмпирическую функцию распределения можно записать в виде:

$$F_n(t) = \begin{cases} 0, & \dots, t \leq t'_1; \\ \sum_{t'_k < t} \frac{n_k}{n}, & \dots, t'_1 < t \leq t'_N; \\ 1, & \dots, t > t'_N. \end{cases}$$

После того, как эмпирическая функция распределения построена, можно вычислить разности

$$\delta_n(t) = |F_n(t) - F(t)|$$

в точках $t'_1, t'_2, \dots, t'_N$, и $t'_1 + \varepsilon, t'_2 + \varepsilon, t'_N + \varepsilon$ где ε - достаточно малое число, скажем 10^{-6} .

$$\Delta_n = \left\{ \delta_n(t'_n); \delta_n(t'_n + \varepsilon) \right\}$$

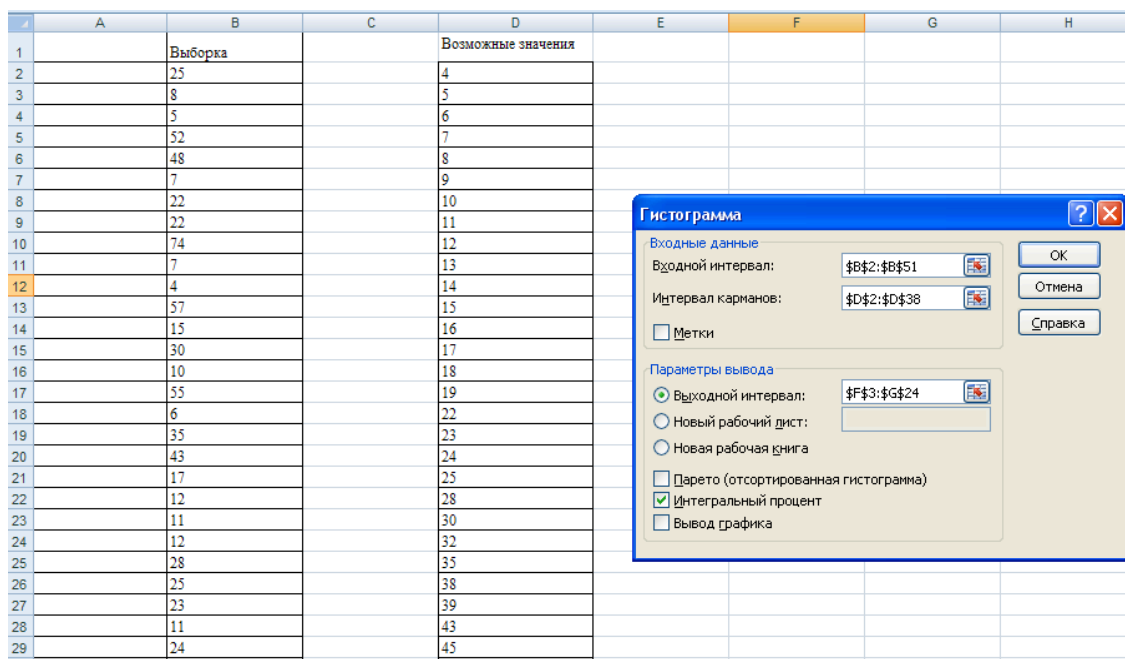
Далее проводим проверку гипотезы. По найденному значению Δ_n проверяется гипотеза H_0 , сравнивая Δ_n с величиной $\frac{z}{\sqrt{n}}$. Если $\Delta_n < \frac{z}{\sqrt{n}}$, то гипотезу H_0 о том, что время обслуживания заявок подчинено показательному закону с параметром $\nu = \bar{\nu}$, можно считать не противоречащей опытным данным.

Произведем расчеты (в Excel):

Расчет параметра показательного распределения:	Выборка
	25
	8
...	
	73
	12
Среднее	28,02
Объем выборки	50
V=	0,034975

	Выборка
	25
	8
...	
	73
	12
Среднее	=СРЗНАЧ(B2:B51)
Объем выборки	=СЧЁТ(B2:B51)
V=	=(B53-1)/(B53*B52)

- а. Построение эмпирической функции распределения. Для построения эмпирической функции распределения можно воспользоваться функцией пакета анализа Excel «Гистограмма».



3. Вычисление разностей:

t	$F_n(t)$	$F(t)$	$\delta(t)$	$F(t+\varepsilon)$	$\delta(t+\varepsilon)$
4	0,04	0,1305 5	0,09055 5	0,13055 5	0,09055 5
5	0,08	0,1604 4	0,08043 8	0,16043 8	0,08043 8
6	0,10	0,1892 9	0,08929 4	0,18929 5	0,08929 5
...					
73	0,94	0,9221 7	0,01783 4	0,92216 6	0,01783 4
74	0,96	0,9248 4	0,03515 9	0,92484 1	0,03515 9
11 2	0,98	0,9801 0	0,00010 3	0,98010 3	0,00010 3
12 3	1,00	0,9864 6	0,01354 2	0,98645 8	0,01354 2
		max	0,09055		0,09056

t	$F_n(t)$	$F(t)$	$\delta(t)$	$F(t+\varepsilon)$	$\delta(t+\varepsilon)$
4	0,04	=1-EXP(-\$B\$54*F4)	=ABS(G4-H4)	=1-EXP(-\$B\$54*(F4+0,00001)	=ABS(G4-J4)
5	0,08	=1-EXP(-\$B\$54*F5)	=ABS(G5-H5)	=1-EXP(-\$B\$54*(F5+0,00001)	=ABS(G5-J5)
6	0,1	=1-EXP(-\$B\$54*F6)	=ABS(G6-H6)	=1-EXP(-\$B\$54*(F6+0,00001)	=ABS(G6-J6)
...					
73	0,94	=1-EXP(-\$B\$54*F37)	=ABS(G37-H37)	=1-EXP(-\$B\$54*(F37+0,0000 1))	=ABS(G37-J37)
74	0,96	=1-EXP(-\$B\$54*F38)	=ABS(G38-H38)	=1-EXP(-\$B\$54*(F38+0,0000 1))	=ABS(G38-J38)

11 2	0,98	=1-EXP(-\$B\$54*F39)	=ABS(G39-H39)	=1-EXP(-\$B\$54*(F39+0,00001))	=ABS(G39-I39)
12 3	1	=1-EXP(-\$B\$54*F40)	=ABS(G40-H40)	=1-EXP(-\$B\$54*(F40+0,00001))	=ABS(G40-I40)
		max	=МАКС(I4:I40)		=МАКС(K4:K40)

2. Принятие решения:

Значение z для заданного уровня значимости $\alpha=0,0005$: $z=1,358102$

$$\Delta_n = 0,0905$$

$$\frac{z}{\sqrt{n}} = 0,19$$

Так как $\Delta_n < \frac{z}{\sqrt{n}}$ - гипотеза принимается.

С 0,05% уровнем значимости можно считать, что время обслуживания заявок имеет показательное распределение.

2. Построение модели на основе полученных данных.

В случае, когда моделировать случайную величину с заданным распределением оказывается неудобно или трудно подобрать известное теоретическое наблюдение, можно воспользоваться построением эмпирической функции распределения.

Пример 2. На основе данных о времени продолжительности обслуживания заявок из Примера 1 можно построить удобную для моделирования функцию распределения. Для этого можно воспользоваться инструментом «Гистограмма» из пакета анализа Excel.

Разобьем выборку X_2 на интервалы:

0-4	5-10	11-15	16-25	26-40	40-50	50-70	>70
-----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

В результате применения инструмента «Гистограмма» с использованием этих интервалов получаем следующую функцию распределения:

Карман	Частота	Интегральный %
4	2	4,00%
10	9	22,00%
15	10	42,00%
25	12	66,00%
40	6	78,00%
50	3	84,00%
70	4	92,00%
>70	4	100,00%

На основе этой функции можно строить имитационную модель с

использованием равномерно распределенных случайных чисел.

2. Методы получения наблюдений.

Пример 3. В результате моделирования была получена следующая таблица:

	прибытие	обслуживание	длина очереди
1	8:03	1	0
2	8:10	7	0
3	8:13	1	1
4	8:22	2	0
5	8:30	4	0
6	8:37	7	0
7	8:42	2	1
8	8:43	1	2
9	8:48	10	0
10	8:55	10	1
11	8:58	5	1
12	8:58	1	2
13	9:04	9	3
14	9:13	1	2
15	9:15	8	2
16	9:24	6	1
17	9:29	5	2
18	9:36	4	2
19	9:37	2	3
20	9:43	4	2
21	9:53	4	0
22	10:01	4	1
23	10:06	2	2
24	10:10	9	1
25	10:14	5	1

Необходимо определить среднюю длину очереди.

Очевидно, что первые несколько (5-7) наблюдений относятся к переходному состоянию системы и их наличие может сильно сместить оценку средней длины очереди, особенно при таком небольшом (25) количестве наблюдений. Поэтому применяются различные методы получения наблюдений.

1. Метод подынтервалов

Метод основан на разбиении каждого прогона модели на равные промежутки. Возьмем промежуток равный 5 минутам. Так, для данного примера:

Прибытие	Длина очереди	Средняя на интервале	
8:00	0		
		1	0,05

8:05	0		
8:10	0		
8:15	1		
8:20	1		
8:25	0		
8:30	0		
8:35	0	1	0,05
8:40	0		
8:45	2		
8:50	0		
8:55	1	3	0,15
9:00	2		
9:05	3		
9:10	3	1	
9:15	2	0	0,5
9:20	2		
9:25	1		
9:30	2		
9:35	2	7	0,35
9:40	3		
9:45	2		
9:50	2		
9:55	0	7	0,35
10:00	0		
10:05	1		
10:10	2		
10:15	1	4	0,2

Средняя длина

очереди

0,33

Дисперсия

0,028928571

прибытие	обслуживание	длина очереди	Длина очереди на интервале	Средняя длина
8:03	1	0		
8:10	7	0		
8:13	1	1		
8:22	2	0		
8:30	4	0	1	0,2
8:37	7	0		
8:42	2	1		
8:43	1	2		
8:48	10	0		
8:55	10	1	4	0,8
8:58	5	1		

10

2

8:58	1	2		
9:04	9	3		
9:13	1	2		
9:15	8	2		
9:24	6	1	10	2
9:29	5	2		
9:36	4	2		
9:37	2	3		
9:43	4	2		
9:53	4	0	6	1,2
10:01	4	1		
10:06	2	2		
10:10	9	1		
10:14	5	1		

Средняя длина очереди 1,2

Дисперсия 0,91666667

1,24

0,608

2. Метод циклов.

прибытие	обслуживание	длина очереди	Zi	ti	xi	yi
8:03	1	0	1	3	0,33333 3	0,845455
8:10	7	0				
8:13	1	1				
8:22	2	0	3	5	0,6	0,75
8:30	4	0				
8:37	7	0				
8:42	2	1				
8:43	1	2				
8:48	10	0	21	12	1,75	2,723077
8:55	10	1				
8:58	5	1				
8:58	1	2				
9:04	9	3				
9:13	1	2				
9:15	8	2				
9:24	6	1				
9:29	5	2				
9:36	4	2				
9:37	2	3				
9:43	4	2				
9:53	4	0				
10:01	4	1				
10:06	2	2				
10:10	9	1				
			5	5	1	1,05

10:14	5	1				
Среднее		1,2	7,5	6,25	1,342133	
Дисперсия		0,91666667			0,86322	

Практическая часть

Отчет по практической должен содержать для каждого задания:

1. Модуль вычислений (лист Excel)
2. Выводы.

Задание 1. (по вариантам).

Определить, является ли данная модель СМО типа (М/М/1); результаты наблюдения за системой показаны в таблице.

Задание 2. (по вариантам). По исходным данным своего варианта смоделируйте систему массового обслуживания и с помощью различных методов (метод повторов, метод подынтервалов, метод циклов) получите значение средней длины очереди в данной системе.

Вариант 1		Вариант 2			Вариант 3	
Время поступления	Длительность обслуживания	Промежуток между заявками	Количество заявок	Длительность обслуживания	Время поступления	Время выбытия
8:06	7	19	1	4	8:06	8:40
8:18	5	21	1	4	8:40	8:46
8:28	11	23	1	7	9:27	9:42
8:39	13	21	1	6	10:01	10:20
8:52	4	14	1	9	10:38	10:48
9:06	11	18	1	7	11:11	11:22
9:13	6	29	1	10	11:45	11:53
9:23	8	24	1	10	12:13	12:24
9:35	13	16	1	7	12:46	13:03
9:44	11	30	2	11	13:09	13:29
9:50	6	24	1	3	13:43	14:10
10:01	4	19	1	12	14:18	14:39
10:14	8	17	1	2	14:55	15:14
10:25	10	14	1	7	15:33	15:48
10:31	8	30	2	8	16:06	16:18
10:43	4	23	1	6	16:42	17:07
10:54	6	13	1	2	17:27	17:31
11:07	12	21	1	3	17:56	18:08
11:19	3	17	1	11	18:31	18:46
11:31	8	18	1	12	19:03	19:21
11:37	4	23	1	9	19:31	19:43
11:50	9	21	1	7	20:08	20:23
12:02	7	21	1	10	20:46	21:00
12:10	6	16	1	11	21:23	21:40
12:19	7	25	1	11	21:56	22:09
12:27	6	15	1	3	22:28	22:45
12:35	8	30	2	8	23:03	23:15

12:47	6	26	1	8	23:35	23:41
12:58	4	19	1	5	0:12	0:34
13:05	9	15	1	5	0:48	1:06
13:18	10	27	1	8	1:19	1:24
13:27	10	16	1	8	1:51	2:04
13:38	9	23	1	7	2:27	2:30
13:49	8	22	1	5	3:01	3:23
13:55	11	14	1	3	3:44	4:02
14:02	7	27	1	11	4:24	4:42
14:12	8	20	1	11	4:53	4:55
14:19	7	22	1	6	5:41	5:57
14:30	11	18	1	5	6:15	6:35
14:38	12	20	1	6	6:50	7:02
14:47	5	19	1	3	7:22	7:38
14:52	17	20	1	9	7:55	8:11
14:55	11	20	1	7	8:34	8:44
15:02	9	19	1	7	9:08	9:22
15:09	7	28	2	3	9:47	10:00
15:25	7	18	1	8	10:18	10:28
15:33	8	20	1	5	10:55	11:09
15:37	3	19	1	4	11:34	11:49
15:43	6	14	1	11	12:15	12:28
15:57	4	19	1	9	12:49	13:06

Использованная литература

1. *Лыкин А. В.* Математическое моделирование электроэнергетических систем и их элементов: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 120 с.
2. *Лыкин А. В.* Mathcad в задачах электроэнергетики: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 86 с.
3. *Кадомская К. П.* Основы теории случайных процессов: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 68 с.
4. *Гурский Е. И.* Теория вероятностей с элементами математической статистики. – М.: Высшая школа, 1971. – 328 с.
5. *Ефимов А. Н.* Предсказание случайных процессов. – М., 1976. – 64 с.
6. *Дьяконов В.* Mathcad 8/2000: Специальный справочник – СПб: Изд-во «Питер», 2000. – 592 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы

по дисциплине «Моделирование процессов в электроэнергетических системах»

для студентов направления подготовки /специальности

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

Направленность (профиль) «Возобновляемые источники энергии и гидроэлектростанции»

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Дисциплина «Моделирование процессов в электроэнергетических системах» является основной, призванной формировать профессиональную подготовку магистрантов, обучающихся по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», магистерская программа " Возобновляемые источники энергии и гидроэлектростанции" в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования. Самостоятельная работа, наряду с аудиторными занятиями, составляет основу успешного освоения учебного курса, приобретения профессионализма и повышения компетентности.

1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Общий объём самостоятельной работы составляет 120 акад. часов.

Самостоятельная работа распределена следующим образом:

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов
Подготовка к лекции	Конспект	Собеседование	40
Подготовка к практическому занятию	Письменный отчет	Собеседование	40
Самостоятельное изучение литературы	Конспект	Собеседование Тестирование	40
ИТОГО			120

2. МЕТОДИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

2.1. Методика самостоятельной работы по подготовке к лекции

При подготовке к лекции в первую очередь необходимо прочитать конспект лекции.

Конспект лекции следует рассматривать как источник информации по конкретной дисциплине или группе дисциплин. Любой источник информации содержит лишь некоторый набор сведений, далеко не исчерпывающий существующие точки зрения, статистические данные, аналитические выкладки, касающиеся прямо или косвенно данной тематики. В силу этого обстоятельства конспекты лекций рекомендуется расширять и обогащать, активно используя дополнительную литературу.

Даже самого лучшего конспекта недостаточно, чтобы безупречно подготовиться к тесту, семинару, зачету, экзамену. Конспект лекций – один (но далеко не единственный) из основных источников информации по конкретному курсу, помимо рекомендованных учебников, учебных и учебно-методических пособий, научных работ, аналитических и статистических сборников и прочего. При этом преподаватель в процессе оценки знаний студента обычно ориентируется именно на прочитанные им лекции, поэтому конспекты следует использовать при подготовке к ответу в обязательном порядке.

Во-первых, тему целесообразно учить в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. В учебниках различных авторов в соответствии с их подходом к преподаванию дисциплины темы могут излагаться в различном порядке.

Во-вторых, рекомендованная преподавателем литература по соответствующей теме, отмеченная в конспекте, будет нужна для более широкого обзора темы и охвата всех вопросов, предложенных преподавателем. При этом самостоятельно, без консультации преподавателя, дополнительную литературу подобрать достаточно сложно.

В-третьих, в конспекте содержится уже проработанная информация, не требующая детального подхода к изучению. Стил ь изложения материала в различных литературных источниках далеко не всегда бывает доступным.

В-четвертых, содержание конспекта – минимум, который студент обязан знать в обязательном порядке в соответствии с учебным планом. При этом в авторских учебниках и пособиях отдельным разделам может уделяться большее внимание, чем остальным, а ваш лектор может иметь на этот счет собственное мнение.

В-пятых, конспект окажет вам большую услугу, если рассматривать его как маленькую энциклопедию важнейших вопросов, которые могут быть вам заданы преподавателем. Большинство вопросов при итоговой оценке знаний будет задано с учетом того, что в лекциях предлагались ответы на них.

2.2. Методика самостоятельной работы по подготовке к практическим занятиям

Практические занятия по дисциплине предполагают изучение определенной компьютерной технологии на примере конкретного программного продукта. В ходе самостоятельной подготовки к практическим занятиям студенты готовят программы расчетов, обрабатывают результаты и составляют отчеты.

Форма отчётности – наличие отчетов по решенным задачам, правильность которых проверяет преподаватель и делает соответствующие пометки в журнале.

Ряд практических занятий проводится в форме дискуссии, на которых проходит обсуждение конкретных компьютерных технологий. Обсуждения направлены на освоение научных основ, эффективных методов и приемов решения конкретных практических задач, на развитие способностей к творческому использованию получаемых знаний и навыков. Основная цель заключается в закреплении знаний полученных в ходе прослушивания лекционного материала. Семинар проводится в форме устного опроса студентов по вопросам семинарских занятий, а также в виде решения практических задач

или моделирования практической ситуации. В ходе подготовки к семинару студенту следует просмотреть материалы лекции, а затем начать изучение учебной литературы. Следует знать, что освещение того или иного вопроса в литературе часто является личным мнением автора, построенного на анализе различных источников, поэтому следует не ограничиваться одним учебником или монографией, а рассмотреть как можно больше материала по интересующей теме.

В ходе самостоятельной работы студенту необходимо отслеживать научные статьи в специализированных изданиях.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

При подготовке к семинарским занятиям следует руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя, использовать основную литературу из представленного им списка. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. При подготовке доклада на семинарское занятие желательно заранее обсудить с преподавателем перечень используемой литературы, за день до семинарского занятия предупредить о необходимых для предоставления материала технических средствах, напечатанный текст доклада предоставить преподавателю

2.3. Методика самостоятельной работы по самостоятельному изучению литературы

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в **изучении литературы**. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Поэтому надо научиться делать эту работу рационально, то есть необходимо учиться читать.

Методы эффективной работы с книгой в целях развития интеллекта можно условно разделить на две группы:

1. Правильная организация процесса чтения
2. Повышение скорости чтения и восприятия.

В комплексе оба метода могут в 2-3 раза сократить время прочтения различных материалов.

При чтении текста мозг формирует «свою трактовку содержания» прочитанного. Происходит перекодирование сообщения на языке собственных мыслей читателя. Мозг выделяет «ядерное», сущностное значение из текста. Эффективность такой перекодировки зависит от осмысления и внимательности чтения.

Дифференциальный алгоритм чтения в соответствии с блоками позволяет реализовать логико-семантический анализ текста: вначале выделить ключевые слова, затем построить смысловые ряды и, наконец, выделив цепь знаний, сформулировать доминанту. Именно так и только так (по О.А. Андрееву) можно увидеть главное, действительно, проникнуть в суть вещей, явлений, излагаемых автором.

Возможны три основных способа чтения.

- Первый способ – артикуляция или проговаривание вслух (или почти вслух) того, что читаешь. Скорость такого чтения невелика.
- Второй способ – чтение про себя, при котором речевой процесс проявлен в форме внутренней речи, то есть без открытой

артикуляции. Текст, при этом усваивается более эффективно. Способ в принципе допускает быстрое чтение.

- Третий, наиболее совершенный способ чтения – тоже молча, но в условиях максимального сжатия внутренней речи, при котором она проявляется в виде коротких залпов ключевых слов и смысловых рядов, адекватно отражающих смысл текста.

Итак, артикуляция замедляет процесс чтения и от нее необходимо избавиться. Однако не приведет ли сокращение артикуляции при повышении скорости чтения к снижению качества восприятия и осмысления полученной информации?

Как показали исследования психологов, иногда при чтении слова могут быть заменены наглядными представлениями, пространственными схемами. Целые группы слов – одним словом.

Быстро читающие люди обладают способностью, не проговаривая читаемый текст, сразу улавливать и фиксировать замысел автора, а затем усваивать его на уровне внутренней речи. В этом случае, несмотря на высокую скорость чтения, происходит глубокое понимание и усвоение прочитанного, так как основная идея понятна с самого начала. Задачу научиться такому чтению можно решать в два этапа. Первый предполагает сокращение артикуляции, если она ярко выражена, второй – овладение приемами чтения, при которых текст воспринимается крупными информационными блоками.

Перед углубленным чтением любого текста (статьи, книги, конспекта, лекции перед экзаменом) сначала бегло просмотрите его целиком. При этом постарайтесь выявить основные стержневые идеи, наиболее крупные части и логику их изложения. Лишь после такого просмотра переходите к более детальному чтению.

Перед чтением статьи или параграфа учебника попробуйте проделать следующее: прочитайте внимательно первый абзац, потом бегло просмотрите первые или последние фразы следующих абзацев (в них обычно содержится

основная информация), обратите внимание на курсивы, разрядки, подзаголовочный текст и, наконец, внимательно прочтите один-два последних абзаца; постарайтесь выявить основное направление текста и его построение.

Прочитав в тексте интересную идею, полезно остановить свое внимание на ней, прислушаться к тем мыслям, которые она у вас вызвала, подумать о тех последствиях, которые из нее вытекают, попытаться развивать ее дальше.

Существенно замедляют чтение регрессии – частые возвратные движения глаз, многократное повторное прочитывание материала. Возвратиться к уже прочитанному, но недостаточно хорошо понятому участку лучше всего, когда прочитан законченный смысловой фрагмент текста и сделана хотя бы попытка его осмысления, а не в процессе чтения предложения.

Любой текст не однороден по своей информационной насыщенности. В некоторых предложениях, абзацах сконцентрировано очень много информации, например, формулируются основные положения, ведущие идеи и т.д., а другие служат лишь иллюстрацией, фоном. Таким образом, текст имеет «смысловой рельеф». Чем точнее читатель умеет определить степень важности каждого отрезка текста и приспособить к «смысловому барьеру» способ своего чтения (то есть замедлить и углубить в более важных местах и ускорять в менее важных), тем продуктивнее чтение. Постарайтесь гибко варьировать способ работы с текстом в соответствии с его «смысловым барьером».

Чтобы чтение было эффективным, попробуйте по прочитанному всегда отвечать на 6 вопросов: *«Кто делает? Что делает? Когда? Почему? Где? Как?»*

Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение

записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной литературы :

1. Коломейченко, А. С. Информационные технологии : учебное пособие для вузов / А. С. Коломейченко, Н. В. Польшакова, О. В. Чеха. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 212 с. — ISBN 978-5-8114-7564-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/177030>— Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Петров, А. В. Моделирование процессов и систем : учебное пособие / А. В. Петров. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1886-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212213>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Современные компьютерные технологии / Р.Г. Хисматов. - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 83 с. - ISBN 978-5-7882-1559-4

Перечень дополнительной литературы:

1. Информационные технологии. Базовый курс : учебник для вузов / А. В. Костюк, С. А. Бобонец, А. В. Флегонтов, А. К. Черных. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 604 с. — ISBN 978-5-8114-8776-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180821>— Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Титков, В. В. Компьютерные технологии. Comsol Multiphysics в задачах энергетики Электронный ресурс : Учебное пособие / В. В. Титков, Э. И. Янчус. - Компьютерные технологии. Comsol Multiphysics в задачах энергетики, 2021-03-25. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2012. - 184 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7422-3684-9
3. Трухин, М.П. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств Электронный ресурс : практикум / М.П. Трухин. - Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств, 2022-08-31. Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 136 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7996-1556-7

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю):

1. Степанова А.А. Методические рекомендации по выполнению практических работ (эл.вид)
2. Степанова А.А. Методические указания по самостоятельной работе (эл.вид).

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля):

1. <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО.
2. <http://www.biblioclub.ru> – электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».