

Курсовая работа

Математические методы и модели исследования операций

Разделы: нелинейное программирование, динамическое программирование, задачи оптимизации на графах, система массового обслуживания.

Задание курсовой работы состоит из 12 лабораторных работ и дано по вариантам (за исключением последней работы) в количестве 15 вариантов.

Работа 1

А. Проверить, что функция $f(x)$ выпукла на отрезке $[a, b]$.

Б. Найти точку минимума x^* функции $f(x)$ на $[a, b]$ и минимальное значение $f^* = f(x^*)$; первый шаг выполнить по методу касательных, а последующие шаги методом Ньютона. За условие достижения требуемой точности вычислений принять $|f'(x^*)| \leq 0,002$.

В. Построить с использованием компьютера график функции $y = f(x)$ на отрезке $[a, b]$, выделив точку минимума.

Задания работы 1.

- 1.1. $f(x) = x - \ln x$, $[0, 1 ; 2]$.
- 1.2. $f(x) = x^2 - \sin x$, $[0 ; 1, 5]$.
- 1.3. $f(x) = x^4 + x^2 + x + 1$, $[-1 ; 2]$.
- 1.4. $f(x) = \frac{x^2}{2} - \cos x$, $[0 ; 3]$.
- 1.5. $f(x) = \sqrt{1 + x^2} + e^{-2x}$, $[0 ; 1]$.
- 1.6. $f(x) = e^x + \frac{1}{x}$, $[0, 1 ; 2]$.
- 1.7. $f(x) = (x - 4)^2 + \ln x$, $[3 ; 5]$.
- 1.8. $f(x) = x^4 + e^{-x}$, $[0 ; 1]$.
- 1.9. $f(x) = x^2 + e^{-x}$, $[0 ; 2]$.
- 1.10. $f(x) = 2x + e^{-x}$, $[-1 ; 1]$.
- 1.11. $f(x) = x^2 + x + \sin x$, $[-2 ; 1]$.
- 1.12. $f(x) = x^2 - x + e^{-x}$, $[0 ; 1]$.
- 1.13. $f(x) = e^x + e^{-2x} + 2x$, $[-1 ; 1]$.
- 1.14. $f(x) = 2x^2 + x + \cos^2 x$, $[-1 ; 1]$.
- 1.15. $f(x) = e^x + e^{-x} - x$, $[0 ; 1]$.

Работа 2

А. Исследовать функцию двух переменных $f(x)$ (где $x = (x_1, x_2)$) на выпуклость.

Б. Найти точку минимума $x^* = (x_1^*, x_2^*)$ функции $f(x)$ и её минимальное значение $f^* = f(x^*)$ методом наискорейшего спуска, заканчивая вычисления при выполнении условия $|\text{grad } f(x^*)| \leq 0,01$.

В. Решить задачу безусловной минимизации графически с помощью компьютера построением линий уровня функции $z = f(x)$.

Задания работы 2.

- 2.1. $f = x^2 + xy + 2y^2 + x - 6y \rightarrow \min$.
- 2.2. $f = 2x^2 + xy + y^2 + x + y \rightarrow \min$.
- 2.3. $f = 7x^2 + 2xy + 5y^2 + x - 10y \rightarrow \min$.
- 2.4. $f = 3x^2 - 3xy + 4y^2 - 2x + y \rightarrow \min$.
- 2.5. $f = x^2 + 4xy + 17y^2 + 5y \rightarrow \min$.
- 2.6. $f = 5x^2 - 4xy + 5y^2 - x - y \rightarrow \min$.
- 2.7. $f = 4x^2 + 4xy + 6y^2 - 17x \rightarrow \min$.
- 2.8. $f = 2x^2 - 2xy + 3y^2 + x - 3y \rightarrow \min$.
- 2.9. $f = 10x^2 + 3xy + y^2 + 10y \rightarrow \min$.
- 2.10. $f = x^2 - 2xy + 6y^2 + x - y \rightarrow \min$.
- 2.11. $f = 4x^2 + xy + y^2 + x - 6y \rightarrow \min$.
- 2.12. $f = 2x^2 + xy + 4y^2 + x + y \rightarrow \min$.
- 2.13. $f = x^2 + 2xy + 5y^2 + 2x - 8y \rightarrow \min$.
- 2.14. $f = 3x^2 - xy + 2y^2 - 2x + 4y \rightarrow \min$.
- 2.15. $f = 4x^2 + 4xy + 3y^2 + 5y \rightarrow \min$.

Работа 3

Решить следующую задачу квадратичного программирования с использованием теоремы Куна-Такера построением функции Лагранжа и дальнейшим численным решением с помощью симплекс-метода в сочетании с методом искусственного базиса.

Задания работы 3 (и работы 4).

3.1. $f = x_1^2 + x_2^2 - 14(x_1 + x_2) \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 \leq 12, \\ 4x_1 + 3x_2 \leq 24, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.2. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10x_1 - 14x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 \leq 8, \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 18, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.3. $f = x_1^2 + x_2^2 - 12x_1 - 6x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 6, \\ 3x_1 + x_2 \leq 11, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.4. $f = x_1^2 + x_2^2 - 18x_1 - 10x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 \leq 10, \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 19, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.5. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10(x_1 + x_2) \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 3x_1 + x_2 \leq 6, \\ 4x_1 + 3x_2 \leq 11, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.6. $f = x_1^2 + x_2^2 + 2x_1 - 6x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 5, \\ 2x_1 + 3x_2 \leq 12, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.7. $f = x_1^2 + x_2^2 - 2x_1 - 6x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 8, \\ 3x_1 + 2x_2 \leq 20, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

3.8. $f = x_1^2 + x_2^2 - 8x_1 - 11x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 5, \\ 2x_1 + x_2 \leq 4, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

- 3.9. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10x_1 - 12x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 \leq 13, \\ 3x_1 + x_2 \leq 11, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.10. $f = x_1^2 + x_2^2 - 14x_1 - 30x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 5x_1 + 13x_2 \leq 36, \\ 3x_1 + x_2 \leq 12, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.11. $f = x_1^2 + x_2^2 - 4x_1 - 16x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 \leq 13, \\ 3x_1 + x_2 \leq 11, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.12. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10x_1 - 15x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 13, \\ 2x_1 + x_2 \leq 10, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.13. $f = x_1^2 + x_2^2 - 20x_1 - 30x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 5x_1 + 13x_2 \leq 51, \\ 15x_1 + 7x_2 \leq 107, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.14. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10x_1 - 20x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} 9x_1 + 8x_2 \leq 72, \\ x_1 + x_2 \leq 10, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$
- 3.15. $f = x_1^2 + x_2^2 - 10x_1 - 8x_2 \rightarrow \min$ при условиях

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 \leq 13, \\ 3x_1 + x_2 \leq 11, \end{cases} \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

Работа 4

Решить предыдущую задачу квадратичного программирования из работы 3 дважды: то есть на минимум и на максимум – методом допустимых направлений, начиная с точки $x^{(0)} = (0, 0)$.

Работа 5

Оптимальное единовременное распределение средств между предприятиями.

Руководство холдинга, в состав которого входят 4 предприятия, выделило средства в объеме $s_0 = 300$ усл. ед. для развития этих предприятий. Известны (указаны в таблице задания) функции $f_i(x)$ дохода i -го предприятия в зависимости от величины x вложенных средств, вычисленные в точках кратных 50 у.е. ($f_i(0) = 0$). Между указанными точками функция дохода линейна. Предусмотрено отдельному предприятию не выделять более 200 у.е. Найти распределение средств между предприятиями, дающее максимальный общий доход.

Задания работы 5

5.1

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	5	7	4	8
100	7	10	7	13
150	8	12	10	17
200	9	13	12	18

5.2

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	4	3	7	5
100	5	5	9	8
150	7	6	11	11
200	10	8	12	13

5.3

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	2	4	5	7
100	6	8	8	10
150	9	11	12	11
200	11	13	15	13

5.4

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	7	5	6	4
100	9	7	9	8
150	11	8	12	10
200	12	9	14	12

5.5

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	6	7	5	4
100	10	11	8	8
150	13	13	11	12
200	15	14	13	15

5.6

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	5	4	6	5
100	9	9	9	7
150	13	14	12	9
200	15	16	15	12

5.7

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	7	6	6	5
100	10	8	7	8
150	13	11	8	11
200	15	12	10	14

5.8

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	5	7	6	8
100	9	10	9	9
150	13	13	12	10
200	15	15	14	11

5.9

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	6	8	5	7
100	10	11	9	10
150	14	13	12	13
200	16	15	14	15

5.10

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	7	6	8	5
100	9	8	11	9
150	11	9	14	13
200	12	10	16	15

5.11

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	5	7	8	6
100	7	10	10	9
150	8	12	12	11
200	9	14	13	12

5.12

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	4	6	5	5
100	8	8	8	9
150	12	10	10	13
200	14	11	13	16

5.13

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	7	6	4	5
100	10	10	7	9
150	13	12	10	12
200	15	14	12	14

5.14

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	6	4	5	7
100	10	9	8	9
150	13	13	11	12
200	15	15	12	15

5.15

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$
50	7	6	8	5
100	9	8	11	9
150	11	9	14	13
200	12	10	16	15

Работа 6

Оптимальное поэтапное распределение средств между предприятиями в течении планового периода.

Руководство фирмы, имеющей договор о сотрудничестве с тремя малыми предприятиями, на плановый годовой период выделила для них оборотные средства в объеме $s_0 = 100000$ усл. ед. Для каждого предприятия известны функции поквартального дохода $f_i(x)$ и поквартального остатка оборотных средств $g_i(x)$ в зависимости от выделенной на квартал суммы x . В начале квартала средства распределяются полностью $s_{i-1} = x_1 + x_2 + x_3$, а по окончании квартала остатки средств аккумуляруются у руководства фирмы $s_i = g_1(x_1) + g_2(x_2) + g_2(x_2)$ и снова распределяются полностью между предприятиями. Составить план поквартального распределения средств на год (4 квартала), позволяющего достичь максимальный общий доход.

Задания работы 6.

- 6.1. $f_1(x) = 2x, f_2(x) = 3x, f_3(x) = 5x, g_1(x) = 0, 8x, g_2(x) = 0, 7x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.2. $f_1(x) = 2x, f_2(x) = 2, 4x, f_3(x) = 3x, g_1(x) = 0, 9x, g_2(x) = 0, 8x, g_3(x) = 0, 4x$.
- 6.3. $f_1(x) = 2x, f_2(x) = 2, 2x, f_3(x) = 2, 5x, g_1(x) = 0, 8x, g_2(x) = 0, 7x, g_3(x) = 0, 5x$.
- 6.4. $f_1(x) = 1, 5x, f_2(x) = 1, 8x, f_3(x) = 2x, g_1(x) = 0, 7x, g_2(x) = 0, 6x, g_3(x) = 0, 4x$.
- 6.5. $f_1(x) = 1, 5x, f_2(x) = 2x, f_3(x) = 2, 2x, g_1(x) = 0, 8x, g_2(x) = 0, 7x, g_3(x) = 0, 3x$.
- 6.6. $f_1(x) = 1, 5x, f_2(x) = 2x, f_3(x) = 2, 2x, g_1(x) = 0, 8x, g_2(x) = 0, 6x, g_3(x) = 0, 4x$.
- 6.7. $f_1(x) = 1, 3x, f_2(x) = 1, 5x, f_3(x) = 2x, g_1(x) = 0, 5x, g_2(x) = 0, 4x, g_3(x) = 0, 2x$.
- 6.8. $f_1(x) = 1, 2x, f_2(x) = 1, 5x, f_3(x) = 2x, g_1(x) = 0, 6x, g_2(x) = 0, 5x, g_3(x) = 0, 2x$.
- 6.9. $f_1(x) = 1, 2x, f_2(x) = 1, 5x, f_3(x) = 2x, g_1(x) = 0, 7x, g_2(x) = 0, 6x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.10. $f_1(x) = x, f_2(x) = 1, 5x, f_3(x) = 1, 8x, g_1(x) = 0, 8x, g_2(x) = 0, 6x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.11. $f_1(x) = x, f_2(x) = 1, 5x, f_3(x) = 1, 7x, g_1(x) = 0, 7x, g_2(x) = 0, 5x, g_3(x) = 0, 2x$.
- 6.12. $f_1(x) = 0, 8x, f_2(x) = x, f_3(x) = 1, 5x, g_1(x) = 0, 6x, g_2(x) = 0, 3x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.13. $f_1(x) = 0, 9x, f_2(x) = x, f_3(x) = 1, 4x, g_1(x) = 0, 5x, g_2(x) = 0, 3x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.14. $f_1(x) = 1, 7, f_2(x) = 2, f_3(x) = 2, 5x, g_1(x) = 0, 6x, g_2(x) = 0, 3x, g_3(x) = 0, 1x$.
- 6.15. $f_1(x) = 0, 7, f_2(x) = x, f_3(x) = 1, 5x, g_1(x) = 0, 7x, g_2(x) = 0, 4x, g_3(x) = 0, 1x$.

Работа 7

Задача об оптимальном плане замены оборудования

На пятилетний срок функционирования фирмой приобретено и установлено новое оборудование, которое после каждого года эксплуатации терпит износ, уменьшающий приносимый доход и увеличивающий затраты на его обслуживание. Вопрос о замене оборудования или его сохранении решается после окончания годового этапа. Стоимость замены оборудования $p=50$ у.е. Приведены функции дохода $x(t)$ у.е. и производственных затрат $z(t)$ у.е. , зависящие от времени t (в годах) эксплуатации оборудования. По истечении пяти лет оборудование реализуется (продается при $c>0$ или разбирается с затратами при $c<0$) по ликвидной стоимости $s=40-z(t)$, где t – время его эксплуатации.

Задания работы 7

7.1.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	100	80	75	70	66	60
$z(t)$	15	18	23	26	28	30

7.2.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	90	80	75	72	70	64
$z(t)$	22	27	31	37	45	50

7.3.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	70	60	46	40	37	33
$z(t)$	25	29	33	35	36	36

7.4.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	80	65	55	48	41	38
$z(t)$	20	30	37	42	45	47

7.5.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	75	74	73	70	65	60
$z(t)$	10	11	12	14	16	18

7.6.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	100	98	95	91	86	80
$z(t)$	15	16	17	19	23	28

7.7.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	70	60	58	55	50	43
$z(t)$	10	12	13	16	18	24

7.8.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	60	50	48	46	42	36
$z(t)$	18	19	20	22	25	29

7.9.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	65	65	64	63	61	56
$z(t)$	25	26	28	31	35	40

7.10.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	85	84	82	79	75	69
$z(t)$	30	30	32	34	36	38

7.11.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	100	95	93	90	86	81
$z(t)$	11	12	13	15	18	22

7.12.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	92	88	78	72	66	60
$z(t)$	22	23	25	28	32	35

7.13.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	80	75	70	66	60	56
$z(t)$	18	22	25	28	32	36

7.14.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	95	90	87	82	80	70
$z(t)$	20	23	25	28	30	32

7.15.

t	0	1	2	3	4	5
$x(t)$	85	78	74	69	60	56
$z(t)$	15	20	25	28	30	32

Задания работы 8

8.1. $a_0 = a_1 = 7, a_2 = 5, a_3 = 8, a_4 = 6, a_5 = 4; \quad v_i = 2(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 1 + 3(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1, 3(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.2. $a_0 = a_1 = 8, a_2 = 7, a_3 = 5, a_4 = 6, a_5 = 5; \quad v_i = 2, 5(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 2 + 1, 5(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ x_{i-1} - x_i & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.3. $a_0 = a_1 = 6, a_2 = 8, a_3 = 6, a_4 = 5, a_5 = 4; \quad v_i = 1, 5(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 2 + (x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1, 2(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.4. $a_0 = 5, a_1 = 4, a_2 = 7, a_3 = 6, a_4 = 8, a_5 = 7; \quad v_i = 3(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 1 + 2(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 0, 5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.5. $a_0 = a_1 = 6, a_2 = 8, a_3 = 10, a_4 = 7, a_5 = 6; \quad v_i = (x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 2, 5 + 1, 5(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ x_{i-1} - x_i & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.6. $a_0 = a_1 = 7, a_2 = 10, a_3 = 9, a_4 = 8, a_5 = 5; \quad v_i = 2(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 2 + (x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1, 5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

8.7. $a_0 = a_1 = 8, a_2 = 7, a_3 = 10, a_4 = 6, a_5 = 5; \quad v_i = 4(x_i - a_i);$

$$w_i = \begin{cases} 0, 5 + 1, 5(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 2(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$$

Работа 8

Календарное планирование трудовых ресурсов

Предпринимателю требуется составить план приема и увольнения работников нужной квалификации на период в 5 месяцев. У него имеется производственный план, где указано число требуемых работников a_i на каждый i -й месяц. Число запланированных работников x_i (на данный месяц) не должно быть меньше числа требуемых $x_i \geq a_i$, что гарантирует выполнение заказа. Предприниматель в данный месяц несет расходы v_i в случае избытка рабочей силы. Известны также затраты w_i на прием (если $x_i > x_{i-1}$) или увольнение (если $x_i < x_{i-1}$) рабочей силы, которые несет предприниматель перед i -ым месяцем. Полагаем, что перед первым месяцем число работников равно a_0 .

Продолжение заданий работы 8

- 8.8. $a_0 = a_1 = 7, a_2 = 9, a_3 = 8, a_4 = 10, a_5 = 6; \quad v_i = 1,5(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 1 + 0,75(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ x_{i-1} - x_i & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.9. $a_0 = 5, a_1 = 4, a_2 = 7, a_3 = 8, a_4 = 10, a_5 = 6; \quad v_i = 3,5(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 4 + 0,5(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ x_{i-1} - x_i & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.10. $a_0 = 7, a_1 = 6, a_2 = 5, a_3 = 9, a_4 = 7, a_5 = 10; \quad v_i = 2,5(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 3 + 4(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 0,5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.11. $a_0 = 5, a_1 = 3, a_2 = 8, a_3 = 7, a_4 = 9, a_5 = 5; \quad v_i = 4(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 1 + 2(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1,25(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.12. $a_0 = a_1 = 4, a_2 = 9, a_3 = 10, a_4 = 7, a_5 = 6; \quad v_i = 3(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 1,5 + 3,5(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 2,5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.13. $a_0 = 5, a_1 = 2, a_2 = 4, a_3 = 8, a_4 = 7, a_5 = 5; \quad v_i = 2(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 0,5 + 2(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1,5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.14. $a_0 = a_1 = 10, a_2 = 8, a_3 = 6, a_4 = 5, a_5 = 7; \quad v_i = 1,5(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 1 + 0,75(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ x_{i-1} - x_i & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$
- 8.15. $a_0 = a_1 = 7, a_2 = 9, a_3 = 8, a_4 = 10, a_5 = 6; \quad v_i = 1,5(x_i - a_i);$
 $w_i = \begin{cases} 1 + 4(x_i - x_{i-1}) & \text{при } x_i > x_{i-1}, \\ 1,5(x_{i-1} - x_i) & \text{при } x_i < x_{i-1}. \end{cases}$

Работа 9

Построение кратчайшего маршрута в графе

Дан нагруженный граф с десятью вершинами x_1, x_2, \dots, x_{10} , который задан перечислением всех ребер с указанием веса (длины) c_{ij} каждого ребра (x_i, x_j) (указаны при $i < j$).

А. Записать матрицу весов данного нагруженного графа.

В. Нарисовать данный граф в виде диаграммы.

С. По алгоритму Дейкстры найти кратчайшие маршруты из вершины, выбранной в качестве начала маршрута, во все остальные вершины графа.

Задания работы 9

9.1. $c_{12} = 7, c_{13} = 1, c_{14} = 7, c_{15} = 3, c_{23} = 4, c_{29} = 5, c_{34} = 2, c_{39} = 9, c_{45} = 6, c_{46} = 11, c_{48} = 10, c_{57} = 3, c_{67} = 7, c_{68} = 1, c_{69} = 4, c_{610} = 5, c_{710} = 3, c_{89} = 6, c_{810} = 8, c_{910} = 4.$
Начало маршрута x_2 .

9.2. $c_{12} = 7, c_{13} = 4, c_{14} = 12, c_{15} = 5, c_{23} = 2, c_{29} = 5, c_{34} = 4, c_{39} = 9, c_{45} = 7, c_{46} = 5, c_{48} = 18, c_{57} = 14, c_{67} = 2, c_{68} = 8, c_{69} = 1, c_{610} = 13, c_{710} = 12, c_{89} = 9, c_{810} = 3, c_{910} = 7.$
Начало маршрута x_1 .

9.3. $c_{12} = 6, c_{13} = 2, c_{14} = 3, c_{15} = 7, c_{23} = 7, c_{29} = 5, c_{34} = 4, c_{39} = 3, c_{45} = 7, c_{46} = 7, c_{48} = 2, c_{57} = 8, c_{67} = 5, c_{68} = 6, c_{69} = 10, c_{610} = 5, c_{710} = 10, c_{89} = 6, c_{810} = 3, c_{910} = 10.$
Начало маршрута x_1 .

9.4. $c_{12} = 6, c_{13} = 2, c_{14} = 4, c_{15} = 5, c_{23} = 1, c_{29} = 2, c_{34} = 3, c_{39} = 9, c_{45} = 5, c_{46} = 4, c_{48} = 7, c_{57} = 6, c_{67} = 6, c_{68} = 2, c_{69} = 8, c_{610} = 3, c_{710} = 9, c_{89} = 2, c_{810} = 2, c_{910} = 6.$
Начало маршрута x_6 .

9.5. $c_{12} = 6, c_{13} = 5, c_{14} = 1, c_{15} = 1, c_{23} = 7, c_{29} = 3, c_{34} = 5, c_{39} = 3, c_{45} = 8, c_{46} = 8, c_{48} = 4, c_{57} = 7, c_{67} = 6, c_{68} = 5, c_{69} = 9, c_{610} = 5, c_{710} = 8, c_{89} = 7, c_{810} = 7, c_{910} = 10.$
Начало маршрута x_1 .

9.6. $c_{12} = 5, c_{13} = 4, c_{14} = 3, c_{15} = 2, c_{23} = 5, c_{29} = 7, c_{34} = 10, c_{39} = 4, c_{45} = 4, c_{46} = 5, c_{48} = 3, c_{57} = 8, c_{67} = 6, c_{68} = 6, c_{69} = 4, c_{610} = 7, c_{710} = 9, c_{89} = 10, c_{810} = 5, c_{910} = 6.$
Начало маршрута x_1 .

9.7. $c_{12} = 4, c_{13} = 3, c_{14} = 7, c_{15} = 1, c_{23} = 5, c_{29} = 2, c_{34} = 5, c_{39} = 7, c_{45} = 3, c_{46} = 3, c_{48} = 8, c_{57} = 6, c_{67} = 4, c_{68} = 10, c_{69} = 9, c_{610} = 7, c_{710} = 11, c_{89} = 11, c_{810} = 7, c_{910} = 5.$
Начало маршрута x_1 .

9.8. $c_{12} = 9, c_{13} = 5, c_{14} = 4, c_{15} = 6, c_{23} = 7, c_{29} = 5, c_{34} = 6, c_{39} = 5, c_{45} = 12, c_{46} = 7, c_{48} = 8, c_{57} = 4, c_{67} = 3, c_{68} = 7, c_{69} = 12, c_{610} = 1, c_{710} = 9, c_{89} = 1, c_{810} = 6, c_{910} = 7.$
Начало маршрута x_4 .

9.9. $c_{12} = 4, c_{13} = 8, c_{14} = 2, c_{15} = 7, c_{23} = 1, c_{29} = 9, c_{34} = 8, c_{39} = 2, c_{45} = 5, c_{46} = 10, c_{48} = 7, c_{57} = 4, c_{67} = 10, c_{68} = 3, c_{69} = 6, c_{610} = 7, c_{710} = 5, c_{89} = 9, c_{810} = 3, c_{910} = 8.$
Начало маршрута x_4 .

9.10. $c_{12} = 6, c_{13} = 2, c_{14} = 7, c_{15} = 5, c_{23} = 3, c_{29} = 3, c_{34} = 9, c_{39} = 6, c_{45} = 11, c_{46} = 3, c_{48} = 2, c_{57} = 11, c_{67} = 12, c_{68} = 3, c_{69} = 8, c_{610} = 4, c_{710} = 9, c_{89} = 2, c_{810} = 1, c_{910} = 5.$
Начало маршрута x_2 .

9.11. $c_{12} = 7, c_{13} = 5, c_{14} = 1, c_{15} = 9, c_{23} = 6, c_{29} = 3, c_{34} = 1, c_{39} = 5, c_{45} = 8, c_{46} = 2, c_{48} = 4, c_{57} = 6, c_{67} = 3, c_{68} = 3, c_{69} = 8, c_{610} = 10, c_{710} = 4, c_{89} = 2, c_{810} = 5, c_{910} = 5.$
Начало маршрута x_1 .

9.12. $c_{12} = 9, c_{13} = 4, c_{14} = 1, c_{15} = 3, c_{23} = 5, c_{29} = 1, c_{34} = 7, c_{39} = 3, c_{45} = 5, c_{46} = 8, c_{48} = 2, c_{57} = 6, c_{67} = 12, c_{68} = 8, c_{69} = 4, c_{610} = 12, c_{710} = 10, c_{89} = 7, c_{810} = 8, c_{910} = 6.$
Начало маршрута x_6 .

9.13. $c_{12} = 4, c_{13} = 1, c_{14} = 3, c_{15} = 2, c_{23} = 8, c_{29} = 9, c_{34} = 1, c_{39} = 5, c_{45} = 9, c_{46} = 3, c_{48} = 6, c_{57} = 8, c_{67} = 6, c_{68} = 4, c_{69} = 10, c_{610} = 2, c_{710} = 9, c_{89} = 1, c_{810} = 8, c_{910} = 11.$
Начало маршрута x_{10} .

9.14. $c_{12} = 12, c_{13} = 7, c_{14} = 8, c_{15} = 2, c_{23} = 6, c_{29} = 4, c_{34} = 5, c_{39} = 1, c_{45} = 7, c_{46} = 3, c_{48} = 8, c_{57} = 6, c_{67} = 7, c_{68} = 4, c_{69} = 9, c_{610} = 12, c_{710} = 5, c_{89} = 5, c_{810} = 4, c_{910} = 6.$
Начало маршрута x_5 .

9.15. $c_{12} = 9, c_{13} = 6, c_{14} = 3, c_{15} = 1, c_{23} = 1, c_{29} = 9, c_{34} = 7, c_{39} = 4, c_{45} = 2, c_{46} = 9, c_{48} = 8, c_{57} = 5, c_{67} = 6, c_{68} = 4, c_{69} = 7, c_{610} = 3, c_{710} = 11, c_{89} = 1, c_{810} = 4, c_{910} = 6.$
Начало маршрута x_1 .

Работа 10

Выделение связного графа минимальной длины

Условием служит нагруженный граф предыдущей задачи. При выполнении работы нужно повторить диаграмму этого графа. Требуется удалением ребер построить новый связный нагруженный граф, содержащий все 10 вершин данного графа и имеющий наименьшую суммарную длину (сумму весов).

Работа 11

Построение критического пути в орграфе

Задан нагруженный орграф с узлами x_1, x_2, \dots, x_{13} , который можно представить в виде сети (направленный орграф, имеющий один исток и один сток). Орграф задается перечислением всех его дуг от узла x_i к узлу x_j с указанием их веса $c_{i,j}$. Найти минимальное время t_{kp} , достаточное для того, чтобы поток поданный в исток сети прошел все дуги сети (если вес дуги рассматривать как время прохождения потока по этой дуге). Выделить критический путь, время прохождения которого равно t_{kp} . Выполнить следующие действия.

А. Записать матрицу весов данного нагруженного орграфа.

В. Нарисовать данный орграф в виде диаграммы.

С. Произвести переобозначение узлов $x_j \rightarrow y_k$ так, чтобы орграф принял вид сети.

Д. В порядке нумерации узлов сети расставить метки узлов, указывающие длину критического пути из истока в данный узел.

Е. Выделить на диаграмме критические пути во все узлы. Записать критический путь из исток в сток в первоначальных обозначениях узлов.

Задания работы 11

11.1. $c_{1,2} = 5, c_{1,6} = 3, c_{1,7} = 10, c_{2,3} = 7, c_{2,7} = 14, c_{2,8} = 7, c_{2,9} = 12, c_{3,4} = 15, c_{3,9} = 8, c_{4,12} = 16, c_{5,7} = 13, c_{5,11} = 7, c_{5,13} = 12, c_{6,5} = 9, c_{6,7} = 10, c_{7,8} = 8, c_{7,10} = 17, c_{7,11} = 4, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 8, c_{8,10} = 8, c_{8,12} = 9, c_{9,4} = 6, c_{9,8} = 7, c_{10,12} = 18, c_{10,13} = 12, c_{11,13} = 19, c_{12,13} = 6.$

11.2. $c_{1,2} = 7, c_{1,6} = 2, c_{1,7} = 17, c_{2,3} = 4, c_{2,7} = 2, c_{2,8} = 12, c_{2,9} = 7, c_{3,4} = 11, c_{3,9} = 10, c_{4,12} = 4, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 14, c_{5,13} = 6, c_{6,5} = 12, c_{6,7} = 14, c_{7,8} = 10, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 12, c_{7,13} = 14, c_{8,4} = 3, c_{8,10} = 15, c_{8,12} = 12, c_{9,4} = 12, c_{9,8} = 10, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 11, c_{11,13} = 4, c_{12,13} = 12.$

11.3. $c_{1,2} = 2, c_{1,6} = 2, c_{1,7} = 15, c_{2,3} = 4, c_{2,7} = 4, c_{2,8} = 11, c_{2,9} = 9, c_{3,4} = 7, c_{3,9} = 7, c_{4,12} = 8, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 13, c_{5,13} = 5, c_{6,5} = 7, c_{6,7} = 11, c_{7,8} = 19, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 15, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 3, c_{8,10} = 4, c_{8,12} = 12, c_{9,4} = 12, c_{9,8} = 7, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 14, c_{11,13} = 11, c_{12,13} = 12.$

11.4. $c_{1,2} = 4, c_{1,6} = 5, c_{1,7} = 5, c_{2,3} = 7, c_{2,7} = 2, c_{2,8} = 13, c_{2,9} = 8, c_{3,4} = 6, c_{3,9} = 11, c_{4,12} = 4, c_{5,7} = 14, c_{5,11} = 6, c_{5,13} = 8, c_{6,5} = 12, c_{6,7} = 9, c_{7,8} = 11, c_{7,10} = 3, c_{7,11} = 4, c_{7,13} = 9, c_{8,4} = 11, c_{8,10} = 12, c_{8,12} = 7, c_{9,4} = 6, c_{9,8} = 8, c_{10,12} = 2, c_{10,13} = 4, c_{11,13} = 18, c_{12,13} = 11.$

11.5. $c_{1,2} = 4, c_{1,6} = 11, c_{1,7} = 3, c_{2,3} = 17, c_{2,7} = 12, c_{2,8} = 5, c_{2,9} = 8, c_{3,4} = 2, c_{3,9} = 10, c_{4,12} = 13, c_{5,7} = 14, c_{5,11} = 9, c_{5,13} = 7, c_{6,5} = 6, c_{6,7} = 10, c_{7,8} = 12, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 11, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 7, c_{8,10} = 3, c_{8,12} = 4, c_{9,4} = 8, c_{9,8} = 10, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 2, c_{11,13} = 12, c_{12,13} = 4.$

11.6. $c_{1,2} = 17, c_{1,6} = 8, c_{1,7} = 12, c_{2,3} = 8, c_{2,7} = 2, c_{2,8} = 14, c_{2,9} = 16, c_{3,4} = 15, c_{3,9} = 10, c_{4,12} = 6, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 13, c_{5,13} = 7, c_{6,5} = 19, c_{6,7} = 12, c_{7,8} = 10, c_{7,10} = 3, c_{7,11} = 11, c_{7,13} = 10, c_{8,4} = 8, c_{8,10} = 2, c_{8,12} = 6, c_{9,4} = 11, c_{9,8} = 7, c_{10,12} = 1, c_{10,13} = 5, c_{11,13} = 7, c_{12,13} = 12.$

11.7. $c_{1,2} = 7, c_{1,6} = 5, c_{1,7} = 14, c_{2,3} = 15, c_{2,7} = 10, c_{2,8} = 12, c_{2,9} = 4, c_{3,4} = 7, c_{3,9} = 1, c_{4,12} = 4, c_{5,7} = 13, c_{5,11} = 7, c_{5,13} = 13, c_{6,5} = 8, c_{6,7} = 6, c_{7,8} = 4, c_{7,10} = 19, c_{7,11} = 4, c_{7,13} = 8, c_{8,4} = 7, c_{8,10} = 8, c_{8,12} = 11, c_{9,4} = 5, c_{9,8} = 9, c_{10,12} = 12, c_{10,13} = 6, c_{11,13} = 6, c_{12,13} = 19.$

11.8. $c_{1,2} = 10, c_{1,6} = 19, c_{1,7} = 7, c_{2,3} = 14, c_{2,7} = 5, c_{2,8} = 11, c_{2,9} = 6, c_{3,4} = 17, c_{3,9} = 8, c_{4,12} = 12, c_{5,7} = 13, c_{5,11} = 11, c_{5,13} = 9, c_{6,5} = 9, c_{6,7} = 10, c_{7,8} = 17, c_{7,10} = 4, c_{7,11} = 2, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 6, c_{8,10} = 18, c_{8,12} = 8, c_{9,4} = 8, c_{9,8} = 7, c_{10,12} = 9, c_{10,13} = 19, c_{11,13} = 7, c_{12,13} = 2.$

11.9. $c_{1,2} = 11, c_{1,6} = 3, c_{1,7} = 4, c_{2,3} = 7, c_{2,7} = 7, c_{2,8} = 15, c_{2,9} = 8, c_{3,4} = 15, c_{3,9} = 11, c_{4,12} = 2, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 2, c_{5,13} = 2, c_{6,5} = 9, c_{6,7} = 8, c_{7,8} = 17, c_{7,10} = 6, c_{7,11} = 4, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 16, c_{8,10} = 13, c_{8,12} = 15, c_{9,4} = 2, c_{9,8} = 4, c_{10,12} = 18, c_{10,13} = 12, c_{11,13} = 6, c_{12,13} = 5.$

11.10. $c_{1,2} = 2, c_{1,6} = 5, c_{1,7} = 4, c_{2,3} = 6, c_{2,7} = 3, c_{2,8} = 2, c_{2,9} = 1, c_{3,4} = 10, c_{3,9} = 15, c_{4,12} = 8, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 14, c_{5,13} = 6, c_{6,5} = 12, c_{6,7} = 2, c_{7,8} = 16, c_{7,10} = 8, c_{7,11} = 10, c_{7,13} = 5, c_{8,4} = 4, c_{8,10} = 15, c_{8,12} = 11, c_{9,4} = 3, c_{9,8} = 6, c_{10,12} = 9, c_{10,13} = 10, c_{11,13} = 3, c_{12,13} = 15.$

11.11. $c_{1,2} = 9, c_{1,6} = 5, c_{1,7} = 10, c_{2,3} = 3, c_{2,7} = 12, c_{2,8} = 13, c_{2,9} = 7, c_{3,4} = 11, c_{3,9} = 9, c_{4,12} = 8, c_{5,7} = 5, c_{5,11} = 14, c_{5,13} = 7, c_{6,5} = 12, c_{6,7} = 13, c_{7,8} = 19, c_{7,10} = 8, c_{7,11} = 12, c_{7,13} = 14, c_{8,4} = 13, c_{8,10} = 17, c_{8,12} = 11, c_{9,4} = 11, c_{9,8} = 10, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 10, c_{11,13} = 4, c_{12,13} = 3.$

11.12. $c_{1,2} = 10, c_{1,6} = 11, c_{1,7} = 12, c_{2,3} = 5, c_{2,7} = 7, c_{2,8} = 6, c_{2,9} = 4, c_{3,4} = 1, c_{3,9} = 9, c_{4,12} = 7, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 14, c_{5,13} = 6, c_{6,5} = 12, c_{6,7} = 11, c_{7,8} = 7, c_{7,10} = 10, c_{7,11} = 9, c_{7,13} = 12, c_{8,4} = 7, c_{8,10} = 15, c_{8,12} = 19, c_{9,4} = 5, c_{9,8} = 13, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 11, c_{11,13} = 4, c_{12,13} = 12.$

11.13. $c_{1,2} = 5, c_{1,6} = 6, c_{1,7} = 7, c_{2,3} = 5, c_{2,7} = 6, c_{2,8} = 7, c_{2,9} = 8, c_{3,4} = 11, c_{3,9} = 10, c_{4,12} = 9, c_{5,7} = 2, c_{5,11} = 20, c_{5,13} = 1, c_{6,5} = 5, c_{6,7} = 3, c_{7,8} = 10, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 12, c_{7,13} = 14, c_{8,4} = 3, c_{8,10} = 17, c_{8,12} = 19, c_{9,4} = 12, c_{9,8} = 10, c_{10,12} = 4, c_{10,13} = 5, c_{11,13} = 8, c_{12,13} = 9.$

11.14. $c_{1,2} = 8, c_{1,6} = 7, c_{1,7} = 15, c_{2,3} = 2, c_{2,7} = 18, c_{2,8} = 4, c_{2,9} = 3, c_{3,4} = 19, c_{3,9} = 10, c_{4,12} = 5, c_{5,7} = 6, c_{5,11} = 12, c_{5,13} = 15, c_{6,5} = 7, c_{6,7} = 17, c_{7,8} = 10, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 13, c_{7,13} = 11, c_{8,4} = 2, c_{8,10} = 15, c_{8,12} = 10, c_{9,4} = 16, c_{9,8} = 10, c_{10,12} = 6, c_{10,13} = 11, c_{11,13} = 5, c_{12,13} = 10.$

11.15. $c_{1,2} = 4, c_{1,6} = 8, c_{1,7} = 18, c_{2,3} = 11, c_{2,7} = 4, c_{2,8} = 17, c_{2,9} = 12, c_{3,4} = 15, c_{3,9} = 8, c_{4,12} = 7, c_{5,7} = 13, c_{5,11} = 11, c_{5,13} = 17, c_{6,5} = 4, c_{6,7} = 2, c_{7,8} = 18, c_{7,10} = 7, c_{7,11} = 5, c_{7,13} = 14, c_{8,4} = 3, c_{8,10} = 9, c_{8,12} = 3, c_{9,4} = 16, c_{9,8} = 5, c_{10,12} = 4, c_{10,13} = 14, c_{11,13} = 9, c_{12,13} = 3.$

Работа 12

Моделирование системы массового обслуживания

Требуется смоделировать суточную работу системы массового обслуживания, которая организована следующим образом.

Имеется пять каналов обслуживания. Время работы - два интервала по 180 минут с перерывом на обед. В систему поступает простейший поток заявок с интенсивностью $v = 3$, который нужно смоделировать с помощью датчика случайных чисел и округлить время поступления заявки до целого числа из множества чисел 1,2,3,4,5. Заявка поступает на обработку в свободный канал обслуживания.

Время обслуживания очередной заявки также является случайным событием, заданным простейшим потоком, но с интенсивностью $w = 13$, который нужно смоделировать с помощью датчика случайных чисел и округлить время обработки заявки до целого числа из множества чисел 3,4,5, ..., 20,21,22,23.

При отсутствии свободных каналов обслуживания заявка встает в очередь на обслуживание. Время ожидания в очереди также является случайным событием, заданным простейшим потоком, но с интенсивностью $z = 5$, который нужно смоделировать с помощью датчика случайных чисел и округлить время ожидания до

целого числа из множества чисел $0, 1, 2, 3, \dots, 10$.

Среди свободных каналов обслуживания также устанавливается очередность приема заявок, которую следует описать.

За 15 минут до перерыва прекращается прием заявок на обслуживание, поступающие в этот период заявки отправляются в очередь с отчетом времени ожидания с начала второй половины рабочего дня. Для заявки находящейся в очереди на момент за 15 минут до перерыва отсчет времени ожидания в этот момент приостанавливается и продолжается после перерыва. За 10 минут до окончания работы прекращается прием заявок в систему.

По результатам моделирования вычислить:

1. Время обслуживания всех заявок и среднее время обслуживания одной заявки каждым каналом и системы в целом.
2. Время простоя каждого канала и системы в целом.
3. Состояние каналов системы, то есть время и вероятность пребывания системы в состоянии $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$.
4. Среднее число занятых каналов.
5. Среднее время пребывания заявки в системе.
6. Общее число клиентов в очереди. Максимальная длина очереди. Среднее время пребывания в очереди.
7. Число не обслуженных заявок. Вероятность отказа системы в обслуживании.

Те же параметры системы вычислить аналитически, для чего упростить соответствующим образом модель. Сравнить полученные характеристики и обосновать, чем вызвано расхождение результатов.