

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра программного обеспечения автоматизированных систем

СЕМИНАРЫ СПЕЦИАЛИСТОВ

Методические указания
к выполнению практических работ
для студентов направления подготовки
09.03.04 «Программная инженерия»
Часть 2

Курган 2021

Кафедра: «Программное обеспечение автоматизированных систем».

Дисциплина: «Семинары специалистов»
(направление 09.03.04 «Программная инженерия»).

Составитель: канд. техн. наук, доцент А. М. Семахин.

Печатается в соответствии с планом издания,
утверждённым методическим советом университета «10» декабря 2020 г.

Утверждены на заседании кафедры «26» марта 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Сетевое моделирование. Оптимизация сетевого графика	5
1.1 Основные понятия и определения	5
1.2 Постановка задачи	5
1.3 Математическая модель оптимизации времени выполнения комплекса работ	6
1.4 Определение оптимального решения задачи	7
1.5 Алгоритм решения задачи	7
1.6 Алгоритм М-метода	8
1.7 Практическая работа № 1. Оптимизация времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком	8
1.7.1 Варианты заданий 1	8
1.7.2 Варианты заданий 2	13
1.7.3 Методические указания	14
1.7.4 Контрольные вопросы	14
2 Вероятностные сетевые графики выполнения комплекса работ	15
2.1 Основные понятия и определения	15
2.2 Определение характеристик времени выполнения работ	15
2.3 Алгоритм решения задачи	17
2.4 Практическая работа № 2. Расчёт характеристик времени выполнения работ и анализ вероятностного сетевого графика	17
2.4.1 Варианты заданий	18
2.4.2 Методические указания	28
2.4.3 Контрольные вопросы	28
3 Основы искусственного интеллекта	28
3.1 Постановка задачи поиска в пространстве состояний	28
3.2 Поиск в глубину	29
3.3 Поиск в ширину	29
3.4 Эвристические методы поиска в пространстве состояний	30
3.4.1 Поиск экстремума	30
3.4.2 Метод наименьшей стоимости	31
3.5 Практическая работа № 3. Методы поиска в пространстве состояний	31
3.5.1 Варианты заданий	32
3.5.2 Методические указания	41
3.5.3 Контрольные вопросы	41

4 Имитационное моделирование систем	42
4.1 Этапы имитационного моделирования	42
4.2 Практическая работа № 4. Последовательное обслуживание с возвращениями	43
4.2.1 Варианты заданий	44
4.2.2 Методические указания	47
4.2.3 Контрольные вопросы	47
5 Модели систем массового обслуживания	48
5.1 Модель одноканальной системы массового обслуживания $M/M/1$	48
5.2 Модель многоканальной системы массового обслуживания $M/M/S$	48
5.3 Модель системы с постоянным временем обслуживания $M/D/1$	49
5.4 Практическая работа № 5. Многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью	50
5.4.1 Варианты заданий	50
5.4.2 Методические указания	51
5.4.3 Контрольные вопросы	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	52

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Семинары специалистов» (часть 2) имеет целью дать студентам теоретические знания и практические навыки в разработке математических моделей и формализации алгоритмов методов решения на объектно-ориентированном языке программирования Visual C++.

Предмет дисциплины – технология разработки математических моделей.

Задачи дисциплины – изучение теоретических основ математического моделирования процессов, явлений и объектов реального мира и приобретение практических навыков разработки программных приложений в интегрированной среде программирования Microsoft Visual Studio 2019 Community, отладке и документировании программ.

Практические занятия (16 часов).

Методические указания содержат теоретическое обоснование и варианты заданий для выполнения практических работ по дисциплине «Семинары специалистов».

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта по подготовке бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия».

1 Сетевое моделирование. Оптимизация сетевого графика

1.1 Основные понятия и определения

Оптимизация по времени комплекса работ, представленного сетевым графиком, сводится к сокращению продолжительности критического пути. Сокращение времени выполнения комплекса работ производится при вложении средств, автоматизации и механизации процессов, улучшении организации работ, применении передовой технологии, изменении топологии сети.

Задача оптимизации комплекса работ по времени решается с привлечением дополнительных средств и использованием резервов времени.

1.2 Постановка задачи

Разработать сетевую модель выполнения комплекса работ. Минимизировать сетевой график выполнения работ по времени. Время выполнения работ сетевого графика линейно зависит от вкладываемых средств и не меньше минимального времени. Время начала выполнения работы не меньше времени окончания предшествующей работы. Сумма вложенных средств в операции не превышает заданной величины. Требуется определить время начала и окончания выполнения работ и количество средств, вкладываемых в каждую операцию, чтобы время выполнения комплекса работ было минимальным, а сумма вложенных средств не превышало заданной величины.

1.3 Математическая модель оптимизации времени выполнения комплекса работ

Пусть t_{ij}^{\min} – минимальное время выполнения работы i, j ; t_{ij}^{\max} – максимальное время выполнения работы i, j ; t_{ij}^H – время начала выполнения работы i, j ; t_{ij}^O – время окончания выполнения работы i, j ; c_{ij}^{\min} – минимальные затраты; c_{ij}^{\max} – максимальные затраты; $T_{кр}$ – время критического пути; b_{ij} – объём средств, вложенных в работу i, j ; B – объём средств, вложенных в комплекс работ. Коэффициент дополнительных затрат определяется по формуле

$$k_{ij} = \frac{c_{ij}^{\max} - c_{ij}^{\min}}{t_{ij}^{\max} - t_{ij}^{\min}}, \quad (1.1)$$

где t_{ij}^{\min} – минимальное время выполнения работы i, j ,

t_{ij}^{\max} – максимальное время выполнения работы i, j ,

c_{ij}^{\min} – минимальные затраты,

c_{ij}^{\max} – максимальные затраты.

Математическая модель оптимизации сетевого графика по времени имеет вид:

$$\min \leftarrow Z = T_{кр}$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i,j} b_{ij} \leq B \\ t_{ij}^O - t_{ij}^H \geq d_{ij} \\ t_{ij}(x_{ij}) = t_{ij}^O - t_{ij}^H \\ t_{ij}^O \leq t_{jk}^H \\ t_{ij}^H \geq 0, t_{ij}^O \geq 0, x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n}. \end{array} \right. \quad (1.2)$$

Ограничение 1 – сумма вложенных дополнительных средств, не превышающей заданной величины B . Ограничение 2 – время выполнения операции не меньше минимального возможного времени d_{ij} . Ограничение 3 – время выполнения работы зависит от вложенных средств. Ограничение 4 – время начала

выполнения работы не меньше времени окончания предшествующей работы. Ограничение 5 – неотрицательность искоемых переменных. Оптимальное решение определяется методом линейного программирования /1-3/.

1.4 Определение оптимального решения задачи

Оптимальное решение задачи минимизации времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком, определяется М-методом или двухэтапным методом. Эти методы используют искусственные переменные, играющие роль дополнительных остаточных переменных, от которых на последующих итерациях при определении оптимального решения освобождаются.

Алгоритм М-метода (метода больших штрафов) включает этапы:

1 Этап. Приведение математической модели к стандартной форме записи.

2 Этап. Ввод искусственных переменных в ограничения, не имеющих дополнительных остаточных переменных.

3 Этап. Добавление в целевую функцию штрафов.

4 Этап. Согласование целевой функции и ограничений системы ограничений математической модели.

5 Этап. Применение симплекс метода для определения оптимального решения.

Формула согласования целевой функции и ограничений системы ограничений для симплекс таблицы имеет вид:

$$\text{Новая } Z\text{-строка} = \text{старая } Z\text{-строка} + M * R_1 + \dots + M * R_n, \quad (1.3)$$

где M – большое число (штраф),

R_i – искусственная переменная, $i = \overline{1, n}$,

n – количество искусственных переменных /1/.

1.5 Алгоритм решения задачи

Алгоритм решения задачи включает этапы:

1 Этап. Разработка сетевого графика выполнения комплекса работ.

2 Этап. Определение временных параметров событий.

3 Этап. Определение критического пути сетевого графика.

4 Этап. Разработка математической модели оптимизации времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком.

5 Этап. Преобразование математической модели оптимизации времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком, в табличную форму записи.

6 Этап. Определение оптимального решения задачи линейного программирования.

7 Этап. Определение максимального объёма вложенных средств в комплекс работ, позволяющего сократить время критического пути сетевого графика.

1.6 Алгоритм М-метода

Алгоритм М-метода включает этапы:

- 1 Этап. Приведение математической модели к стандартной форме записи.
- 2 Этап. Ввод искусственных переменных в ограничения системы ограничений математической модели.
- 3 Этап. Добавление штрафов в целевую функцию математической модели.
- 4 Этап. Преобразование математической формы записи в симплекс-таблицу начального допустимого решения.
- 5 Этап. Согласование Z-строки симплекс-таблицы начального допустимого решения со строками ограничений симплекс таблицы.
- 6 Определение оптимального плана задачи симплекс-методом.

1.7 Практическая работа № 1. Оптимизация времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком

Цель: получить теоретические знания и практические навыки в разработке программы, формализующей алгоритм решения задачи оптимизации времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком.

Используемые приемы и технологии: Интегрированная среда программирования Microsoft Visual Studio 2019 Community, технология визуального проектирования и событийного программирования, язык программирования Visual C++.

Ключевые термины: сетевой график, математическая модель, целевая функция, система ограничений, М-метод, оптимальное решение, допустимое решение, алгоритм, программа.

1.7.1 Варианты заданий 1

Разработайте визуальное приложение на языке C++, формализующее построение сетевого графика по приведенному перечню работ и их взаимной последовательности, определение критического пути, раннего и позднего сроков совершения событий, резервов времени событий, ранних и поздних сроков начала и окончания работ, полных и свободных резервов времени работ. Проведите оптимизацию времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком. Исследуйте зависимость времени выполнения комплекса работ от объёмов вложенных средств.

Вариант 1

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные варианта 1

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	5	2	0.01
a2	–	8	5	0.02
a3	–	11	7	0.02
a4	a1	6	4	0.03
a5	a1, a2	12	8	0.01
a6	a1, a2, a3	18	14	0.03
a7	a4, a5, a6	7	5	0.02

Вариант 2

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Исходные данные варианта 2

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	9	6	0.01
a2	–	5	2	0.03
a3	a1	11	8	0.02
a4	a1, a2	7	5	0.03
a5	a1, a2	4	2	0.02
a6	a3, a4	13	9	0.03
a7	a1, a5	15	12	0.01

Вариант 3

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Исходные данные варианта 3

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	7	4	0.01
a2	–	11	8	0.02
a3	–	5	3	0.02

Продолжение таблицы 1.3

a4	a1	10	7	0.03
a5	a1, a2, a3	4	1	0.01
a6	a3	13	9	0.03
a7	a3, a4, a5	12	8	0.02
a8	a4	8	5	0.04

Вариант 4

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные варианта 4

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	3	1	0.01
a2	–	4	1	0.02
a3	–	5	2	0.02
a4	a1	8	5	0.03
a5	a1	5	3	0.01
a6	a2, a3	9	6	0.03
a7	a3	6	3	0.02
a8	a2, a3, a4	8	5	0.04
a9	a3, a5, a6	4	2	0.03
a10	a7	6	4	0.04

Вариант 5

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Исходные данные варианта 5

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	6	3	0.01
a2	–	9	5	0.02
a3	–	8	6	0.02
a4	a1	5	2	0.03
a5	a3	3	1	0.02
a6	a3	7	4	0.03

Продолжение таблицы 1.5

a7	a3, a4	9	5	0.02
a8	a1, a2, a5, a6	11	7	0.02
a9	a6	10	6	0.04

Вариант 6

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Исходные данные варианта 6

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	11	6	0.01
a2	–	9	5	0.02
a3	–	7	4	0.02
a4	a2	5	3	0.03
a5	a1	6	2	0.01
a6	a3, a4	8	4	0.03
a7	a2, a3, a4, a5	10	6	0.02
a8	a6	13	9	0.04
a9	a1, a7, a8	15	12	0.03

Вариант 7

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Исходные данные варианта 7

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	3	1	0.02
a2	–	6	2	0.02
a3	–	4	1	0.02
a4	a1	6	3	0.03
a5	a1, a2, a3	4	2	0.01
a6	a3	7	4	0.03
a7	a1, a4, a5	5	3	0.03

Вариант 8

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Исходные данные варианта 8

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	10	6	0.01
a2	–	12	9	0.02
a3	–	9	5	0.02
a4	a1	6	4	0.03
a5	a1, a3	7	3	0.01
a6	a2, a4	9	6	0.03
a7	a1, a2, a4, a5	5	2	0.03

Вариант 9

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Исходные данные варианта 9

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	5	2	0.01
a2	–	6	3	0.02
a3	a1	9	6	0.02
a4	a1, a2	11	7	0.03
a5	a1, a2	4	1	0.02
a6	a3	6	2	0.03
a7	a3	10	6	0.02
a8	a1, a4, a6	8	5	0.01
a9	a1, a4, a5, a6	12	8	0.01

Вариант 10

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Исходные данные варианта 10

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Длительность основных работ	Минимальное время работы	Коэффициент k
a1	–	10	7	0.01
a2	–	9	6	0.02
a3	–	12	8	0.02
a4	a1	7	4	0.03
a5	a1, a2	8	5	0.01
a6	a1, a2, a3	13	9	0.03
a7	a6	15	12	0.02
a8	a4, a5, a7	11	8	0.2
a9	a6	9	6	0.2

1.7.2 Варианты заданий 2

Разработайте визуальное приложение на языке C++, формализующее алгоритм М-метода решения задачи линейного программирования.

Вариант 1

$$\min \leftarrow Z = 4 * x_1 + 3 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 3 * x_1 + 5 * x_2 \geq 8 \\ 6 * x_1 + 4 * x_2 = 12 \\ 5 * x_1 + 7 * x_2 \leq 24 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 3

$$\min \leftarrow Z = 6 * x_1 + 3 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 7 * x_1 + 4 * x_2 \geq 5 \\ 3 * x_1 + 8 * x_2 = 11 \\ 7 * x_1 + 5 * x_2 \leq 26 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 5

$$\min \leftarrow Z = 4 * x_1 + 7 * x_2$$

при ограничениях

Вариант 2

$$\min \leftarrow Z = 5 * x_1 + 2 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 4 * x_1 + 3 * x_2 \geq 5 \\ 5 * x_1 + 4 * x_2 = 9 \\ 6 * x_1 + 3 * x_2 \leq 22 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 4

$$\min \leftarrow Z = 4 * x_1 + 2 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 2 * x_1 + 4 * x_2 \geq 4 \\ 3 * x_1 + 4 * x_2 = 8 \\ 6 * x_1 + 5 * x_2 \leq 21 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 6

$$\min \leftarrow Z = 8 * x_1 + 5 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 6 * x_1 + 2 * x_2 \geq 6 \\ 3 * x_1 + 5 * x_2 = 12 \\ 8 * x_1 + 4 * x_2 \leq 23 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 7

$$\min \leftarrow Z = 6 * x_1 + 5 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5 * x_1 + 4 * x_2 \geq 6 \\ 3 * x_1 + 7 * x_2 = 10 \\ 6 * x_1 + 5 * x_2 \leq 20 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 9

$$\min \leftarrow Z = 7 * x_1 + 3 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5 * x_1 + 3 * x_2 \geq 5 \\ 6 * x_1 + 5 * x_2 = 12 \\ 4 * x_1 + 3 * x_2 \leq 21 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5 * x_1 + 3 * x_2 \geq 3 \\ 4 * x_1 + 3 * x_2 = 9 \\ 7 * x_1 + 5 * x_2 \leq 24 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 8

$$\min \leftarrow Z = 5 * x_1 + 7 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 4 * x_1 + 3 * x_2 \geq 5 \\ 5 * x_1 + 6 * x_2 = 8 \\ 4 * x_1 + 5 * x_2 \leq 24 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Вариант 10

$$\min \leftarrow Z = 3 * x_1 + 4 * x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 5 * x_1 + 3 * x_2 \geq 6 \\ 4 * x_1 + 6 * x_2 = 10 \\ 7 * x_1 + 5 * x_2 \leq 20 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

1.7.3 Методические указания

1 Разработайте алгоритм решения задачи.

2 Разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм решения задачи:

- создайте проект программы;
- настройте свойства формы Form1;
- добавьте компоненты на форму;
- создайте и определите функции обработчика событий.

3 Оформите отчет по практической работе, включающий разделы:

- 1) постановка задачи;
- 2) теоретическое обоснование;
- 3) этапы алгоритма решения задачи;
- 4) скриншоты программы;
- 5) код программы (функции обработчиков событий);
- 6) выводы.

1.7.4 Контрольные вопросы

1 Что понимается под оптимизацией времени выполнения комплекса работ, представленного сетевым графиком?

2 Какие способы сокращения времени выполнения комплекса работ возможны?

3 Какие этапы алгоритма решения задачи?

4 Какую целевую функцию и систему ограничений имеет математическая модель оптимизации времени выполнения комплекса работ?

5 Какие методы определения оптимального решения применяются для решения задачи оптимизации времени выполнения комплекса работ?

6 Какие этапы включает алгоритм М-метода?

2 Вероятностные сетевые графики выполнения комплекса работ

2.1 Основные понятия и определения

Вероятностный сетевой график – сетевой график с детерминированной структурой и случайными временными оценками работ.

Детерминированная структура – структура сетевого графика с точно определёнными операциями и их взаимосвязями.

Стохастическая структура – структура сетевого графика с случайными операциями и их взаимосвязями.

Существуют два вида вероятностных сетевых графиков:

1 функция распределения продолжительности выполнения работ сетевого графика известна;

2 функция распределения продолжительности выполнения работ сетевого графика неизвестна.

2.2 Определение характеристик времени выполнения работ

Вероятностный сетевой график использует случайные времена выполнения работ. В качестве функции распределения времени работы применяют бета-распределение

$$f(t) = \begin{cases} c(t-a)^p (b-t)^q, & a \leq t \leq b \\ 0, & -\infty < t < a, \quad b < t < +\infty \end{cases}, \quad (2.1)$$

где c – нормирующий множитель,

a – оптимистическая оценка времени выполнения работы,

b – пессимистическая оценка времени выполнения работы,

p, q – параметры бета-распределения,

t – время выполнения работы.

Нормирующий множитель c определяется из условия

$$c \int_a^b (t-a)^p (b-t)^q dt = 1. \quad (2.2)$$

Метод определения математического ожидания и дисперсии времени работ сетевого графика на основе трёх оценок использует оптимистическую, пес-

симистическую и наиболее вероятную оценки времени. Математическое ожидание времени выполнения работы определяется по формуле

$$M[t] = \int_a^b tf(t)dt = \frac{(p+q)m + (a+b)}{p+q+2}, \quad (2.3)$$

где m – наиболее вероятная продолжительность работы,
 a – оптимистическая оценка времени выполнения работы,
 b – пессимистическая оценка времени выполнения работы,
 p, q – параметры бета-распределения,
 t – время выполнения работы.

Дисперсия времени выполнения работы определяется по формуле

$$D[t] = \int_a^b t^2 f(t)dt - M^2[t], \quad (2.4)$$

где $M[t]$ – математическое ожидание времени выполнения работы.

После подстановки значения $p+q \approx 4$ в формулу (2.3) математическое ожидание времени выполнения работ определяется по формуле

$$M[t] = \frac{a+4m+b}{6}, \quad (2.5)$$

где m – наиболее вероятная продолжительность работы,
 a – оптимистическая оценка времени выполнения работы,
 b – пессимистическая оценка времени выполнения работы.
 Дисперсия определяется по формуле

$$D[t] = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2. \quad (2.6)$$

Математическое ожидание времени критического пути определяется по формуле

$$M[t_{кр}] = \sum_{(i,j) \in \mu_{кр}} M[t_{ij}], \quad (2.7)$$

где $M[t_{ij}]$ – математическое ожидание времени выполнения работы i, j .

Дисперсия продолжительности критического пути определяется по формуле

$$D[t_{кр}] = \sum_{(i,j) \in \mu_{кр}} D[t_{ij}], \quad (2.8)$$

где $D[t_{ij}]$ – дисперсия выполнения работы i, j .

Вероятность завершения комплекса работ к определённому сроку определяется по формуле

$$P(t_{ф} < T_{пл}) = \Phi(u) + 0.5, \quad (2.9)$$

где $t_{ф}$ – фактическое время выполнения работы,

$T_{пл}$ – плановое (директивное) время выполнения работы,

$\Phi(u)$ – функция Лапласа.

Функция Лапласа определяется по формуле

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2.10)$$

Параметр функции Лапласа определяется по формуле

$$u = \frac{T_{пл} - M(t_{кр})}{\sigma_{кр}}, \quad (2.11)$$

где $T_{пл}$ – плановое (директивное) время выполнения работы,

$M[t_{кр}]$ – математическое ожидание времени критического пути,

$\sigma_{кр}$ – среднее квадратическое отклонение времени критического пути.

Плановое время выполнения работы определяется по формуле

$$T_{пл} = z * \sigma_{T_{кр}} + M[T_{кр}] \quad (2.12)$$

/2, 4/.

2.3 Алгоритм решения задачи

Алгоритм решения задачи включает этапы:

- 1 Этап. Разработка вероятностного сетевого графика выполнения комплекса работ.
- 2 Этап. Определение временных параметров событий сетевого графика.
- 3 Этап. Определение критического пути сетевого графика.
- 4 Этап. Расчёт характеристик времени работ сетевого графика.
- 5 Этап. Определение вероятностей выполнения комплекса работ за плановое время.
- 6 Этап. Определение времени выполнения комплекса работ с вероятностью не менее чем $P = 0.85$.
- 7 Этап. Определение вероятности завершения в плановый срок выбранной работы.
- 8 Этап. Определение времени выполнения выбранной работы с вероятностью не менее чем $P = 0.85$.

2.4 Практическая работа № 2. Расчёт характеристик времени выполнения работ и анализ вероятностного сетевого графика

Цель: получить теоретические знания и практические навыки в разработке программы, формализующей алгоритм решения задачи определения характеристик времени выполнения комплекса работ и анализа вероятностного сетевого графика.

Используемые приемы и технологии: интегрированная среда программирования Microsoft Visual Studio 2019 Community, технология визуального проектирования и событийного программирования, язык программирования Visual C++.

Ключевые термины: вероятностный сетевой график, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, наиболее вероятная оценка, оптимистическая оценка, пессимистическая оценка, функция Лапласа, алгоритм, программа.

2.4.1 Варианты заданий

Разработайте визуальное приложение на языке C++, формализующее построение вероятностного сетевого графика по приведенному перечню, продолжительностям работ и их взаимной последовательности, определение характеристик времени выполнения работ, продолжительностей критического пути по оптимистическим, наиболее вероятным и пессимистическим оценкам времени выполнения работ вероятностного сетевого графика, оценивание вероятностей завершения комплекса работ к определённом сроку, изменяющемуся в диапазоне от оптимистической оценки продолжительности критического пути до пессимистической оценки с шагом равным одному дню, расчёт продолжительности выполнения комплекса работ сетевого графика с вероятностью не менее чем $P = 0.85$, определение вероятности завершения в плановый срок выбранной работы сетевого графика.

Вариант 1

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные варианта 1

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	2	5	7
a2	–	5	8	11
a3	–	7	11	14
a4	a1	4	6	10
a5	a1	8	12	15
a6	a1, a2	14	18	21
a7	a2, a3	5	7	11
a8	a2, a3	8	10	13

Продолжение таблицы 2.1

a9	a2, a3	5	8	12
a10	a4, a6, a7	11	14	17
a11	a8, a10	7	11	15
a12	a8, a10	6	9	12
a13	a8, a10	9	13	16
a14	a8, a10	8	10	13
a15	a5, a11	5	7	9
a16	a9, a12	4	6	8
a17	a9, a12	11	12	15
a18	a13, a15	12	14	17
a19	a13, a15	10	15	18
a20	a14, a16, a18	7	11	14
a21	a14, a16, a18	5	8	11
a22	a17, a20	11	14	16

Вариант 2

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Исходные данные варианта 2

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	6	9	12
a2	–	2	5	8
a3	a1	8	11	14
a4	a1, a2	5	7	9
a5	a1, a2	2	4	6
a6	a3, a4	9	13	15
a7	a1, a5	12	15	18
a8	a1, a5	6	9	12
a9	a6, a7	10	13	17
a10	a6, a7	8	11	14
a11	a6, a7	5	8	12
a12	a9	14	16	18
a13	a9	4	7	9
a14	a8, a10	3	6	10
a15	a11, a12, a14	13	16	19

Продолжение таблицы 2.2

a16	a11, a12, a14	9	12	16
a17	a15	7	9	11
a18	a15	11	13	15
a19	a13, a16, a17	5	8	11

Вариант 3

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Исходные данные варианта 3

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1		4	7	9
a2		8	11	14
a3		3	5	8
a4	a1	7	10	13
a5	a1, a2, a3	1	4	7
a6	a3	9	13	15
a7	a4	8	12	14
a8	a4	5	8	11
a9	a3, a4, a5	13	15	18
a10	a6, a7, a9	8	11	14
a11	a6, a7, a9	6	9	12
a12	a10	5	7	9
a13	a10	10	12	15
a14	a10	11	14	16
a15	a8, a11, a12	7	10	13
a16	a8, a11, a12	4	6	8
a17	a13, a15,	10	13	17
a18	a13, a15	11	15	18
a19	a13, a15	8	10	12
a20	a16, a17	6	8	10
a21	a14, a18	7	9	14

Вариант 4

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Исходные данные варианта 4

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	1	3	5
a2	–	1	4	6
a3	–	2	5	7
a4	a1	5	8	10
a5	a1	3	5	8
a6	a2, a3	6	9	11
a7	a3	3	6	9
a8	a2, a3, a4	5	8	10
a9	a2, a3, a4	2	4	7
a10	a3, a5, a6	4	6	9
a11	a7	9	12	14
a12	a7	7	9	12
a13	a8, a10, a11	12	14	16
a14	a8, a10, a11	6	8	11
a15	a8, a10, a11	8	11	13
a16	a9, a13	11	13	15
a17	a9, a13	4	6	8
a18	a12, a15	10	14	16
a19	a12, a15	3	5	7
a20	a14, a16	6	8	11
a21	a14, a16	9	12	14
a22	a19, a20	14	16	18
a23	a19, a20	8	11	13
a24	a17, a21, a22	7	10	12

Вариант 5

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные данные варианта 5

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	3	6	8
a2	–	5	9	1
a3	–	6	8	10
a4	a1	2	5	9
a5	a3	1	3	5
a6	a3	4	7	11
a7	a3, a4	5	9	12
a8	a1, a2, a5, a6	7	11	14
a9	a6	6	10	13
a10	a6	14	16	18
a11	a7, a8, a9	10	12	15
a12	a7, a8, a9	7	9	12
a13	a7, a8, a9	4	6	8
a14	a10, a11	12	14	16
a15	a10, a11	11	13	15
a16	a10, a11	12	15	18
a17	a12, a14	6	8	10
a18	a12, a14	9	11	13
a19	a13, a15, a17	7	10	12
a20	a13, a15, a17	11	14	16
a21	a13, a15, a17	8	12	15
a22	a18, a19	5	7	9
a23	a16, a20			

Вариант 6

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.6

Таблица 2.6 – Исходные данные варианта 6

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	6	11	13
a2	–	5	9	12
a3	–	4	7	10
a4	a2	3	5	8
a5	a2	2	6	9
a6	a2	4	8	11
a7	a2	6	10	13
a8	a3, a6	9	13	15
a9	a3, a6	12	15	17
a10	a4, a7, a8	6	9	12
a11	a4, a7, a8	9	12	14
a12	a9	12	14	16
a13	a9	14	16	19
a14	a5, a10, a12	5	7	9
a15	a5, a10, a12	6	8	10
a16	a5, a10, a12	11	13	15
a17	a14	16	18	20
a18	a14	4	6	8
a19	a14	8	10	13
a20	a11, a15, a17	9	11	14
a21	a11, a15, a17	11	14	16
a22	a13, a16	8	12	15
a23	a13, a16	6	9	12
a24	a18, a22	10	12	14
a25	a18, a22	5	8	10
a26	a19, a20, a24	8	12	14
a27	a19, a20, a24	9	11	13
a28	a21, a26	9	12	14
a29	a21, a26	5	8	11
a30	a23, a25, a27, a28	7	11	13

Вариант 7

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Исходные данные варианта 7

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	1	3	5
a2	–	2	6	8
a3	–	1	4	6
a4	a1	3	6	9
a5	a1, a2, a3	2	4	7
a6	a3	4	7	10
a7	a3, a4, a5	3	5	8
a8	a3, a4, a5	8	10	12
a9	a3, a4, a5	6	8	10
a10	a6, a7	10	12	14
a11	a6, a7	7	9	11
a12	a6, a7	4	6	9
a13	a8, a10	9	11	13
a14	a8, a10	12	14	17
a15	a11, a13	11	13	15
a16	a11, a13	8	10	12
a17	a11, a13	5	7	9
a18	a9, a12, a15	12	15	17
a19	a16, a18	10	12	15
a20	a16, a18	9	11	13
a21	a14, a17, a19	7	9	11

Вариант 8

Исходные данные для построения сетевого графика приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Исходные данные варианта 8

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	6	10	12
a2	–	9	12	14
a3	–	5	9	13
a4	a1	4	6	9
a5	a1, a3	3	7	10
a6	a2, a4	6	9	11
a7	a2, a4	2	5	7
a8	a1, a2, a4, a5	8	10	12
a9	a1, a2, a4, a5	10	12	14
a10	a6, a8	6	8	10
a11	a6, a8	7	9	12
a12	a6, a8	12	14	16
a13	a6, a8	10	13	15
a14	a7, a10	9	11	13
a15	a7, a10	5	8	11
a16	a11, a14	6	9	12
a17	a11, a14	4	6	9
18	a12, a16	7	10	12
a19	a12, a16	12	14	16
a20	a9, a13, a18	10	12	14
a21	a9, a13, a18	8	10	12
a22	a20	7	9	13
a23	a20	9	11	14
a24	a19, a21, a22	5	7	9
a25	a19, a21, a22	10	12	14
a26	a15, a17, a24	12	14	16

Вариант 9

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Исходные данные варианта 9

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	2	5	7
a2	–	3	6	8
a3	a1	6	9	10
a4	a1, a2	7	11	13
a5	a1, a2	1	4	6
a6	a3	2	6	9
a7	a3	6	10	12
a8	a3	5	8	11
a9	a1, a4, a6	8	12	15
a10	a1, a4, a5, a6	7	10	13
a11	a1, a4, a5, a6	6	8	10
a12	a7, a9, a10	12	14	16
a13	a7, a9, a10	7	9	11
a14	a8, a12	9	11	13
a15	a8, a12	10	12	15
a16	a8, a12	6	8	10
a17	a8, a12	4	6	9
a18	a11, a13, a14	5	7	10
a19	a11, a13, a14	12	15	17
a20	a15	10	13	15
a21	a15	8	10	12
a22	a16, a18, a20	5	7	9
a23	a16, a18, a20	7	9	11
a24	a17, a19, a22	9	13	15

Вариант 10

Исходные данные для построения сетевого графика представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Исходные данные варианта 10

Основные работы	Работы, предшествующие основной	Минимальное время выполнения работы, дни	Наиболее вероятное время выполнения работ, дни	Максимальное время выполнения работы, дни
a1	–	7	10	12
a2	–	6	9	11
a3	–	8	12	14
a4	a1	4	7	9
a5	a1	5	8	11
a6	a2, a4	9	13	15
a7	a2, a4	12	15	17
a8	a2, a4	8	11	13
a9	a3, a6	6	9	11
a10	a5, a7, a12	9	11	13
a11	a5, a7, a12	13	15	17
a12	a8, a9	10	12	14
a13	a8, a9	6	8	11
a14	a8, a9	8	10	12
a15	a10, a13	7	9	11
a16	a10, a13	11	13	15
a17	a10, a13	12	14	16
a18	a14, a15	9	12	14
a19	a14, a15	5	7	10
a20	a16, a18	7	10	13
a21	a16, a18	14	16	19
a22	a16, a18	12	14	16
a23	a11, a17, a20	15	17	19
a24	a21, a23	6	8	10
a25	a21, a23	8	10	12
a26	a19, a22, a24	7	9	11

2.4.2 Методические указания

1 Разработайте алгоритм задачи.

2 Разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм решения задачи:

- создайте проект программы;
- настройте свойства формы Form1;
- добавьте компоненты на форму;
- создайте и определите функции обработчика событий.

3 Оформите отчет по практической работе, включающий разделы:

- 1) постановка задачи;
- 2) теоретическое обоснование;
- 3) этапы алгоритма решения задачи;
- 4) скриншоты программы;
- 5) код программы (функции обработчиков событий);
- 6) выводы.

2.4.3 Контрольные вопросы

1 Что понимается под вероятностным сетевым графиком?

2 Что понимается под детерминированной структурой сетевого графика?

3 Что понимается под вероятностной структурой сетевого графика?

4 Какие варианты исследования вероятностных сетевых графиков?

5 Какую функцию плотности распределения применяют при исследовании вероятностных сетевых графиков?

6 Как определяются числовые характеристики времени выполнения работ вероятностного сетевого графика?

7 Как определяется вероятность выполнения комплекса работ за плановый период времени?

8 Как рассчитывается время, за которое комплекс работ будет выполнен с заданной вероятностью?

3 Основы искусственного интеллекта

Поиск в пространстве состояний (state space search) – группа математических методов, предназначенных для решения задач искусственного интеллекта.

3.1 Постановка задачи поиска в пространстве состояний

Пусть исходная задача описывается множествами (S, F, T) , где S – множество начальных состояний; F – множество операторов, отображающих одни состояния в другие; T – множество целевых состояний.

Задача поиска в пространстве состояний формулируется следующим образом: определить последовательности операторов f_1, f_2, \dots, f_k , которые

преобразуют начальные состояния в конечные. Задача поиска в пространстве состояний описывается с помощью понятий теории графов. Задается начальная вершина (исходное состояние) и множество целевых вершин T . Для построения пространства состояний используются операторы F . Последовательно от корня к вершинам дерева применяются операторы, относящиеся к этому уровню, для построения вершин-преемников следующего уровня (раскрытие вершин). Дуги идентифицируются как операторы преобразования. Получаемые вершины-преемники проверяются: не являются ли они целевыми. Далее переходят к следующему уровню. Терминальные вершины – это вершины, к которым нельзя применить операторы. Раскрытие продолжается до тех пор, пока не будет получена целевая или терминальная вершина. Поиск на графе состояний – процесс построения графа G , содержащего целевую вершину. Такой граф называется графом поиска. Решение задачи поиска в пространстве состояний – определение пути от начального состояния до целевого состояния.

Методы поиска в пространстве состояний:

- поиск в глубину (depth first);
- поиск в ширину (breadth first);
- поиск экстремума (hill climbing);
- метод наименьшей стоимости (least cost) [5].

3.2 Поиск в глубину

Поиск в глубину (depth first) проверяет каждый возможный путь целиком, прежде чем перейти к другому возможному маршруту. При поиске в глубину прежде раскрывается вершина, имеющая наибольшую глубину. Из вершин, расположенных на одинаковой глубине, выбор вершины для раскрытия определяется произвольно. Для сдерживания возможности следования вводится ограничение на глубину. Вершины, находящиеся на граничной глубине, не раскрываются.

Поиск в глубину (depth first) дает посредственные результаты при проверке длинной ветви, не имеющей решения на конце. В этом случае время затрачивается на просмотр последовательности узлов и на возврат к цели [5].

3.3 Поиск в ширину

Поиск в ширину (breadth first) проверяет вершины одного уровня, прежде чем перейти к вершинам, находящимся на следующем более глубоком уровне. Вершины раскрываются в последовательности порождения. Поиск идет по ширине дерева, т. к. раскрытие вершины происходит вдоль одного уровня. Целевая вершина выбирается сразу же после порождения. При поиске в ширину возможно нахождение наиболее короткого пути к целевой вершине, если такой путь есть.

Поиск в ширину (breadth first) легко находит цель, расположенную не слишком глубоко в пространстве поиска. Поиск выполняется неэффективно,

если цель находится на несколько уровней глубже. В этом случае поиск в ширину тратит много времени на этапах отката или возврата на более высокие уровни [5].

3.4 Эвристические методы поиска в пространстве состояний

Эвристические методы поиска в пространстве состояний используются, когда располагают эмпирическими правилами, позволяющими сокращать объем вариантов решений. Эвристическая информация основывается на опыте, интуиции, допущениях разработчика.

Эвристические методы поиска основываются на максимизации или минимизации параметров.

Эвристика – набор правил, увеличивающих вероятность того, что поиск движется в нужном направлении.

При использовании эвристических методов поиска открытые вершины стремятся упорядочить таким образом, чтобы процесс поиска распространился в наиболее перспективных направлениях.

Оценочная функция $f(n)$ – мера, характеризующая перспективность вершины или пути, где эта вершина находится. Функция $f(n)$ – оценка стоимости кратчайшего пути из начальной вершины в целевую при условии, что он проходит через вершину n . При раскрытии вершины или определении пути выбирается вершина с минимальным значением оценочной функции. Оценочная функция должна адекватно характеризовать пространство поиска, т. е. необходим достаточно большой объем знаний о проблемной области и тщательный анализ пространства состояний. На практике использование количественных характеристик и весовых коэффициентов для представления этих знаний себя не оправдывает, так как применение не позволяет эффективно вести поиск решений (могут потребоваться большие объемы вычислений). Кроме того, эвристический поиск с использованием оценочной функции предполагает достоверное знание пространства состояний. В реальной практике при принятии решений сталкиваются с фактами и знаниями недостаточно полными и определенными, на процесс поиска влияет дефицит времени. В этих условиях применяются методы, отличные от формального математического рассуждения. Формальное математическое рассуждение является монотонным, т. е. каждое заключение следует из предыдущего. Монотонность – свойство логических и математических операций (функций), состоящее в том, что направление возможного изменения результата операций зависит только от направления изменения того, над чем эти операции производятся [5].

3.4.1 Поиск экстремума

Поиск экстремума (hill climbing) выбирает в качестве следующего шага вершину, которая ближе расположена от цели (находится дальше других от текущей позиции). Алгоритм поиска экстремума пытается определить маршрут с

минимальным числом пересадок, используя эвристику: чем больше длина маршрута, тем выше вероятность близости к конечной цели, следовательно, количество пересадок минимизируется.

Метод поиска экстремума («восхождения на гору») уменьшает количество узлов, которое необходимо посетить до того, как будет найдено решение.

Недостатки метода экстремума:

- проблема «ложных вершин»;
- проблема плоских участков («плато»), возникающих, когда все последующие шаги одинаково хороши, или одинаково плохи;
- проблема «хребтов», ухудшающая работу метода, т. к. приходится пересекать хребты несколько раз при откате.

Метод поиска экстремума повышает вероятность получения решения [5].

3.4.2 Метод наименьшей стоимости

Метод наименьшей стоимости (least cost) определяет путь минимальной стоимости. Раскрытие вершин производится в порядке возрастания их стоимости. Для каждой вершины необходимо знать минимальную стоимость пути, построенного от начальной вершины до нее.

Применение метода наименьшей стоимости в задаче поиска маршрута означает выбор самого короткого рейса, следовательно, найденный маршрут будет самым коротким. Метод наименьшей стоимости минимизирует длину маршрута от исходной до конечной вершины.

Достоинства и недостатки метода наименьшей стоимости аналогичны достоинствам и недостаткам метода «восхождения на гору» [5].

3.5 Практическая работа № 3. Методы поиска в пространстве состояний

Цель: получить теоретические знания и практические навыки в разработке программы, формализующей алгоритмы методов поиска в пространстве состояний.

Используемые приемы и технологии: интегрированная среда программирования Microsoft Visual Studio 2019 Community, технология визуального проектирования и событийного программирования, язык программирования Visual C++.

Ключевые термины: пространство состояний, начальное состояние, целевое состояние, оператор, эвристика.

Постановка задачи: разработайте программное приложение, формализующее алгоритм определения пути из начального состояния в целевое состояние методами поиска в пространстве состояний.

3.5.1 Варианты заданий

Вариант 1

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 1» (рисунок 3.1).

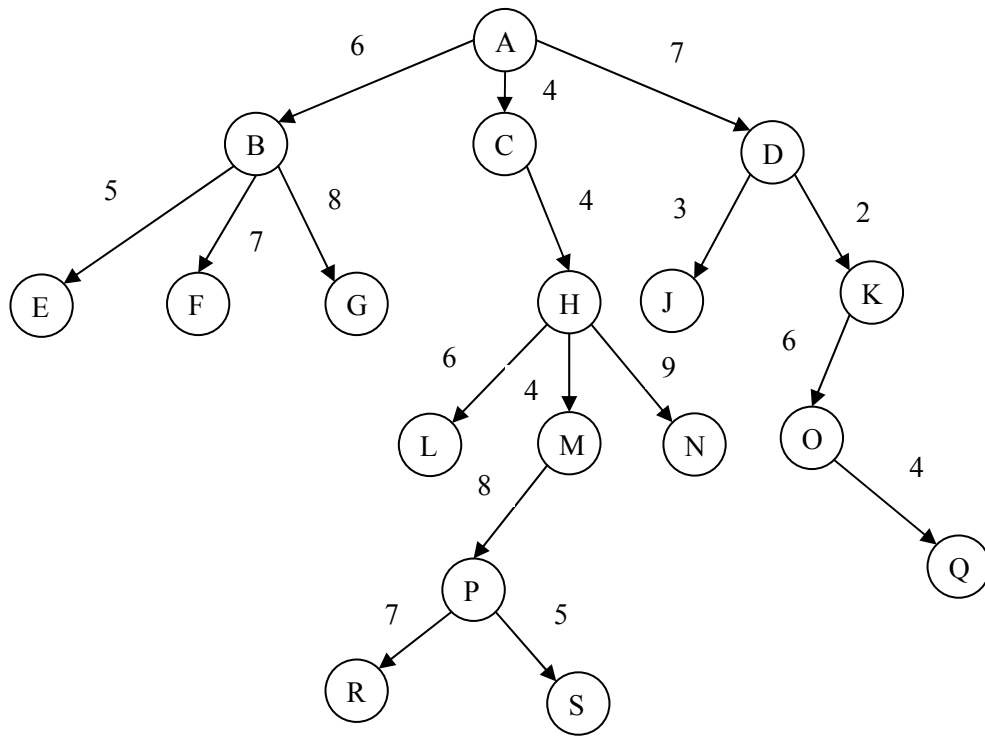


Рисунок 3.1 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 1»

Вариант 2

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 2» (рисунок 3.2).

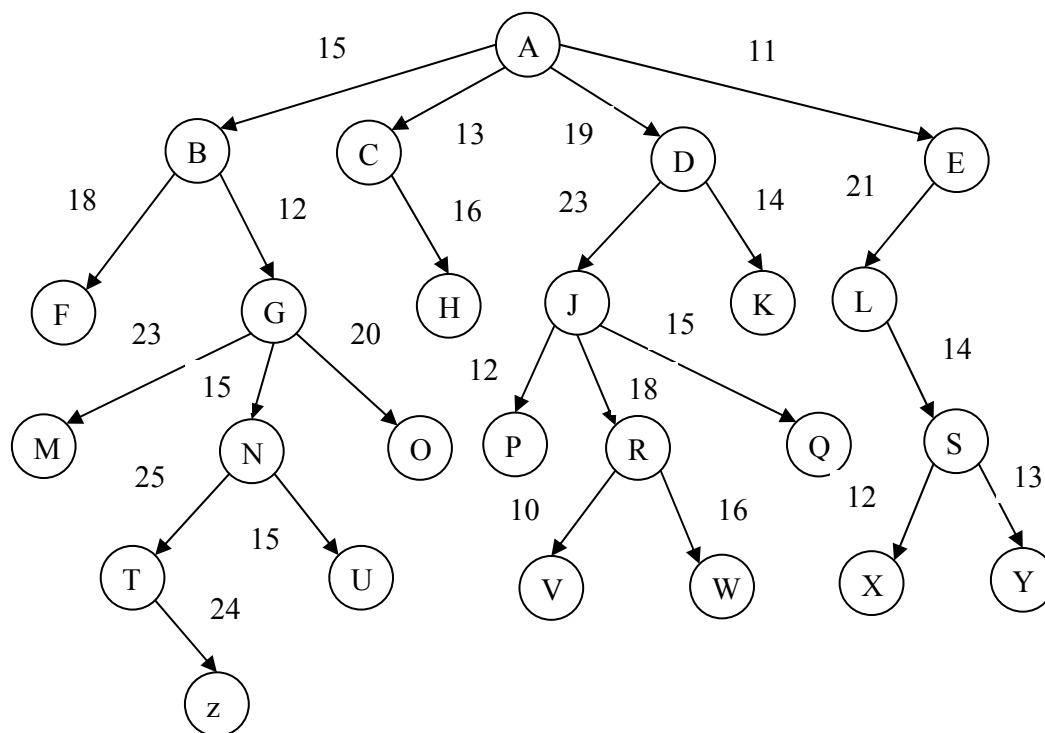


Рисунок 3.2 –Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 2»

Вариант 3

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 3» (рисунок 3.3).

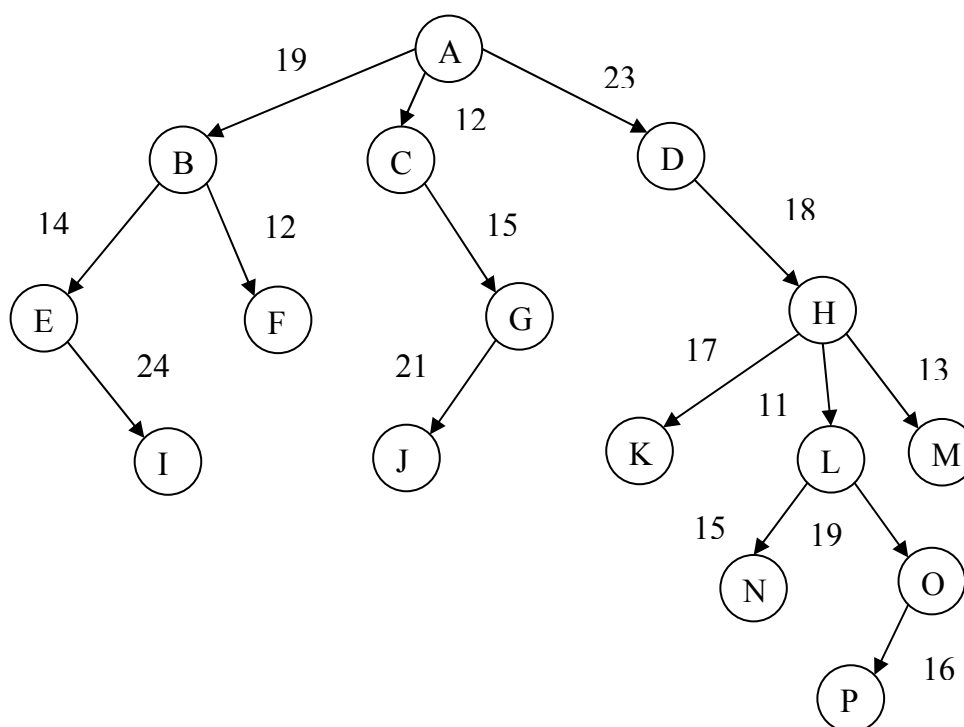


Рисунок 3.3 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 3»

Вариант 4

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот» (рисунок 3.4).

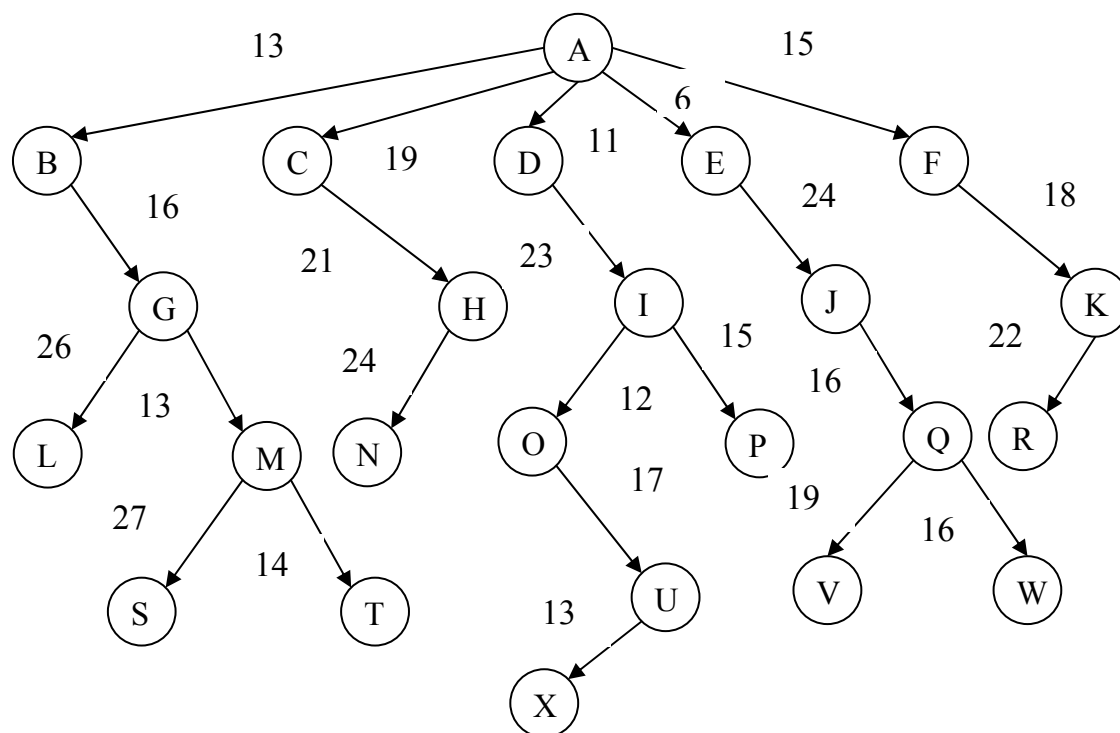


Рисунок 3.4 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 4»

Вариант 5

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 5» (рисунок 3.5).

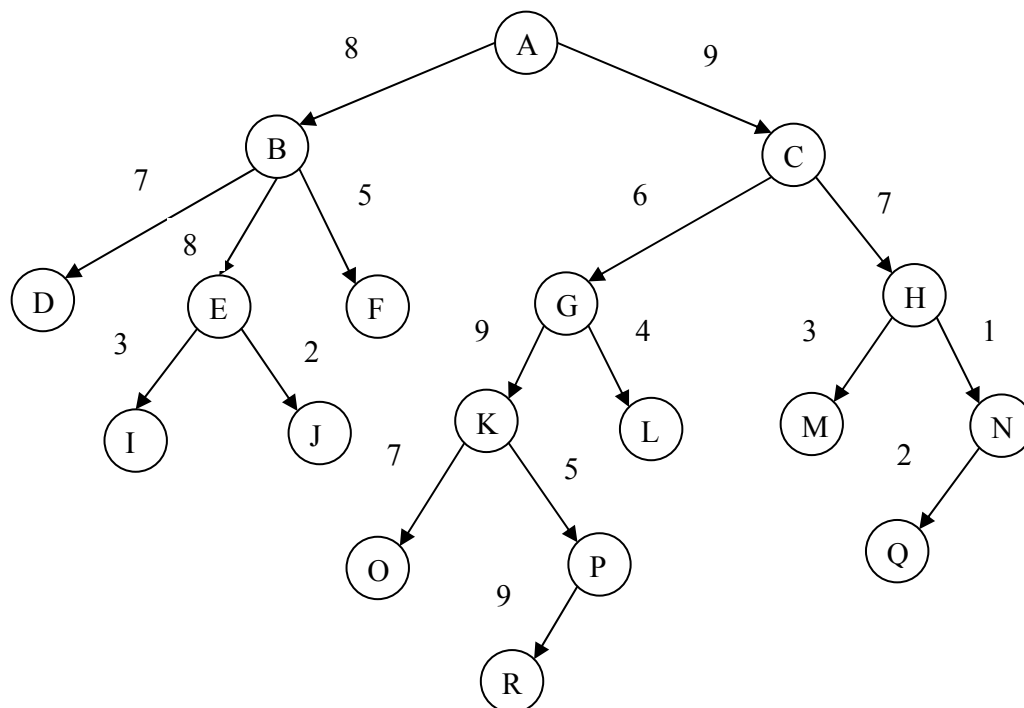


Рисунок 3.5 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 5»

Вариант 6

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 6» (рисунок 3.6).

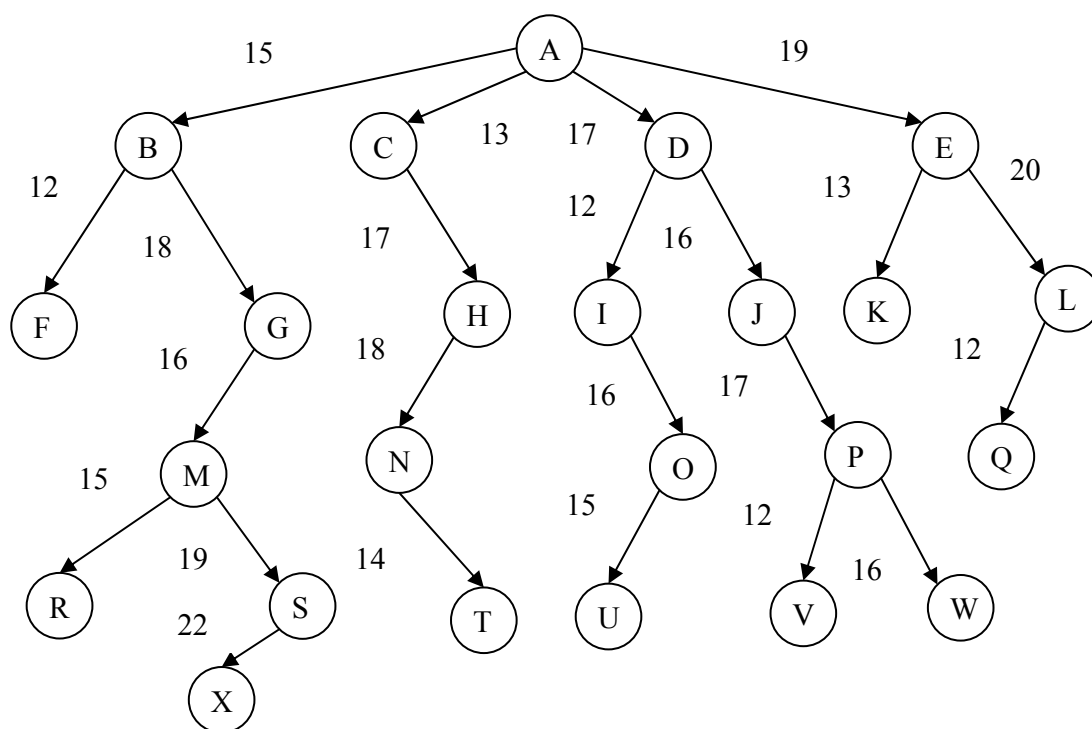


Рисунок 3.6 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 6»

Вариант 7

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 7» (рисунок 3.7).

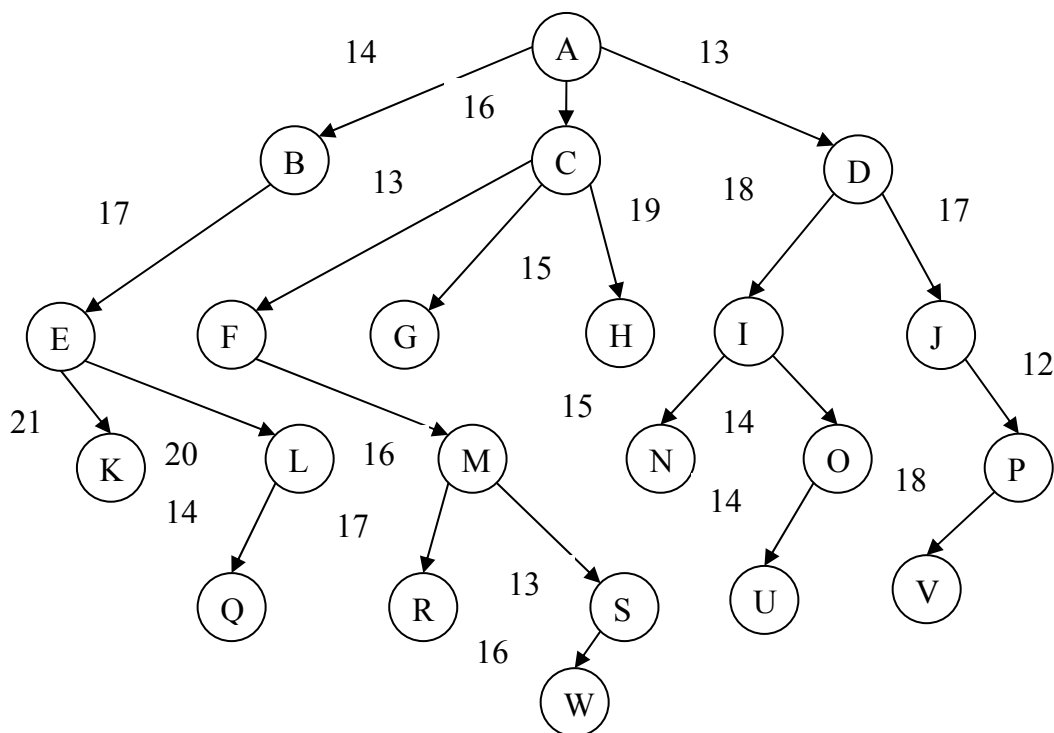


Рисунок 3.7 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 7»

Вариант 8

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 8» (рисунок 3.8).

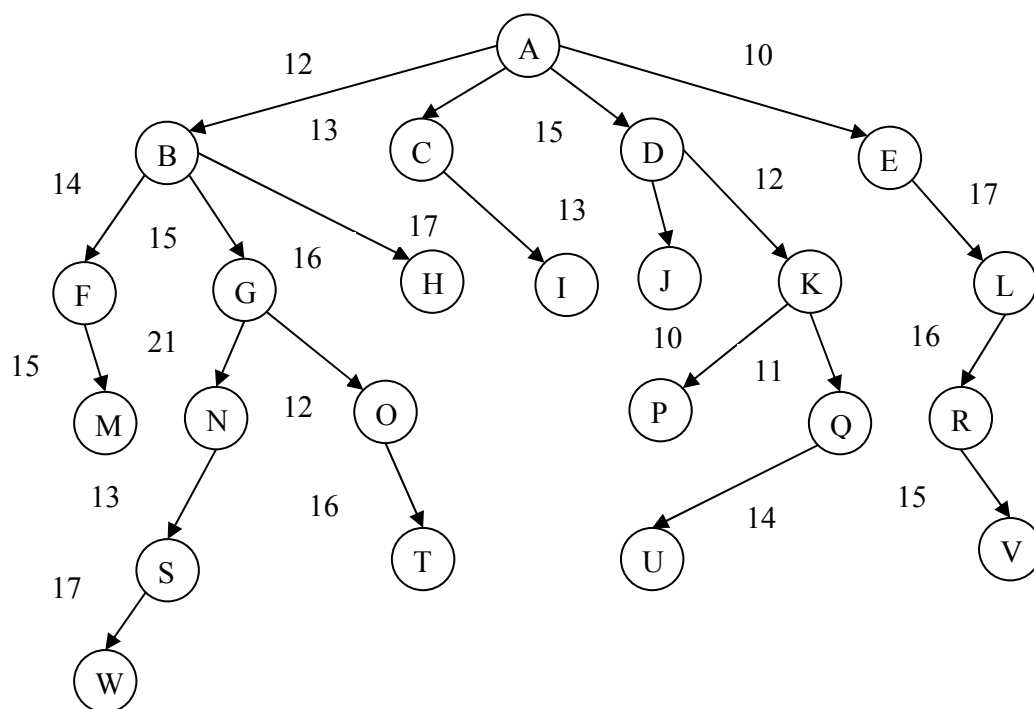


Рисунок 3.8 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 8»

Вариант 9

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 9» (рисунок 3.9).

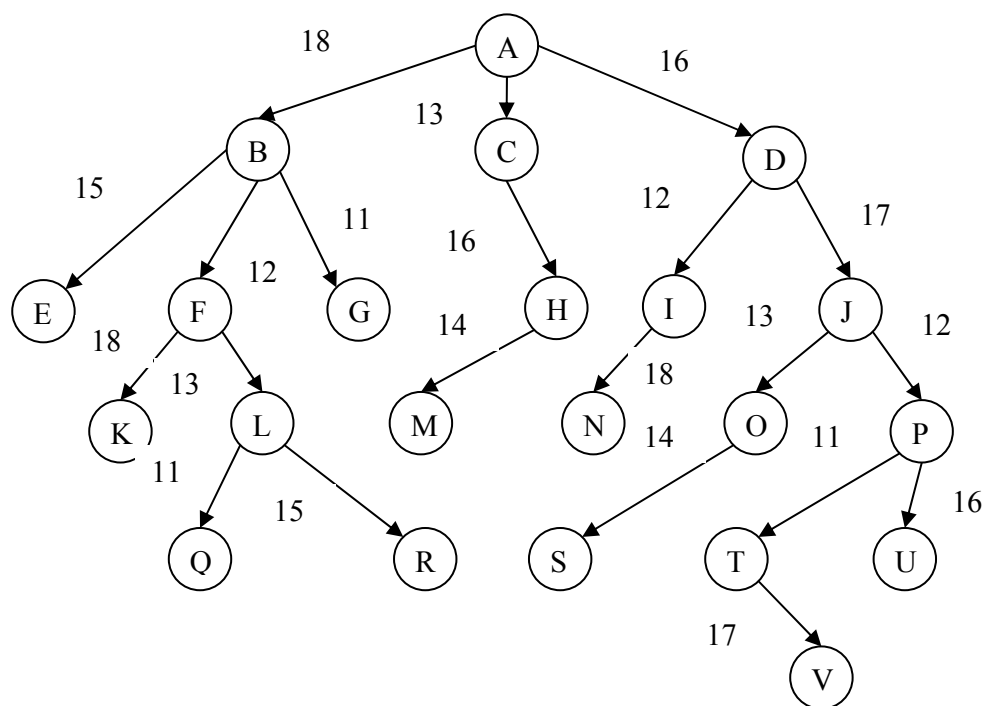


Рисунок 3.9 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 9»

Вариант 10

Направленный граф расписания полётов авиакомпании «Аэрофлот 10» (рисунок 3.10).

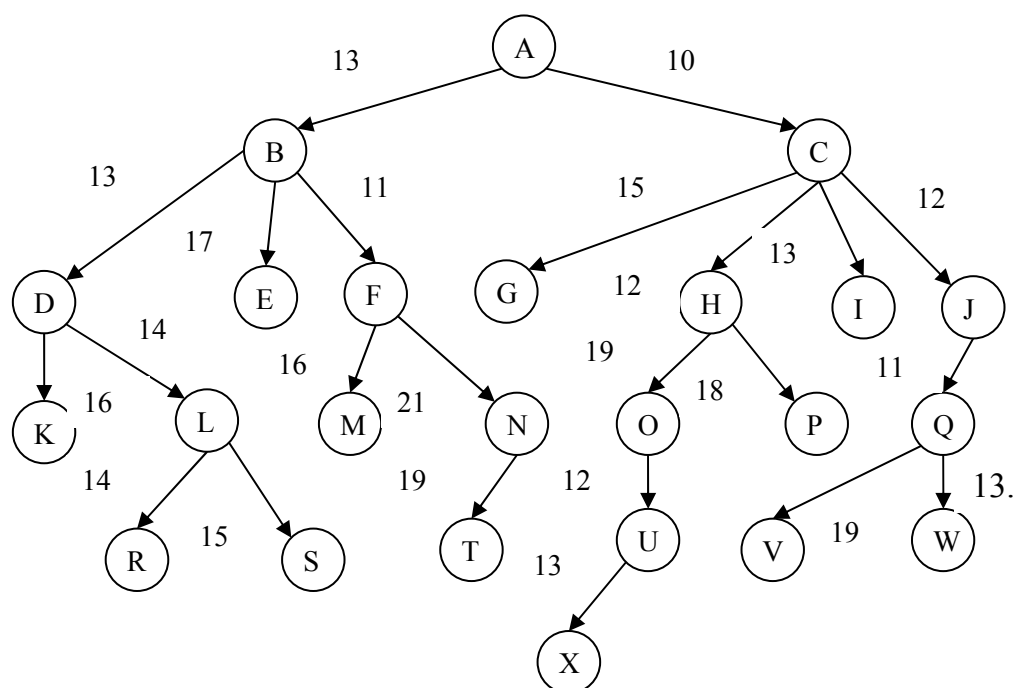


Рисунок 3.10 – Расписание полётов авиакомпании «Аэрофлот 10»

3.5.2 Методические указания

1 Разработайте алгоритм программы.

2 Разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм одного из методов поиска в пространстве состояний:

- создайте проект с помощью мастера Windows Forms Application;
- настройте свойства формы Form1;
- добавьте компоненты на форму;
- создайте и определите функции обработчика событий.

3 Оформите отчет по практической работе, включающий разделы:

- 1) постановка задачи;
- 2) теоретическое обоснование;
- 3) этапы алгоритма решения задачи;
- 4) скриншоты программы;
- 5) код программы (функции обработчиков событий);
- 6) выводы.

3.5.3 Контрольные вопросы

1 Какое определение понятия искусственный интеллект?

- 2 Какие научные направления искусственного интеллекта?
- 3 Какая постановка задачи поиска в пространстве состояний?
- 4 Какие методы поиска в пространстве состояний?
- 5 Какова сущность поиска в глубину?
- 6 Какова сущность поиска в ширину?
- 7 Какие особенности эвристических методов поиска в пространстве состояний?
- 8 Что называется оценочной функцией $f(n)$?
- 9 Какова сущность поиска экстремума?
- 10 Какова сущность метода наименьшей стоимости?

4 Имитационное моделирование систем

Имитационная модель – машинная программа (алгоритм), позволяющая имитировать на ЭВМ поведение элементов системы и связей между ними в течение заданного времени моделирования.

Отличительные особенности имитационной модели:

- при создании имитационной модели достаточно знания алгоритмов, описывающих поведение отдельных элементов системы и связей между ними;
- выявляются связи между параметрами и характеристиками системы, а значения исследуемых характеристик определяются в ходе имитационного эксперимента.

Условия применения имитационной модели:

- системы любой сложности;
- в случае, когда невозможно применения аналитической модели.

Достоинства имитационной модели:

- единственный метод исследования;
- исследование системы на различных уровнях детализации;
- исследование динамики взаимодействия элементов системы во времени и пространстве параметров системы;
- оценивание характеристики системы в определённые моменты времени.

Недостатки имитационного моделирования:

- большие финансовые и временные затраты на разработку имитационной модели;
- невозможно выявление общих закономерностей функционирования классов систем [6, 7].

4.1 Этапы имитационного моделирования

Процесс имитационного моделирования систем включает этапы:

- 1) построение математической (концептуальной) модели;
- 2) разработка моделирующего алгоритма и построение имитационной модели;

3) исследование системы с помощью имитационной модели (проведение имитационных экспериментов, обработка и интерпретация результатов).

Процесс имитационного моделирования представлен на рисунке 4.1.

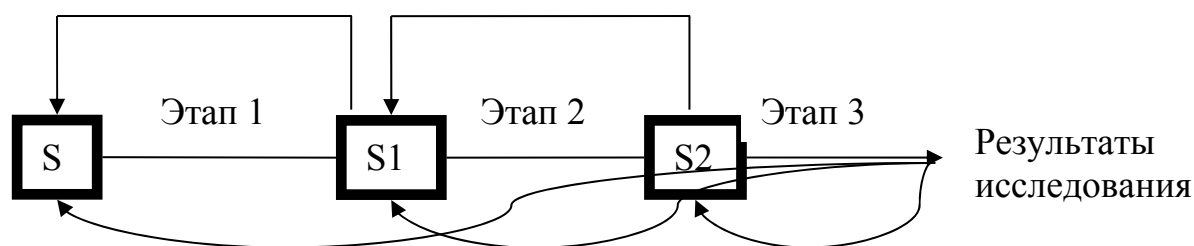


Рисунок 4.1 – Процесс имитационного моделирования

Концептуальная модель $S1$ системы представляет упрощенное математическое или алгоритмическое описание системы. Построение концептуальной модели $S1$ системы включает 5 шагов:

1 Постановка задачи и формулировка целей исследования.

2 Анализ системы: декомпозиция системы на элементы, определение связей между элементами.

3 Определение параметров, переменных и пространства состояний системы.

4 Выбор показателей эффективности функционирования.

5 Описание концептуальной модели системы и проверка её адекватности.

Построение имитационной модели включает 5 шагов:

1 Выбор способа имитации, вычислительных и программных средств реализации имитационной модели.

2 Построение логической схемы моделирующего алгоритма.

3 Алгоритмизация математических моделей, описывающих поведение элементов системы и связей между ними в рамках выбранного способа имитации.

4 Разработка имитационной модели (программирование моделирующего алгоритма).

5 Отладка, тестирование и проверка адекватности имитационной модели.

Исследование системы с помощью имитационной модели включает три шага:

1 Планирование имитационных экспериментов.

2 Проведение имитационных экспериментов.

3 Обработка, анализ и интерпретация результатов моделирования [6, 7].

4.2 Практическая работа № 4. «Последовательное обслуживание с возвращениями»

Цель: получить теоретические знания и практические навыки в имитационном моделировании систем.

Используемые приемы и технологии: технология визуального проектирования и событийного программирования, среда программирования Visual Studio 2019 Community, язык программирования Visual C++.

Ключевые термины: имитационная модель, генератор псевдослучайных чисел, модельное время, коэффициент масштабирования.

Постановка задачи: разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм решения задачи.

4.2.1 Варианты заданий

Производственная поточная линия включает пункт проверки изделий, пункт настройки и поток изделий (рисунок 4.2). Изделия проверяются в пункте контроля. Пусть n – количество контролёров в пункте проверки, m – количество настройщиков в пункте настройки.

Если в результате проверки изделия обнаружилась некачественная настройка работы, то изделие направляется в пункт настройки. После перенастройки изделие вновь направляется в пункт контроля для повторной проверки качества настройки. После проверки изделия с получением результатов проверки, соответствующих требованиям, изделие направляется в цех упаковки.

Для оценки работы поточной линии определяются статистические данные за период T единиц времени:

- количество изделий, поступивших в систему контроля производственной линии;
- количество изделий, успешно прошедших проверку;
- количество изделий, не прошедших проверку;
- коэффициент загрузки пункта контроля;
- коэффициент загрузки пункта настройки;
- среднее время пребывания изделия в системе;
- средняя длина очереди в пункт контроля;
- средняя длина очереди в пункт настройки.

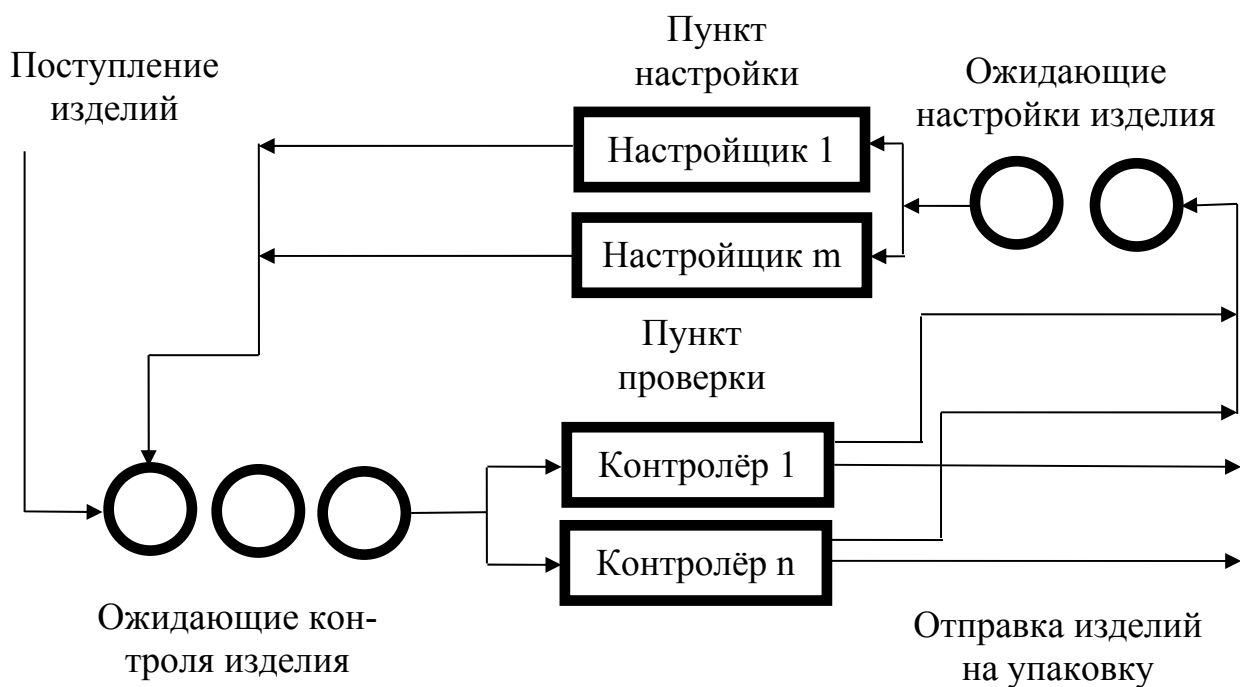


Рисунок 4.2 – Система контроля на производственной линии

Исходные данные задачи по вариантам представлены в таблицах 4.1–4.2.

Таблица 4.1 – Варианты исходных данных для пункта контроля

Вариант	Количество контролёров n , шт.	Минимальное время между прибытиями изделий α , мин	Максимальное время между прибытиями изделий β , мин	Минимальное время проверки изделия φ , мин	Максимальное время проверки изделия ψ , мин	Процент изделий, успешно прошедших контроль, γ , %	Время моделирования T , мин
1	4	2,6	3,7	5	13	85	850
2	5	3,1	4,2	6	16	80	900
3	3	2,5	3,9	7	17	81	950
4	5	3,6	5,4	8	19	82	1000
5	6	2,2	3,6	9	18	83	950
6	6	3,4	4,8	10	16	84	890
7	4	3,3	5,1	8	19	86	960
8	7	2,4	3,8	11	17	87	1050
9	7	3,2	4,5	12	20	88	890
10	6	2,9	4,1	9	21	89	920
11	8	3,5	4,9	10	19	85	860
12	6	2,2	4,7	6	15	86	970
13	4	3,8	5,6	5	16	84	1000

14	9	2,3	4,2	4	14	83	1050
15	5	3,9	4,9	8	19	82	800
16	8	3,6	4,9	11	22	80	400
17	7	2,5	3,6	12	23	75	350
18	6	4,1	5,9	9	20	78	450
19	9	2,7	3,8	10	19	79	500
20	4	3,5	5,5	8	17	76	350
21	3	2,9	3,5	13	21	80	300
22	5	3,6	4,8	14	23	85	450
23	6	3,8	4,7	10	22	84	400
24	8	3,2	4,9	15	24	83	500
25	9	2,9	4,0	5	25	80	800

Таблица 4.2 – Варианты исходных данных для пункта настройки

Вариант	Количество настройщиков m , шт.	Минимальное время настройки изделий δ , мин	Максимальное время настройки изделий ε , мин	Время моделирования T , мин
1	1	25	45	850
2	1	20	42	900
3	1	28	50	950
4	2	27	47	1000
5	3	29	52	950
6	3	30	55	890
7	2	31	54	960
8	4	24	46	1050
9	5	23	47	890
10	3	22	43	920
11	5	21	49	860
12	4	28	55	970
13	3	29	56	1000
14	4	30	57	1050
15	3	31	54	800
16	2	28	53	400
17	4	29	56	350
18	5	20	54	450
19	2	26	49	500
20	4	27	48	350
21	5	28	51	300
22	3	29	49	450
23	2	30	52	400
24	4	28	48	500
25	3	27	52	800

4.2.2 Методические указания

- 1 Разработайте алгоритм решения задачи.
- 2 Разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм решения задачи:
- 3 Оформите отчет по практической работе, включающий разделы:
 - 1) постановка задачи;
 - 2) описание алгоритма решения задачи;
 - 3) скриншоты;
 - 4) листинги программы;
 - 5) результаты моделирования;
 - 6) выводы

4.2.3 Контрольные вопросы

- 1 Какие виды математических моделей применяются при исследовании явлений, процессов и объектов окружающего мира?
- 2 Что понимается под аналитической моделью? Какие условия применения аналитических моделей? Какие достоинства и недостатки аналитических моделей?
- 3 Что понимается под имитационной моделью? Какие отличительные признаки имитационной модели? Какие условия применения имитационной модели? Какие преимущества и недостатки имитационной модели?
- 4 Что понимается под модельным временем?
- 5 Сколько и какие существуют способы формирования конечного множества моментов времени? В чём их особенности?
- 6 Что понимается под коэффициентом масштабирования времени моделирования?
- 7 Что понимается под способом имитации системы?
- 8 Какие существуют способы формирования фазовой траектории (способы изменения $x(t)$)?
- 9 Какие способы имитации существуют в имитационном моделировании?
- 10 Какие этапы и шаги включает имитационное моделирование?

5 Модели систем массового обслуживания

Система массового обслуживания (СМО) – система, которая производит обслуживание поступающих в неё требований. Обслуживание требований в СМО осуществляется обслуживающими приборами.

Теория массового обслуживания, или теория очередей (англ. queueing theory) – раздел теории вероятностей, целью исследований которого является рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящих из неё, длительности ожидания и длины очередей. В теории

массового обслуживания используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Общие характеристики модели систем массового обслуживания:

- пуассоновское распределение вероятностей поступления заявок;
- стандартное поведение клиентов;
- правило обслуживания FIFO;
- единственная фаза обслуживания.

5.1 Модель одноканальной системы массового обслуживания $M/M/1$

Модель одноканальной системы массового обслуживания $M/M/1$ с пуассоновским входным потоком заявок и экспоненциальным временем обслуживания – модель системы массового обслуживания, в которой заявки формируют одну очередь к единственному пункту обслуживания.

Пусть λ – число заявок в единицу времени;

μ – число клиентов, обслуживаемых в единицу времени;

n – число заявок в системе.

Система массового обслуживания $M/M/1$ описывается уравнениями:

1 Среднее число клиентов в системе $L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$.

2 Среднее время обслуживания одного клиента в системе (время ожидания плюс время обслуживания) $W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$.

3 Среднее число клиентов в очереди $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$.

4 Среднее время ожидания клиента в очереди $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$.

5 Характеристика загруженности системы $r = \frac{\lambda}{\mu}$.

6 Вероятность отсутствия заявок в системе $P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$.

7 Вероятность того, что в системе находятся более чем k заявок

$$P_{n>k} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}.$$

5.2 Модель многоканальной системы массового обслуживания $M/M/S$

Многоканальная система массового обслуживания $M/M/S$ имеет два и более каналов. Заявки ожидают в общей очереди и обращаются в первый освободившийся канал обслуживания. Поток заявок подчиняется пуассоновскому закону, время обслуживания – экспоненциальному. Для многоканальной системы

с неограниченной очередью должно выполняться условие $\frac{r}{n} < 1$, где r – среднее число занятых каналов, n – минимальное количество каналов, при котором очередь не будет расти до бесконечности.

Система массового обслуживания $M/M/S$ описывается уравнениями:

1 Вероятность того, что система свободна

$$P_0 = \left(1 + \frac{r}{1!} + \frac{r^2}{2!} + \dots + \frac{r^n}{n!} + \frac{r^{(n+1)}}{n!(n-r)}\right)^{-1}.$$

2 Вероятность того, что в системе находится n заявок $P_n = \frac{r^n}{n!} P_0$.

3 Вероятность того, что заявка окажется в очереди $P_q = \frac{r^{n+1}}{n!(n-r)} P_0$.

4 Среднее число занятых каналов $r = \frac{\lambda}{\mu}$.

5 Среднее число заявок в очереди $L_q = \frac{r^{n+1} P_0}{n * n! (1 - \frac{r}{n})^2}$.

6 Среднее число заявок в системе $L_s = L_q + r$.

7 Время нахождения заявки в очереди $W_q = \frac{1}{\lambda} L_q$.

8 Время нахождения заявки в системе $W_s = \frac{1}{\lambda} L_s$.

5.3 Модель системы с постоянным временем обслуживания $M/D/1$

Модель системы с постоянным временем обслуживания $M/D/1$ имеет постоянное, а не экспоненциально распределённое время обслуживания. Заявки обслуживаются в течение фиксированного периода времени.

Система массового обслуживания $M/D/1$ описывается уравнениями:

1 Средняя длина очереди $L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)}$.

2 Среднее время ожидания в очереди $W_q = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$.

3 Среднее число клиентов системе $L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$.

4 Среднее время ожидания в системе $W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$.

5.4 Практическая работа № 5. Многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью

Цель: получить теоретические знания и практические навыки в моделировании систем массового обслуживания.

Используемые приемы и технологии: технология визуального проектирования и событийного программирования, среда программирования Visual Studio 2019 Community, язык программирования Visual C++.

Ключевые термины: заявка, очередь, темп поступления заявок, темп обслуживания, среднее время, которое заявка проводит в очереди, средняя длина очереди, среднее время, которое заявка проводит в системе обслуживания, среднее число заявок в системе обслуживания, издержки функционирования обслуживания, издержки ожидания.

Постановка задачи: разработайте программное приложение, формализующее алгоритм решения задачи.

5.4.1 Варианты заданий

В системе установлены два прибора обслуживания. Интенсивность входного потока заявок в среднем составляет 1,3 заявки/мин в первой половине рабочего дня и 1,8 заявки/мин во второй половине рабочего дня, в выходные дни – в среднем 2,2 заявки/мин. Среднее время обслуживания заявки составляет 52 с. Требуется провести анализ системы массового обслуживания.

Исходные данные задачи по вариантам представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Интенсивность входного потока заявок λ_1	Интенсивность входного потока заявок λ_2	Интенсивность входного потока заявок λ_3	Среднее время обслуживания заявки $t_{обс}, с$
1	1.15	1.32	5.7	79
2	1.25	1.43	4.4	114
3	1.35	1.54	5.5	94
4	1.45	1.95	6.6	68
5	1.55	1.76	7.7	87
6	1.65	1.67	3.1	101
7	1.75	1.88	3.3	111
8	1.85	1.99	3.1	65
9	1.95	1.36	2.8	99
10	2.1	1.45	4.1	59
11	1.11	1.54	2.9	73
12	1.22	1.96	3.9	48
13	1.34	1.72	4.8	125
14	1.24	1.67	5.2	97

15	1.14	1.38	3.7	82
16	1.94	1.49	5.4	76
17	1.84	1.51	4.3	110
18	1.74	1.92	3.8	91
19	2.10	1.73	3.4	85
20	1.63	1.64	2.5	74
21	1.53	1.55	5.1	63
22	1.43	1.96	4.2	42
23	1.16	1.78	3.6	50
24	1.26	1.69	2.8	86
25	1,30	1,80	2,2	52

5.4.2 Методические указания

1 Разработайте алгоритм решения задачи.

2 Разработайте визуальное приложение, формализующее алгоритм решения задачи:

3 Оформите отчет по практической работе, включающий разделы:

- 1) постановка задачи;
- 2) описание алгоритма решения задачи;
- 3) скриншоты;
- 4) листинги программы;
- 5) выводы

5.4.3 Контрольные вопросы

1 Что понимается под системой массового обслуживания?

2 Что понимается под теорией массового обслуживания?

3 Сколько и какие этапы проходит заявка в системе массового обслуживания?

4 Какие характеристики входа имеет система массового обслуживания?

5 Какие характеристики очереди имеет система массового обслуживания?

6 Какие характеристики обслуживания имеет система массового обслуживания?

7 Какие характеристики используются при анализе систем массового обслуживания?

8 Какие существуют модели систем массового обслуживания?

9 Какие параметры определяются в модели M/M/1 системы массового обслуживания? Приведите примеры расчёта.

10 Какие параметры определяются в модели M/M/S системы массового обслуживания? Приведите примеры расчёта.

11 Какие параметры определяются в модели M/D/1 системы массового обслуживания? Приведите примеры расчёта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания содержат теоретическое обоснование, контрольные вопросы и варианты заданий для выполнения практических работ по дисциплине «Семинары специалистов» (часть 2).

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта по подготовке бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Таха Х. А. Введение в исследование операций/ Х. А. Таха пер. с англ. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 912 с.

2 Костевич Л. С. Математическое программирование: Информ. технологии оптимальных решений : учебное пособие / Л. С. Костевич. – Минск : Новое знание, 2003. – 424 с.

3 Семахин А. М. Линейное программирование в моделировании информационных систем : учебное пособие / А. М. Семахин. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2016. – 68 с.

4 Семахин А. М. Сетевое моделирование информационных систем : учебное пособие/А. М. Семахин. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2016. – 62 с.

5 Шилдт Г. Искусство программирования на С++/Г. Шилдт. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 496 с.

6 Боев В. Д. Имитационное моделирование систем/В. Д. Боев. – Москва : Юрайт, 2017. – 253 с.

7 Акопов А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум / А. С. Акопов. – Москва : Юрайт, 2015. – 343 с.

Семахин Андрей Михайлович

СЕМИНАРЫ СПЕЦИАЛИСТОВ

Методические указания
к выполнению практических работ
для студентов направления подготовки
09.03.04 «Программная инженерия»
Часть 2

Редактор В. С. Никифорова

Подписано в печать 03.06.21

Формат 60x84 1/16

Бумага 80 г/м²

Печать цифровая

Усл. печ. л. 3,37

Уч.-изд. л.3,37

Заказ 72

Тираж 25

БИЦ Курганского государственного университета.

640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.