

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики

Е.В. Кокорева

# **АРХИТЕКТУРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

## **АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ**

Курсовая работа  
Учебно-методическое пособие

Новосибирск 2020

УДК 621.391

**Кокорева Е.В. Архитектура телекоммуникационных систем и сетей. Алгоритмы маршрутизации: учебно-методическое пособие.** – Новосибирск: СибГУТИ, 2020. – 23 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки студентов направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и содержит краткие теоретические сведения об алгоритмах маршрутизации в современных сетях связи, а также о методике их применения для нахождения оптимального маршрута.

Кафедра систем мобильной связи

Таблиц – 15, иллюстраций – 9, литературы – 5 наим.

Рецензент – доцент кафедры телекоммуникационных сетей и вычислительных средств О.И. Моренкова

Утверждено редакционно-издательским советом СибГУТИ в качестве учебно-методического пособия.

© Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики, 2020

## Оглавление

Оглавление .....	2
I. Памятка по выполнению курсовой работы .....	3
II. Критерии выбора оптимального пути продвижения пакета .....	4
III. Маршрутизация на основе выбора кратчайшего пути.....	7
IV. Алгоритм Дейкстры.....	8
V. Алгоритм Беллмана-Форда.....	9
VI. Алгоритм Флойда-Уоршелла.....	10
VII. Примеры применения алгоритмов нахождения кратчайших путей....	11
VIII. Задание.....	16
Литература .....	20

## I. Памятка по выполнению курсовой работы

Курсовая работа предполагает выбор маршрута в сети с коммутацией пакетов по критерию наименьшей стоимости с использованием алгоритмов Дейкстры, Беллмана-Форда или Флойда-Уоршелла. Стоимость каждого канального участка вычисляется по методу, определенному в документации к EIGRP маршрутизации на сайте Cisco [1] для определённого вида передаваемой информации (речи, видео и электронной почты). Стоимость канала между двумя абонентами определяется как сумма стоимостей канальных участков, принадлежащих данному маршруту.

Номер варианта задания определяется по двум последним цифрам пароля. Если номер, образованный этими цифрами, превышает 54, определить его как сумму этих цифр. Если цифры пароля 00, то вариант 10.

В качестве результатов выполнения курсовой работы необходимо представить преподавателю пояснительную записку, которая содержит следующее:

- титульный лист;
- оглавление (с нумерацией страниц);
- задание по варианту;
- краткое теоретическое описание (понятие маршрутизации, описание алгоритма);

---

Примечание: Копипаст материала данного уч.-метод. пособия приниматься не будет.

---

- расчёт стоимостей канальных участков;
- таблицы итераций алгоритма маршрутизации для каждого узла-источника;
- описание результатов выполнения;
- выводы по проделанной работе.

Курсовая работа должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Рисунки, таблицы, формулы и другие объекты должны быть пронумерованы и подписаны в соответствии с ГОСТ 1.5-92 ЕСКД.

## II. Критерии выбора оптимального пути продвижения пакета

Одной из главных задач сетевого уровня OSI является выбор наилучшего маршрута продвижения пакета в сети.

В качестве критериев выбора могут выступать, например:

- количество промежуточных транзитных узлов;
- пропускная способность;
- загруженность каналов связи;
- задержки, вносимые каналами;
- надежность каналов и транзитных узлов и пр.

Каждый из приведённых выше критериев имеет значение для определённого вида трафика. Для упрощения курсовой работы будем считать, что каждый абонент передаёт только один вид информации в соответствии с вариантом (табл. 10), и, следовательно, стоимости канальных участков будут оцениваться применительно к передаваемым данным.

Расчёт стоимости каждого канального участка будем производить по формуле определения метрики протокола EIGRP [1, 2]:

$$Cost_{Chan} = \left( K_1 \cdot BW + \frac{K_2 \cdot BW}{1 - Load} + K_3 \cdot Delay \right) \cdot \left( \frac{K_5}{Reliability + K_4} \right), \quad (1)$$

где:

- $BW$  (англ. *BandWidth*) – пропускная способность в отсутствие загрузки канала:

$$BW = \frac{100}{Bandwidth \text{ [кбум / с]}}, \quad (2)$$

- $Load$  – загрузка канала принимает значение от 0 до 1.
- $Delay$  – суммарная задержка интерфейса маршрутизатора и среды передачи, измеряемая в десятках микросекунд:

$$Delay = \frac{\sum Delay \text{ [мкс]}}{10}, \quad (3)$$

- $Reliability$  – относительная надежность (% пакетов, успешно передаваемых по данному сегменту пути).

Коэффициенты  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  принимают значение 0 или 1 в зависимости от значимости того или иного параметра для данного вида трафика.

Например, при передаче речи важными являются критерии «пропускная способность» и «задержка», а «надёжность» не играет такой роли, поскольку несколько потерянных пакетов человеческое ухо даже не заметит. Аналогично будем оценивать стоимости каналов для передачи видео и электронной почты.

Если  $K_5 = 0$ , то для вычисления стоимости вместо формулы 1 будет использоваться следующая формула:

$$Cost_{Chan} = K_1 \cdot BW + \frac{K_2 \cdot BW}{1 - Load} + K_3 \cdot Delay. \quad (4)$$

### Пример вычисления стоимости канала

Рассмотрим сеть с топологией, представленной на рис. 1 и вычислим для примера стоимости канала №4 для всех видов трафика. Параметры канала заданы в табл. 1.

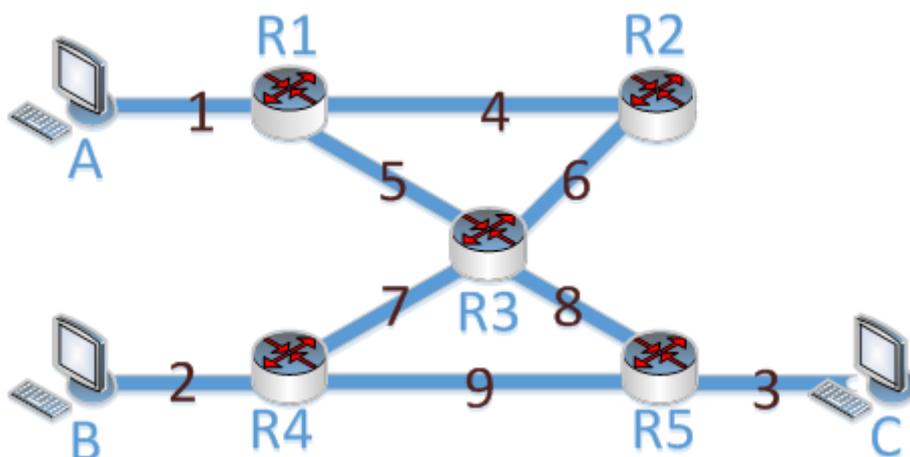


Рис. 1. Пример топологии сети

Характеристики каналов одинаковы в обоих направлениях.

Табл. 1. Параметры канальных участков сети

Канал \ Параметр	Bandwidth, кбит/с	Load	Delay*, мкс	Reliability
4	25	0.3	20	0.8

\* Таблица содержит задержки среды передачи данных. Необходимо также учитывать задержки маршрутизаторов, которые принять равными 5 мкс, а также задержки интерфейсов хостов – 10 мкс.

Вычислим пропускную способность и задержки для канального участка 4 по формулам 2–3:

Пропускная способность каждого канала кбит/с:

$$BW_4 = \frac{100}{25} = 4$$

Суммарные задержки каналов, мкс:

$$Delay_4 = \frac{Delay_{Router} + Delay_{Chan}}{10} = \frac{5 + 20}{10} = 2,5.$$

Проведём расчёт стоимости канального участка по формулам 1 или 4 для разного вида трафика:

### **Речь**

Примем значения коэффициентов:

$$K_1 = 1, K_2 = 0, K_3 = 1, K_4 = 0, K_5 = 0.$$

Тогда стоимость канала будет определена следующим образом:

$$Cost_4 = K_1 \cdot BW + K_3 \cdot Delay = 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2,5 = 6,5.$$

### **Видео**

Примем значения коэффициентов для всех канальных участков:

$$K_1 = 1, K_2 = 1, K_3 = 1, K_4 = 0, K_5 = 0.$$

Тогда стоимость канала будет определена следующим образом:

$$Cost_4 = K_1 \cdot BW + \frac{K_2 \cdot BW}{1 - Load} + K_3 \cdot Delay = 4,0 + \frac{4,0}{0,7} + 2,5 = 12,21.$$

### **Электронная почта**

Примем значения коэффициентов для всех канальных участков:

$$K_1 = 1, K_2 = 1, K_3 = 1, K_4 = 0, K_5 = 1.$$

Тогда стоимости канальных участков будут определены следующим образом:

$$Cost_4 = \left( K_1 \cdot BW + \frac{K_2 \cdot BW}{1 - Load} + K_3 \cdot Delay \right) \cdot \left( \frac{K_5}{Reliability + K_4} \right) =$$

$$= \left( 4,0 + \frac{4,0}{0,7} + 2,5 \right) \cdot \frac{1}{0,8 + 0} = 15,27$$

### **III. Маршрутизация на основе выбора кратчайшего пути**

Одной из главных задач сетевого уровня OSI является выбор наилучшего маршрута продвижения пакета в сети [2–4].

В качестве критериев выбора могут выступать, например:

- количество промежуточных транзитных узлов;
- пропускная способность;
- загруженность каналов связи;
- задержки, вносимые каналами;
- надежность каналов и транзитных узлов и пр.

Каждый из приведённых выше критериев имеет значение для определённого вида трафика.

На основе перечисленных выше критериев вычисляется стоимость каждого канального участка, а их сумма определяет стоимость составного канала между хостами. Оптимальным считается маршрут, обладающий наименьшей стоимостью – кратчайший путь.

Для определения кратчайшего пути могут быть использованы алгоритмы Дейкстры, Беллмана-Форда [2, 3], Флойда-Уоршелла [5], Джонсона, Ли (волновой алгоритм) и др. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

## IV. Алгоритм Дейкстры

Задача заключается в том, чтобы найти самые короткие пути от данного исходного узла до всех других узлов, построив пути в порядке увеличения длины. Алгоритм выполняется поэтапно, и его смысл заключается в том, что на  $k$ -м этапе определяются самые короткие пути к  $k$  узлам, ближайшим к исходному узлу, из них образуется множество  $T$ . На этапе  $k+1$  в  $T$  добавляется новый узел (ранее не входящий в  $T$ ), имеющий самый короткий путь от исходного узла [2, 3].

### Формальное описание алгоритма:

- $N$  – множество узлов сети ( $n$  – номер узла).
- $s$  – исходный узел.
- $T$  – множество уже обработанных узлов сети.
- $w(i, j)$  – стоимость канала от  $i$ -го узла к  $j$ -му,  $w(i, i) = 0$ ;  $w(i, j) = \infty$ , если  $i$  и  $j$  не соединены непосредственно;  $w(i, j) \geq 0$ , если эти узлы соединены напрямую.
- $L(n)$  – стоимость пути минимальной стоимости от узла  $s$  до узла  $n$  на текущем шаге алгоритма.

### Алгоритм выполняется в три шага:

#### 1. Инициализация:

$T = \{s\}$  – множество  $T$  состоит из одного узла-источника;

$L(n) = w(s, n)$  для  $s \neq n$  – начальные стоимости путей к соседним с  $s$  узлам равны стоимости канального участка, стоимости путей к несмежным с  $s$  узлам равны  $\infty$ .

#### 2. Получение следующего узла:

Находим соседний узел, не входящий в  $T$ , который имеет путь минимальной стоимости от узла  $s$  и добавляем в  $T$ . Добавляем канал, соединяющий этот узел и узел, входящий в  $T$ . Можно описать следующим образом:

Найти  $x \notin T$ , такое, что  $L(x) = \min(L(j)), j \in T$ .

#### 3. Обновление путей с минимальной стоимостью:

$L(n) = \min[L(n), L(x) + w(x, n)], \forall n \notin T$ .

Если последний компонент наименьший, то путём от узла  $s$  до узла  $n$  становится путь от  $s$  до  $x$  вместе с участком от  $x$  до  $n$ .

Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока множество  $T$  не станет равным  $N$ , т.е. все узлы сети не будут добавлены к множеству  $T$ .

## V. Алгоритм Беллмана-Форда

Задача заключается в том, чтобы найти самые короткие пути от исходного узла до остальных узлов сети, при условии, что пути содержат не более одного перехода; затем найти самые короткие пути, содержащие не более двух переходов, далее не более трёх и т.д. [2, 3].

### Формальное описание алгоритма:

- $N$  – множество узлов сети.
- $s$  – исходный узел.
- $w(i, j)$  – стоимость канала от узла  $i$  к узлу  $j$ ,  $w(i, i) = 0$ ;  $w(i, j) = \infty$ , если узлы  $i$  и  $j$  не соединены непосредственно;  $w(i, j) \geq 0$ , если узлы соединены напрямую.
- $h$  – максимальное число каналов в пути на текущем этапе алгоритма.
- $L(n)$  – стоимость пути минимальной стоимости от узла  $s$  до узла  $n$ , содержащего не более  $h$  каналов.

### Алгоритм:

#### 1. Инициализация:

$$L_0(n) = \infty, \forall n \neq s, \quad L_h(n) = 0, \forall h.$$

#### 2. Модификация

Для каждого последующего  $h \geq 0$  для каждого  $n \neq s$  вычисляем:

$$L_{h+1}(n) = \min [L_h(j) + w(j, n)].$$

Соединяем узел  $n$  с предшествующим узлом  $j$ , который даёт минимальную стоимость, и удаляем соединение  $n$  с другим предшествующим узлом, построенное на предыдущей итерации. Путь от  $s$  до  $n$  заканчивается каналом от  $j$  до  $n$ .

Шаг 2 алгоритма выполняется до тех пор, пока в таблице происходят изменения.

## VI. Алгоритм Флойда-Уоршелла

Задача заключается в поиске таблицы расстояний для каждой пары вершин. Алгоритм Флойда-Уоршелла предполагает построение данной таблицы путём получения последовательностей [5]:

$$W^{(0)}, \dots, W^{(k-1)}, W^{(k)}, \dots, W^{(N)},$$

где  $W^{(k)}$  – матрица кратчайших путей от узла  $i$  к узлу  $j$ , в которых промежуточные вершины, не могут иметь номера превышающие  $k$ ,  $N$  – количество узлов в сети. Последняя матрица  $W^{(N)}$  содержит длины всех кратчайших путей.

### Формальное описание алгоритма:

- $N$  – Количество узлов сети.
- $D$  – весовая матрица,  $d_{ii} = 0$ ,  $d_{ij} = \infty$ , если нет звена между  $i$ -м и  $j$ -м узлами,  $d_{ij} > 0$ , если есть звено между  $i$ -м и  $j$ -м узлами.
- $k$  – номер промежуточного узла на маршруте между  $i$ -м и  $j$ -м узлами.
- $w^{(k)}(i, j)$  – стоимость канала от узла  $i$  к узлу  $j$ , с учётом промежуточного узла  $k$ ,  $w^{(k)}(i, i) = 0, \quad \forall k$ .

### Алгоритм:

#### 1. Инициализация:

$$k = 0, \quad W^{(0)} = D$$

#### 2. Модификация

Для каждого следующего  $k \geq 1$  определяются стоимости маршрутов между парами узлов  $i$  и  $j$  следующим образом:

$$w^{(k)}(i, j) = \min \left\{ w^{(k-1)}(i, j), w^{(k-1)}(i, k) + w^{(k-1)}(k, j) \right\}.$$

#### 3. Завершение

Алгоритм завершается при  $k = N$ .

## VII. Примеры применения алгоритмов нахождения кратчайших путей

**Пример:** рассмотрим сеть с топологией, представленной на рис. 2. Она повторяет топологию на рис. 1, но отличается тем, что числа, указанные на звеньях, обозначают стоимости канальных участков.

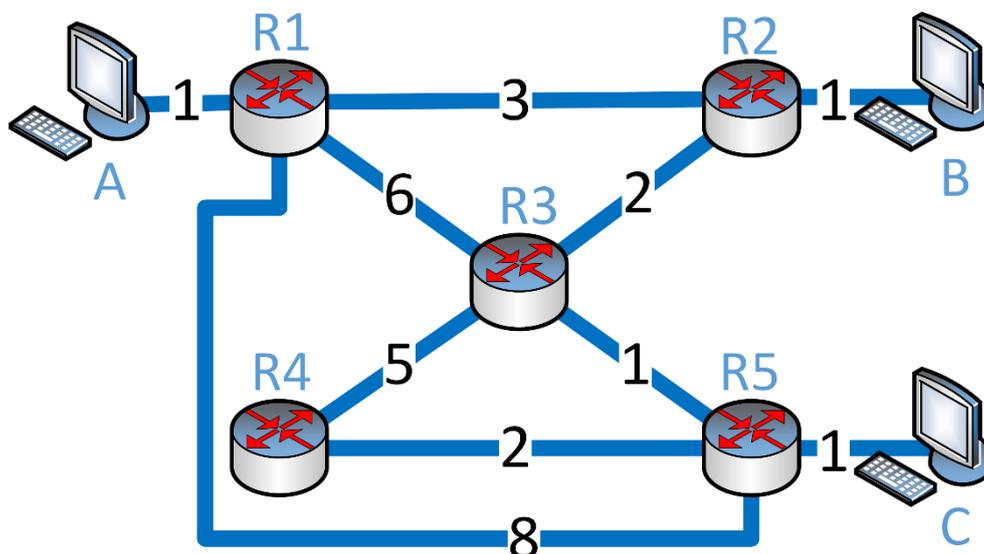


Рис. 2. Пример топологии сети

Задача заключается в том, чтобы определить маршруты с наименьшей стоимостью для всех хостов сети (A, B и C). Поскольку каждый хост подключен к одному роутеру через единственный канал, имеет смысл сначала определить стоимости маршрутов для маршрутизаторов (R1, R2, R5), а затем добавить к ним стоимости каналов к хостам. Будем использовать топологию на рис. 3.

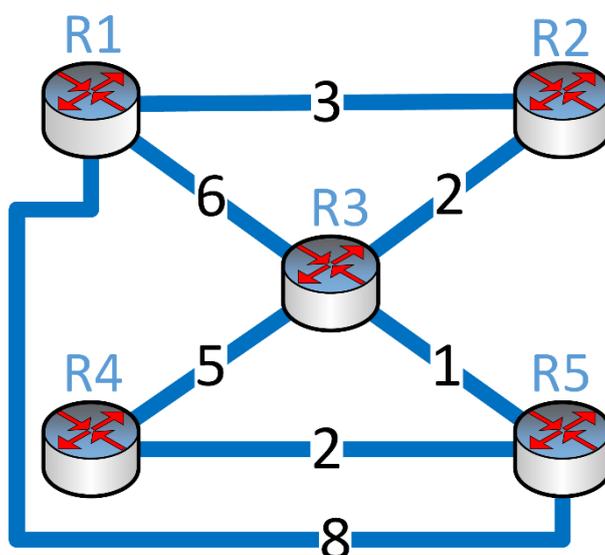


Рис. 3. Вспомогательная топология сети

## 7.1. Алгоритм Дейкстры

Определим маршруты с минимальной стоимостью для маршрутизаторов R1, R2, R5. Табл. 2–4 содержат реализацию алгоритма Дейкстры при построении кратчайших путей. Описанные в таблицах пути содержат только номера маршрутизаторов.

Табл. 2. Кратчайшие пути для R1

Шаг	T	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
1	{R1}	3	1-2	6	1-3	$\infty$	-	8	1-5
2	{R1, R2}	3	1-2	5	1-2-3	$\infty$	-	8	1-5
3	{R1, R2, R3}	3	1-2	5	1-2-3	10	1-2-3-4	6	1-2-3-5
4	{R1, R2, R3, R5}	3	1-2	5	1-2-3	8	1-2-3-5-4	6	1-2-3-5
5	{R1, R2, R3, R5, R4}	3	1-2	5	1-2-3	8	1-2-3-5-4	6	1-2-3-5

Кратчайшие пути:

- от А до В: А-R1-R2-В, Стоимость – 5 (3 + 1\*2).
- от А до С: А-R1-R2-R3-R5-С, Стоимость – 8 (6 + 1\*2).

Табл. 3. Кратчайшие пути для R2

Шаг	T	L(R1)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
1	{R2}	3	2-1	2	2-3	$\infty$	-	$\infty$	-
2	{R2, R3}	3	2-1	2	2-3	7	2-3-4	3	2-3-5
3	{R2, R3, R1}	3	2-1	2	2-3	7	2-3-4	3	2-3-5
4	{R2, R3, R1, R5}	3	2-1	2	2-3	5	2-3-5-4	3	2-3-5
5	{R2, R3, R1, R5, R4}	3	2-1	2	2-3	5	2-3-5-4	3	2-3-5

Кратчайшие пути:

- от В до А: В-R2-R1-А, Стоимость – 5 (3 + 1\*2).
- от В до С: В-R2-R3-R5-С, Стоимость – 5 (3 + 1\*2).

Табл. 4. Кратчайшие пути для R5

Шаг	T	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь
1	{R5}	8	5-1	$\infty$	-	1	5-3	2	5-4
2	{R5, R3}	7	5-3-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4
3	{R5, R3, R4}	7	5-3-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4
4	{R5, R3, R4, R2}	6	5-3-2-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4
5	{R5, R3, R4, R2, R1}	6	5-3-2-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4

Кратчайшие пути:

- от С до А: С-R5-R3-R2-R1-А, Стоимость – 8 (6 + 1\*2).
- от С до В: С-R5-R3-R2-В, Стоимость – 5 (3 + 1\*2).

Заметим, что стоимости канальных участков указаны для одного типа трафика.

## 7.2. Алгоритм Беллмана-Форда

При нахождении маршрутов с наименьшей стоимостью будем использовать топологию, приведённую на рис. 3. Табл. 5–7 содержат реализацию алгоритма Беллмана-Форда при построении кратчайших путей для маршрутизаторов R1, R2, R5.

Табл. 5. Кратчайшие пути для R1

h	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
0	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-
1	3	1-2	6	1-3	$\infty$	-	8	1-5
2	3	1-2	5	1-2-3	10	1-5-4	7	1-3-5
3	3	1-2	5	1-2-3	9	1-3-5-4	6	1-2-3-5
4	3	1-2	5	1-2-3	8	1-2-3-5-4	6	1-2-3-5
5	3	1-2	5	1-2-3	8	1-2-3-5-4	6	1-2-3-5

Кратчайшие пути:

- от А до В: А-R1-R2-В, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).
- от А до С: А-R1-R2-R3-R5-С, Стоимость – 8 ( $6 + 1*2$ ).

Табл. 6. Кратчайшие пути для R2

h	L(R1)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
0	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-
1	3	1-2	2	2-3	$\infty$	-	$\infty$	-
2	3	1-2	2	2-3	7	2-3-4	3	2-3-5
3	3	1-2	2	2-3	5	2-3-5-4	3	2-3-5
4	3	1-2	2	2-3	5	2-3-5-4	3	2-3-5

Кратчайшие пути:

- от В до А: В-R2-R1-А, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).
- от В до С: В-R2-R3-R5-С, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).

Табл. 7. Кратчайшие пути для R5

h	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь
0	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-	$\infty$	-
1	8	5-1	$\infty$	-	1	5-3	2	5-4
2	7	5-3-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4
3	6	5-3-2-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4
4	6	5-3-2-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4

Кратчайшие пути:

- от С до А: С-R5-R3-R2-R1-А, Стоимость – 8 ( $6 + 1*2$ ).
- от С до В: С-R5-R3-R2-В, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).

### 7.3. Алгоритм Флойда-Уоршелла

При нахождении маршрутов с наименьшей стоимостью будем использовать топологию, приведённую на рис. 3.

Весовая матрица содержит стоимости канальных участков между всеми парами узлов сети:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 6 & \infty & 8 \\ 3 & 0 & 2 & \infty & \infty \\ 6 & 2 & 0 & 5 & 1 \\ \infty & \infty & 5 & 0 & 2 \\ 8 & \infty & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}.$$

Табл. 8–13 содержат итерации  $k = 0, 1, 2, \dots, N$  алгоритма Флойда-Уоршелла при построении кратчайших путей для каждой пары узлов.

При  $k = 0$  таблица стоимостей маршрутов полностью соответствует весовой матрице.

Табл. 8. Маршруты  $W^{(0)}$  с промежуточным узлом  $k = 0$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	3	1-2	6	1-3	$\infty$	-	8	1-5
<b>R2</b>	3	2-1	0	-	2	2-3	$\infty$	-	$\infty$	-
<b>R3</b>	6	3-1	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	$\infty$	-	$\infty$	-	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	8	5-1	$\infty$	-	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 9. Маршруты  $W^{(1)}$  с промежуточным узлом  $k = 1$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	3	1-2	6	1-3	$\infty$	-	8	1-5
<b>R2</b>	3	2-1	0	-	2	2-3	$\infty$	-	<b>11</b>	<b>2-1-5</b>
<b>R3</b>	6	3-1	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	$\infty$	-	$\infty$	-	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	8	5-1	<b>11</b>	<b>5-1-2</b>	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 10. Маршруты  $W^{(2)}$  с промежуточным узлом  $k = 2$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	3	1-2	<b>5</b>	<b>1-2-3</b>	$\infty$	-	8	1-5
<b>R2</b>	3	2-1	0	-	2	2-3	$\infty$	-	11	2-1-5
<b>R3</b>	<b>5</b>	<b>3-2-1</b>	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	$\infty$	-	$\infty$	-	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	8	5-1	11	5-1-2	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 11. Маршруты  $W^{(3)}$  с промежуточным узлом  $k = 3$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	3	1-2	5	1-2-3	<b>10</b>	<b>1-2-3-4</b>	<b>6</b>	<b>1-2-3-5</b>
<b>R2</b>	3	2-1	0	-	2	2-3	<b>7</b>	<b>2-3-4</b>	<b>3</b>	<b>2-3-5</b>
<b>R3</b>	5	3-2-1	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	<b>10</b>	<b>4-3-2-1</b>	<b>7</b>	<b>4-3-2</b>	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	<b>6</b>	<b>5-3-2-1</b>	<b>3</b>	<b>5-3-2</b>	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 12. Маршруты  $W^{(4)}$  с промежуточным узлом  $k = 4$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	3	1-2	5	1-2-3	10	1-2-3-4	6	1-2-3-5
<b>R2</b>	3	2-1	0	-	2	2-3	7	2-3-4	3	2-3-5
<b>R3</b>	5	3-2-1	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	10	4-3-2-1	7	4-3-2	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	6	5-3-2-1	3	5-3-2	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 13. Маршруты  $W^{(5)}$  с промежуточным узлом  $k = 5$

Узел	L(R1)	Путь	L(R2)	Путь	L(R3)	Путь	L(R4)	Путь	L(R5)	Путь
<b>R1</b>	0	-	<b>3</b>	1-2	5	1-2-3	<b>8</b>	<b>1-2-3-5-4</b>	<b>6</b>	1-2-3-5
<b>R2</b>	<b>3</b>	2-1	0	-	2	2-3	<b>5</b>	<b>2-3-5-4</b>	<b>3</b>	2-3-5
<b>R3</b>	5	3-2-1	2	3-2	0	-	5	3-4	1	3-5
<b>R4</b>	<b>8</b>	<b>4-5-3-2-1</b>	<b>5</b>	<b>4-5-3-2</b>	5	4-3	0	-	2	4-5
<b>R5</b>	<b>6</b>	5-3-2-1	<b>3</b>	5-3-2	1	5-3	2	5-4	0	-

Табл. 13 содержит кратчайшие пути между маршрутизаторами. Кратчайшие пути между компьютерами:

- от А до В: А-R1-R2-В, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).
- от А до С: А-R1-R2-R3-R5-С, Стоимость – 8 ( $6 + 1*2$ ).
- от В до А: В-R2-R1-А, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).
- от В до С: В-R2-R3-R5-С, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).
- от С до А: С-R5-R3-R2-R1-А, Стоимость – 8 ( $6 + 1*2$ ).
- от С до В: С-R5-R3-R2-В, Стоимость – 5 ( $3 + 1*2$ ).

## VIII. Задание

Вычислить стоимости канальных участков сетевой топологии, используя формулы 1-4, соответствующие заданному трафику согласно варианту. Номер варианта определяется по последним двум цифрам пароля (если цифры пароля 00, то вариант 10). Найти маршруты наименьшей стоимости, связывающие все хосты сети друг с другом, используя алгоритм, заданный по варианту (табл. 15). Параметры канальных участков заданы в табл. 14 в соответствии с видом трафика. Топологии сетей представлены на рис. 4–9.

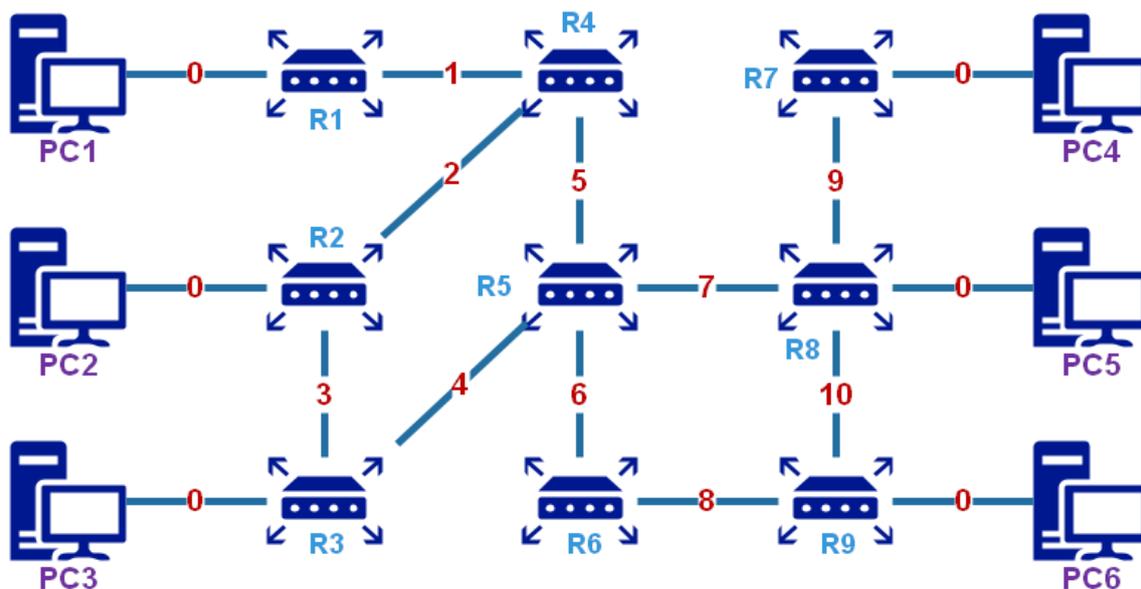


Рис. 4. Топология №1

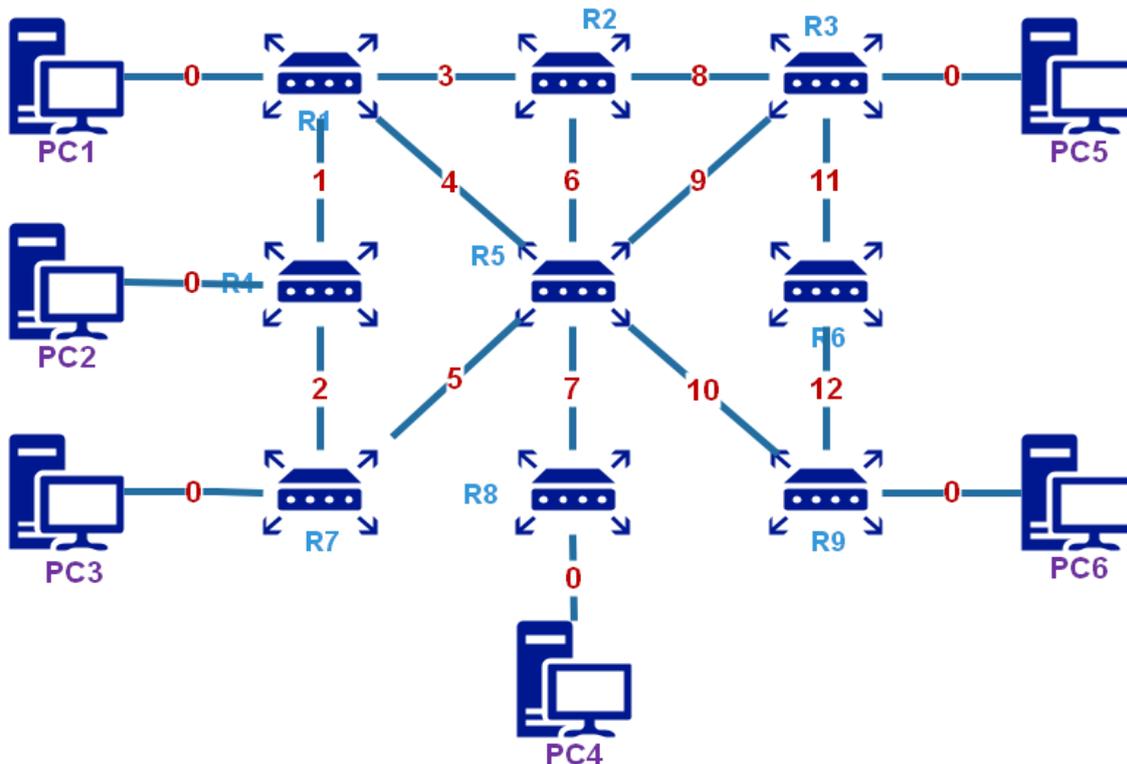


Рис. 5. Топология №2

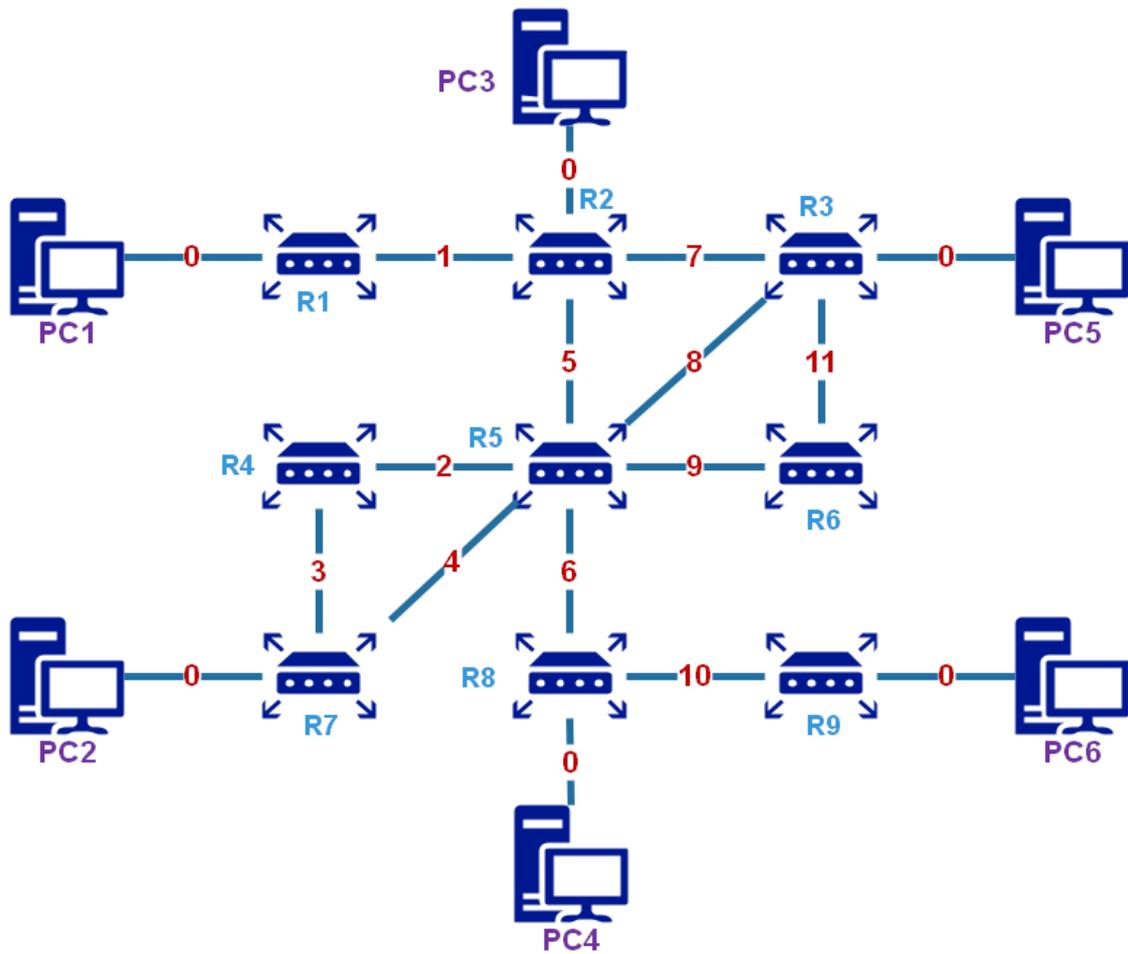


Рис. 6. Топология №3

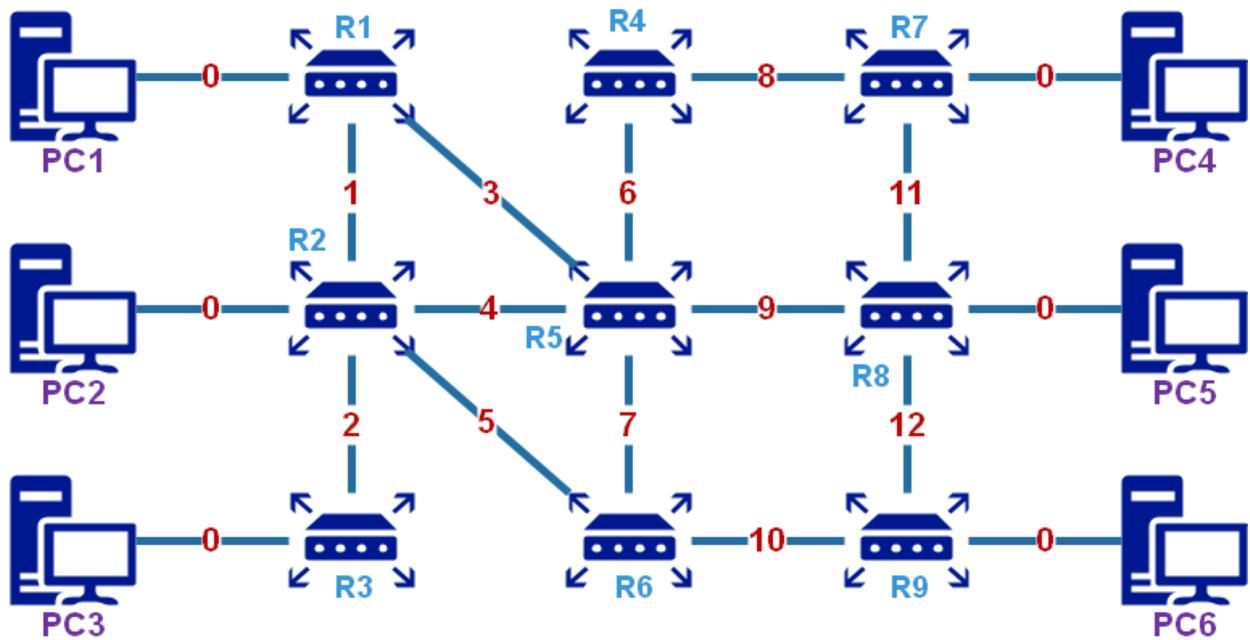


Рис. 7. Топология №4

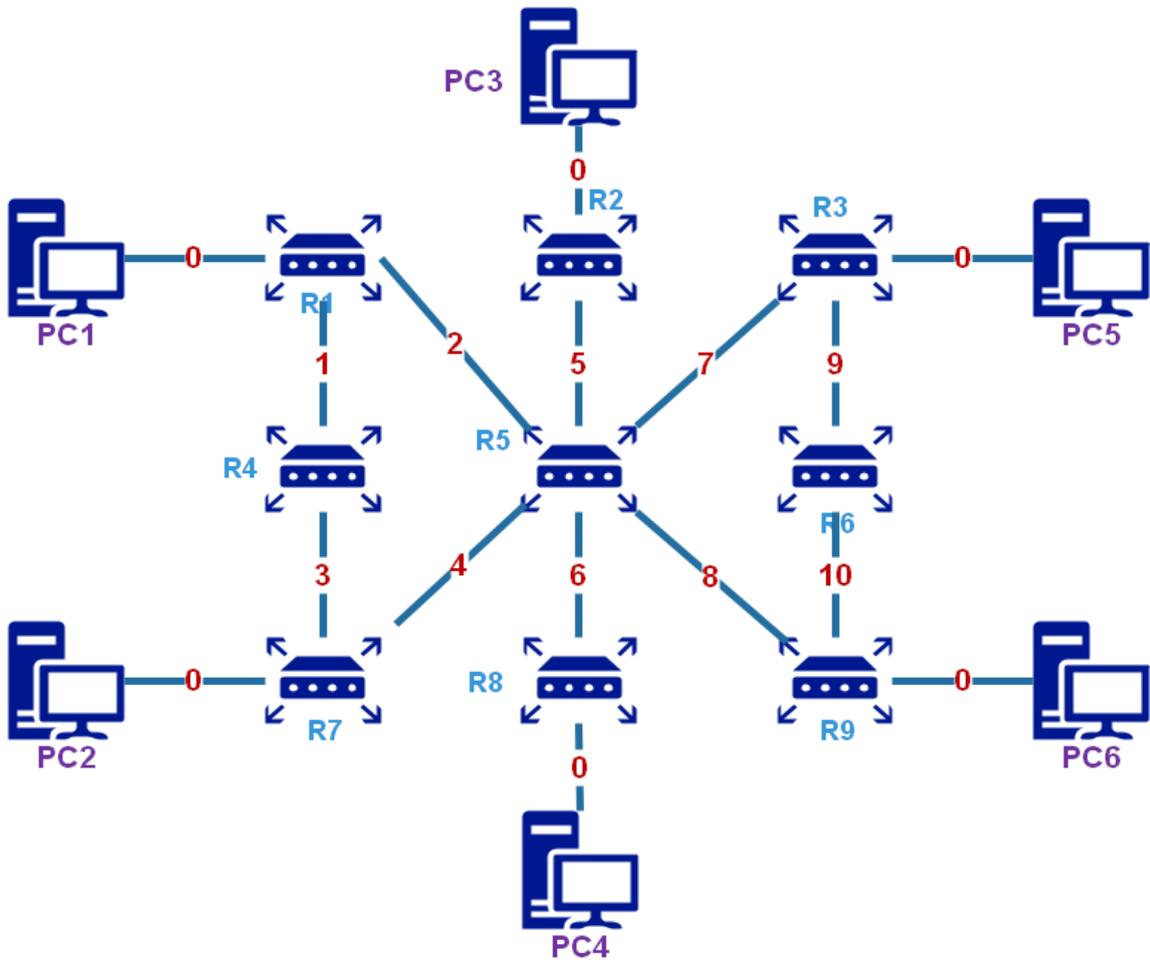


Рис. 8. Топология №5

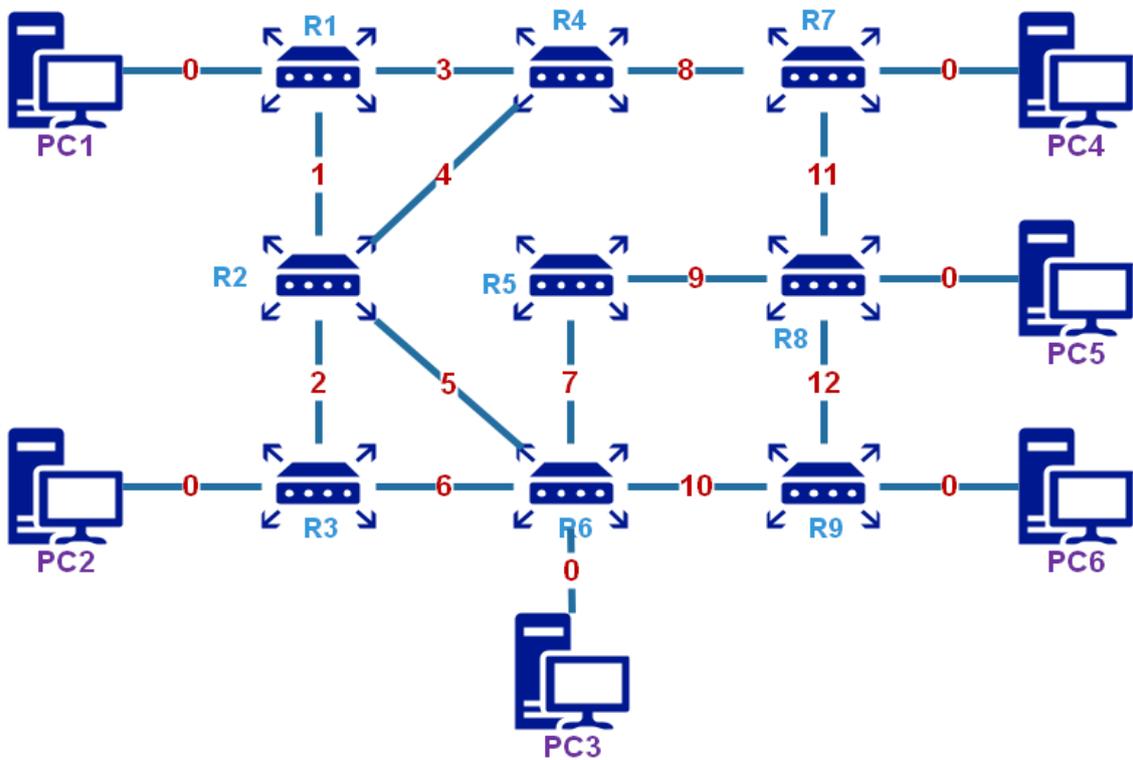


Рис. 9. Топология №6

Табл. 14 содержит параметры канальных участков сети для разных типов трафика.

Табл. 14. Параметры канальных участков

№ канала	Пропускная способность, Кбит/с	Задержка каналов *, мкс	Загрузка	Надёжность
0	25	10	0.2	0.9
1	10	12	0.5	0.7
2	20	40	0.4	0.6
3	5	15	0.2	0.9
4	12	20	0.3	0.6
5	30	10	0.4	0.75
6	15	28	0.1	0.9
7	40	14	0.5	0.8
8	20	25	0.7	0.75
9	50	35	0.6	0.5
10	5	21	0.3	0.6
11	25	16	0.1	0.8
12	30	19	0.2	0.7

Задержки маршрутизаторов принять равными 5 мкс, задержки интерфейсов хостов – 10 мкс.

Варианты заданий сведены в табл. 15.

Табл. 15. Варианты заданий\*

Трафик	Алгоритм	Топология**					
		1	2	3	4	5	6
Речь	Дейкстры	20	48	27	23	19	41
Видео	Беллмена-Форда	13	2	32	9	6	34
Электрон. почта	Флойда-Уоршелла	42	50	14	54	39	3
Видео	Дейкстры	35	38	45	37	44	21
Электрон. почта	Беллмена-Форда	5	15	1	28	12	24
Речь	Флойда-Уоршелла	31	53	43	51	33	7
Электрон. почта	Дейкстры	25	26	18	16	46	30
Речь	Беллмена-Форда	49	8	29	47	52	11
Видео	Флойда-Уоршелла	10	40	22	4	17	36

\* Номера вариантов расположены в ячейках таблицы, заголовки строки и столбца содержат параметры сети. Если цифры пароля 00, то вариант 10.

\*\* Номер топологии (рис. 4–9).

## Литература

1. Протокол EIGRP [электронный ресурс]. – URL: [http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92088\\_eigrp-toc.html](http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92088_eigrp-toc.html)
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы // СПб.: Питер, 2011. – 863 с.
3. Столлингс, В. Современные компьютерные сети: пер. с англ. – 2-е изд. // СПб.: ПИТЕР, 2003. – 782 с.
4. Таненбаум Э., Уэзеролл Э. Компьютерные сети : 5-е изд. // СПб.: ПИТЕР, 2013. – 960 с.
5. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ : пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.

Елена Викторовна Кокорева

# **АРХИТЕКТУРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

## **АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ**

Курсовая работа

Учебно-методическое пособие

Редактор: К.И. Шурыгина

Корректор:

---

Подписано в печать

Формат бумаги 62×84 1/16, отпечатано на ризографе, шрифт №10,

Изд. л. 1,5, заказ №, тираж 5 экз.

СибГУТИ 630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86