

# **Математические модели в сетях связи**

## **(ММвСС)**

**Задание на курсовое проектирование**

**Расчет пропускной способности линий связи**

2023 г.

## **1. Цель работы**

Применение знаний в области моделирования сетей связи с целью расчета параметров сетевых элементов. Целью выполнения задания является расчет требуемых пропускных способностей линий связи в сети с заданными структурными параметрами и требованиями к качеству обслуживания.

## **2. Исходные данные**

Для получения численных значений исходных данных следует:

- открыть файл *task.xlsmt*;
- разрешить выполнение макросов, содержащихся в этом файле;
- в поле код задания ввести уникальный код своего задания:

**Внимание!** Файл корректно работает только в MS Excel

**Код задания** –состоит из 4х цифр – первые две цифры – номер группы, две вторые – номер в списке группы, для однозначных номеров перед номером добавляется ноль (например, группа ИКПИ 67, номер в списке группы 2 – код задания 6702; группа ИКПИ 68, номер в списке группы 21 – код задания 6821).

- нажать на кнопку «генерировать» рядом с полем кода задания.

После этого будет сгенерирован уникальный набор исходных данных, соответствующий коду вашего задания:

*Параметры сети:*

- количество узлов в сети связи  $n$  (20 для всех вариантов),
- интенсивность удельной абонентской нагрузки  $y_0$  (0,1 Эрл для всех вариантов),
- тип кодека (G.711 для всех вариантов),
- скорость потока для данного типа кодека  $a_0$  (85,6 Кбит/с для всех вариантов),
- длина пакета  $L$  (200 байт для всех вариантов),
- количество абонентов в узлах связи (Распределение абонентов по узлам сети - индивидуально),

-матрица расстояний между узлами связи (Матрица расстояний – индивидуальна).

*Требования к качеству обслуживания:*

-начальное требование к величине задержки  $T_0$  (100 мс=0,1с для всех вариантов),

-доля вызовов, обслуженных с гарантированным качеством  $q$  (98% для всех вариантов).

(Данные могут быть получены многократно.)

Структура сети задана неориентированным графом. Вершинами графа являются узлы сети, а ребрами линии связи.

Граф задан матрицей (матрицей расстояний между вершинами).

$$\mathbf{D} = [d_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n$$

$n$  – количество узлов сети.

Пример графа приведен на рис.1

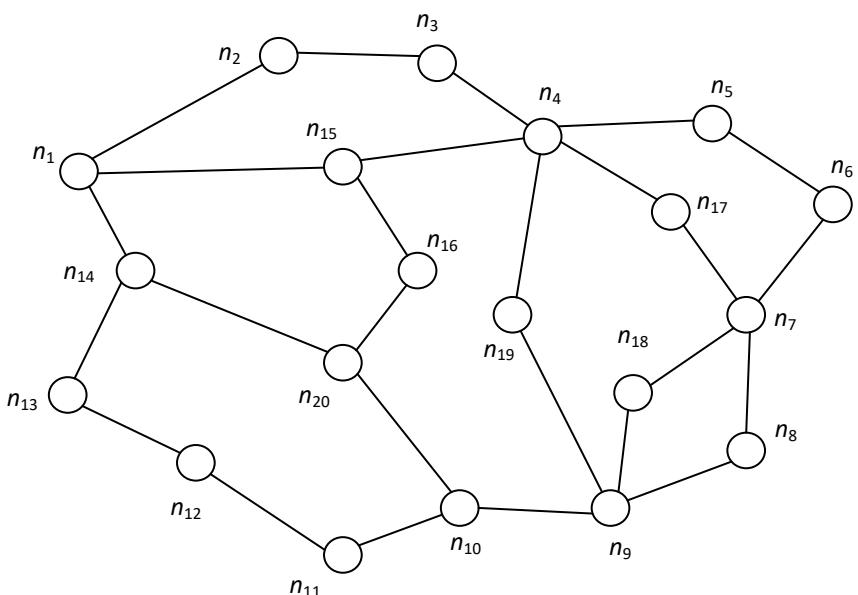


Рис.1 Структура сети связи

-Узлы сети заданы вершинами графа  $n_1 \dots n_{20}$ .

-Каждый из узлов сети может производить «собственный» трафик и может выполнять функции маршрутизации трафика других узлов сети.

-«Собственный» трафик узла связи производят абоненты, подключенные к этому узлу. Количество абонентов определено индивидуальным заданием.

-Линии связи в сети являются *дву направленными* (т.е. если скорость передачи равна  $b$  Мбит/с, то данные по ней могут передаваться независимо в двух направлениях со скоростями  $b$  Мбит/с).

-Трафик между узлами сети распределен *пропорционально их абонентской емкости*.

-Маршрутизация трафика производится по *кратчайшему маршруту*, при этом кратчайшим маршрутом является маршрут с *минимальной длиной*, вычисленной согласно заданной *матрице расстояний* между узлами.

-Все абоненты сети используют только услугу IP телефонии (VoIP).

-Удельная интенсивность абонентской нагрузки определена заданием (0,1 Эрл для всех вариантов).

-Число абонентов, включенных в узлы, задается индивидуально при получении задания на курсовое проектирование (Распределение абонентов по узлам сети).

### **3. Задание**

1. Требуется выполнить расчет величины пропускной способности линий связи, для обеспечения нормы качества обслуживания ( $q$  и  $T_0$ ).

2. Оптимизировать величины пропускной способности линий связи в сети, при целевом значении «сквозной» задержки абонент-абонент  $T_0/2=50$  мс.

#### **4. Указания**

-При выполнении расчета, в качестве норматива качества обслуживания следует принять задержку доставки пакета на линии связи между узлами сети (между окончными узлами сети).

-При расчете принять допустимую начальную величину задержки  $T_0=100$  мс.

-Услуга связи предоставляется с помощью IP телефонии, с использованием кодека G.711. Скорость ПД в канале связи принять равной 85,6 Кбит/с, длину пакета равна 200 байт.

-Доля вызовов, обслуженных с гарантированным качеством  $q$  (98%).

#### **5. Результаты**

В результате расчета должны быть получены пропускные способности линий сети связи, при которых обеспечивается заданная норма качества обслуживания.

**В пояснительной записке следует представить:**

Введение (Цель и план выполнения работы)

1. Задание – исходные данные для выполнения работы.
2. Расчет интенсивности производимого в узлах сети трафика.
3. Расчет коэффициентов распределения трафика по направлениям связи.
4. Расчет интенсивности трафика в направлениях связи.
5. Расчет кратчайших маршрутов между узлами сети.
6. Расчет интенсивности нагрузки на линиях связи.
7. Расчет количества потоков в линиях связи.
8. Расчет интенсивности трафика ПД для линий связи.
9. Расчет пропускной способности линий связи.
10. Оптимизация пропускной способности линий связи (выполняется по согласованию с преподавателем).
11. Выводы (краткое описание полученных результатов).

## **6. План выполнения работы**

### **1. Интенсивность исходящего трафика от каждого из узлов сети**

$$y_i = N_i y_0, \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

$N_i$  – количество абонентов в  $i$ -м узле связи.

### **2. Коэффициенты распределения трафика по направлениям связи**

$$k_{ij} = \frac{y_j}{y_\Sigma}, \quad j = 1 \dots n, \quad y_\Sigma = \sum_{i=1}^n y_i, \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

### **3. Матрица интенсивностей трафика в направлениях связи**

$$\mathbf{Y} = [y_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n \quad (3)$$

$$y_{i,j} = k_{i,j} y_i, \quad i, j = 1 \dots n$$

### **4. Матрица кратчайших маршрутов между вершинами графа**

На основе матрицы расстояний между вершинами графа, используя алгоритм Флойда, получить матрицу кратчайших путей

$$\mathbf{R} = [ ] \quad (4)$$

### **5. Матрица интенсивностей нагрузок на линии связи**

На основе матрицы  $\mathbf{Y}$  и матрицы  $\mathbf{R}$  найти матрицу

$$\tilde{\mathbf{Y}} = [\tilde{y}_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n \quad (5)$$

### **6. Матрица потоков**

На основе матрицы интенсивностей нагрузок на линии связи  $\mathbf{Y}$  и требований к качеству обслуживания  $p_0$ , найти матрицу потоков

$$\mathbf{V} = [v_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n \quad (6)$$

$$v_{i,j} = \arg \min_{v_{i,j}} |p(\tilde{y}_{i,j}, v_{i,j}) - p_0|, \quad p(\tilde{y}_{i,j}, v_{i,j}) \leq p_0 \quad (7)$$

$$p(\tilde{y}_{i,j}, v_{i,j}) = \frac{\frac{\tilde{y}_{i,j}^{v_{i,j}}}{v_{i,j}!}}{\sum_{k=0}^{v_{i,j}} \frac{\tilde{y}_{i,j}^k}{k!}} \quad (8)$$

Требований к качеству обслуживания  $p_0$  определяются на основе заданной доли вызовов, обслуживаемых с гарантированным качеством  $q$ .

$$p_0=1-q/100, \text{ где } q \text{ в \%}. \quad (9)$$

## **7. Интенсивность трафика ПД в линиях связи**

На основе матрицы потоков  $V$  и данных о типе кодека (скорости одного потока) вычисляем матрицу

$$\mathbf{A} = [a_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n \quad (10)$$

$$a_{i,j} = v_{i,j} a_0 \quad (11)$$

Для кодека G.711 примем  $a_0=85,6$  Кбит/с.

## **8. Пропускная способность линий связи**

На основе матрицы интенсивности трафика ПД  $\mathbf{A}$  и данных и требований к величине задержки  $T_0$ , выбрав для расчета модель М/М/1 вычислить матрицу пропускных способностей

$$\mathbf{B} = [b_{i,j}] \quad i, j = 1 \dots n \quad (12)$$

$$b_{i,j} = a_{i,j} + \frac{L}{T_0} \quad (13)$$

## **9. Оптимизация пропускной способности линий связи**

(Данный раздел выполняется по согласованию с преподавателем)

Целью оптимизации пропускной способности является распределение минимального объема ресурса пропускной способности по линиям связи, необходимого для обслуживания трафика при величине задержки не превышающей  $T_{opt}=T_0/2$  от абонента до абонента (на всех маршрутах).

Задачу предлагается решить методом динамического программирования. Алгоритм решения (рис.2):

1. Ввести исходные данные.
2. Получить решение задачи п.1-п.8 для некоторой начальной величины  $T_0$ , заданной для каждой из линий связи. В результате решения будет получено  $k$  соединительных линий между узлами сети и вычислены их пропускные способности  $b_i, i=1 \dots k$ .
3. Задаемся некоторой величиной шага изменения пропускной способности  $dc$  (рекомендуемая величина  $dc=10000$  бит/с).

4. Определяем цикл по  $m=1\dots k$ .

Изменяем (увеличиваем) пропускную способность  $m$ -й линии связи (между узлами  $i$  и  $j$ ) на величину  $dc$

$$b_m = b_m + dc \quad (14)$$

4. Вычисляем задержку на данной линии с учетом сделанной добавки;

При вычислении задержки используем модель М/М/1, т.е. задержка

$$\text{равна } T_m = T_{ij} = \frac{\rho \bar{t}}{1-\rho} + \bar{t} = \frac{\bar{t}}{1-\rho} = \begin{bmatrix} \bar{t} = \frac{L}{b_m} \\ \rho = \frac{a_m}{b_m} \end{bmatrix} = \frac{L}{b_m - a_m} = [c \text{ учетом } dc] = \frac{L}{b_m + dc - a_m}$$

где  $b_m$  - пропускная способность линии (без учета добавки) (бит/с),

$a_m$  - интенсивность трафика на линии (бит/с),

$dc$  – произведенная «добавка» пропускной способности (бит/с).

*Примечание.* При вычислении следует предусмотреть наличие матрицы задержек между каждой парой узлов **DEL**.

$$\mathbf{DEL} = [T_{ij}] \quad i, j = 1\dots n$$

5. Вычисляем задержки на маршрутах с учетом изменения задержки в линии;

Вычисляются задержки во всех маршрутах абонент-абонент, т.е.  $n \times n$  значений.

$$\mathbf{DL} = [dl_{ij}] \quad i, j = 1\dots n$$

$$dl_{ij} = \sum_{k \in r} del_{ik}$$

где  $r$  – множество узлов в маршруте между узлами  $i$  и  $j$

Принадлежность узлов маршруту по матрице маршрутов **R**, вычисленное ранее (она остается неизменной).

*Примечание.* При вычислении следует предусмотреть наличие двух матриц: матрицы задержек между каждой парой узлов **DEL**.

## 6. Вычисляем значение целевой функции

$$O_m = \sum_i^n \sum_{j=1}^n (dl_{i,j} - T_{opt})^2 \quad (15)$$

где  $dl_{i,j}$  - значения из матрицы **DL**.

Значение целевой функции (15) вычисляется в цикле по  $m$  (т.е.  $m$  – раз).

Примечание. Следует предусмотреть матрицу значений целевой функции **O**.

**O** = { $O_m$ },  $m = 1 \dots nls$ , где  $nls$  - количество линий связи в сети.

Для упрощения программы, можно создать матрицу избыточной размерности  $n \times n$ .

7. Выбираем следующее значение  $m=m+1$  и выполняем цикл, идти к 4, пока  $m < k$ .

8. По завершению цикла по  $m$  выбираем ту линию ( $m_o$ ) прибавка пропускной способности к которой дала наименьшее значение целевой функции (15).

$$m_0 = \arg \min_m \{O_m\}$$

9. Выделяем величину  $dc$  для линии  $m_o$ .

$$b_{mo} = b_{ij} = b_{mo} + dc \quad (16)$$

Примечание. В программе оптимизации следует предусмотреть наличие матрицы пропускных способностей **Bo**.

$$\mathbf{Bo} = \{b_{ij}\}$$

10. Проверяем как изменилось значение целевой функции по сравнению с предшествующим значением. Если оно уменьшилось, то продолжаем далее, т.е. идти к 4. Если нет, то останов.

## Рекомендации

Используемые в программе матрицы и данные:

1.  $\mathbf{R} = \lfloor num_{ij} \rfloor \quad i, j = 1 \dots n$  (получена в п.4, не изменяется)

2.  $\mathbf{A} = \lfloor a_{i,j} \rfloor \quad i, j = 1 \dots n$  (получена в п.7, не изменяется),

3.  $\mathbf{Bo} = \{b_{ij}\}, \quad i, j = 1 \dots n$  матрица инициализируется в начале процесса оптимизации значениями из матрицы пропускных способностей  $\mathbf{B}$ , полученной в п.8. В конце процесса оптимизации содержит оптимальные значения пропускных способностей.

4.  $\mathbf{DEL} = \lfloor T_{ij} \rfloor \quad i, j = 1 \dots n$  матрица задержек на каждой из линий связи.

5.  $\mathbf{DL} = \lfloor dl_{ij} \rfloor \quad i, j = 1 \dots n$  матрица задержек в каждом из маршрутов.

6.  $\mathbf{O} = \{O_m\}, \quad m = 1 \dots nls$  матрица значений целевой функции.

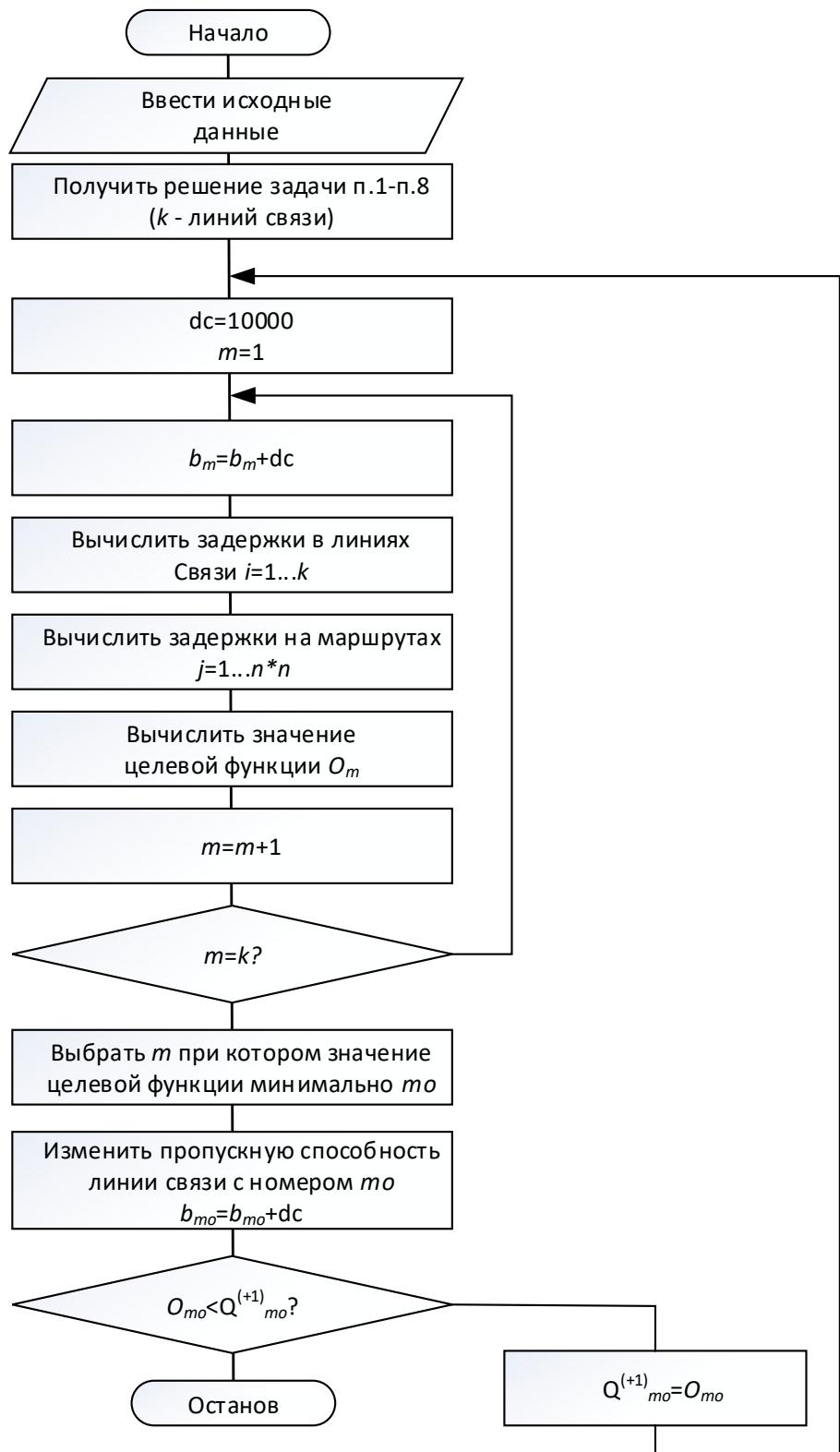


Рис.2 Алгоритм оптимизации пропускной способности