

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

**Методические указания
к практическим занятиям по теме:**

Проектирование городских телефонных сетей

Дисциплина: Сети связи.

Направление подготовки 11.03.02
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»,
профиль Инфокоммуникационные системы и сети

Ростов-на-Дону
2022

Составитель: доцент кафедры «ИТСС», к.т.н., доцент Решетникова И.В.

Данное методическое пособие предназначено для обеспечения проведения лабораторных работ со студентами направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль Инфокоммуникационные системы и сети, квалификации «бакалавр».

Пособие обеспечивает получение навыков по основополагающим вопросам изучаемой дисциплины.

Рецензент: Зав. кафедрой ИТСС, к.т.н., доцент Юхнов В.И.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИТСС 19.12. 2022 г. Протокол №5

Районирование ГТС

Цель работы.

Изучить способы проектирования городских телефонных сетей 3-го класса (ГТС без узлообразования).

Освоить методику определения числа АТС на территории города, местоположения этих АТС и границ станционных районов.

1.1. Дискретная модель ГТС

Районирование связано с проектированием числа, ёмкости, местоположения и границ действия АТС. Районирование непосредственно зависит от территории ГТС, планировки жилого сектора города, распределения телефонной плотности по сети и т. д. Вывести закономерность распределения телефонной плотности по сети практически невозможно, поэтому решение задачи районирования производится на дискретной модели, которая строится следующим образом.

На план телефонизируемой части города наносится координатная сетка

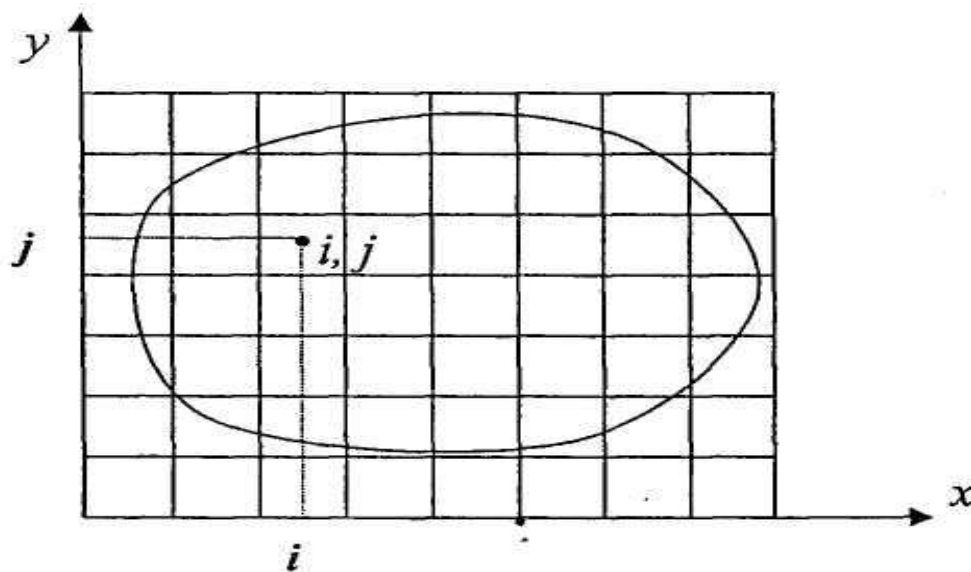


Рис. 1.1. Координатная сетка на карте города.

(рис. 1.1), направление осей координат которой (x, y) совпадает с основным направлением улиц. В каждом квадрате определяется число абонентов. Внутри квадрата телефонная плотность принимается равномерной. Площадь квадрата координатной сетки выбирается исходя из следующих соображений. Чем она меньше, тем точнее можно учесть реальную неравномерность распределения телефонной плотности и, следовательно, получить более точное решение задачи. Однако с увеличением размерности полученной абонентской матрицы объём вычислений на ЭВМ возрастает. Обычно минимальные размеры площади квадрата координатной сетки принимаются $200 \times 200 \text{ м}^2$.

1.2. Определение числа АТС

При равномерном распределении телефонной плотности по территории сети ориентировочное число АТС может быть определено с помощью упрощенной модели ГТС, полученной при следующих допущениях:

- проектируемый район представляется в виде квадрата, площадь которого равновелика площади района;
- телефонная плотность по территории сети распределена равномерно;
- станционные районы принимаются за равные квадраты, в геометрических центрах которых располагаются АТС;
- абонентский кабель прокладывается по взаимно перпендикулярным направлениям.

Обозначим:

N — количество абонентов на сети (номеров);

L — сторона равновеликого квадрата территории сети (км);

S — количество станций на сети;

$C_{ст}$ — затраты на строительство одной станции, которые включают в себя стоимость здания и коммутационного оборудования;

$C_{ал}$ — затраты на одну км-пару абонентской линии.

Затраты на построение сети, отнесённые к единице ёмкости сети, включают в себя затраты на станционные сооружения и сеть абонентских линий:

$$K = C_{ст} \frac{S}{N} + \frac{1}{2} C_{ал} \frac{L}{\sqrt{S}}, \quad (1.1)$$

где $\frac{L}{2\sqrt{S}}$ — средняя длина абонентской линии.

Как показывают расчёты, влияние соединительных линий на количество АТС невелико, поэтому в формуле (1.1) отсутствуют затраты на сеть соединительных линий.

Чтобы найти оптимальное число АТС, следует взять первую производную от функции затрат (1.1) по числу АТС -- S и приравнять её нулю. Решение полученного уравнения даёт следующую формулу:

$$S_0 = \left(\frac{C_{ал} L N}{4 C_{ст}} \right)^{2/3} \quad (1.2)$$

Пример 1.

Для координатной сетки, представленной на рис. 1.2, размеры одного квадрата которой составляют $500 \times 500 \text{ м}^2$, а число абонентов указано в центре квадрата, требуется ориентировочно определить число АТС.

Исходные данные:

$C_{\text{ст}}$ - затраты на одну АТС - 200000 у. е.;

$C_{\text{ал}}$ - затраты на км-пару абонентского кабеля составляют 40 у. е.

Решение.

1. Ёмкость сети определяется по суммарной абонентской ёмкости ГТС и составляет 20000 номеров.

2. Общая площадь района, исходя из числа квадратов, составляет:

$$P = (500 \cdot 500)20 = 5,0 \text{ км}^2.$$

3. При замене территории сети равновеликим квадратом имеем длину его стороны:

$$L = \sqrt{P} = \sqrt{5,0} = 2,24 \text{ км.}$$

4. Оптимальное число АТС определяется по (1.2):

$$S_0 = \left(\frac{40 \cdot 2,24 \cdot 20000}{4 \cdot 200000} \right)^{2/3} = 1,7 \approx 2 \text{ АТС} \quad (1.2)$$

1.3. Определение местоположения АТС и границ станционных районов (алгоритм И. Раппа)

Выбор местоположения АТС и границ станционных районов производится в начале без учёта затрат на межстанционные линии, а затем — с учётом этих затрат. Здесь будет представлен алгоритм выбора местоположения АТС и границ их действия без учёта межстанционных связей.

После определения числа АТС по методу, представленному в пункте 1.2, на основе эвристического анализа плана города станции размещаются ориентировочно в местах с наибольшей телефонной плотностью. Вычерчиваются границы станционных районов с тем, чтобы определить тип абонентского кабеля и, соответственно, затраты на 1 км/пару кабеля C_s ; ($s = \overline{1, S}$), где S - число АТС.

Сущность алгоритма И. Раппа заключается в следующем:

1. Уточняется линия раздела между станциями путём отнесения условного абонента, расположенного в центре квадрата координатной сетки к той АТС_с, для которой будут минимальными затраты на абонентские линии:

$$K^{(s)}_{ij} = C_s l_s(ij),$$

где i, j - координаты

$l_s(i, j)$ - длина

от центра квадрата с координатами (i, j) до АТС_с.

ты абонента;

абонентский линии

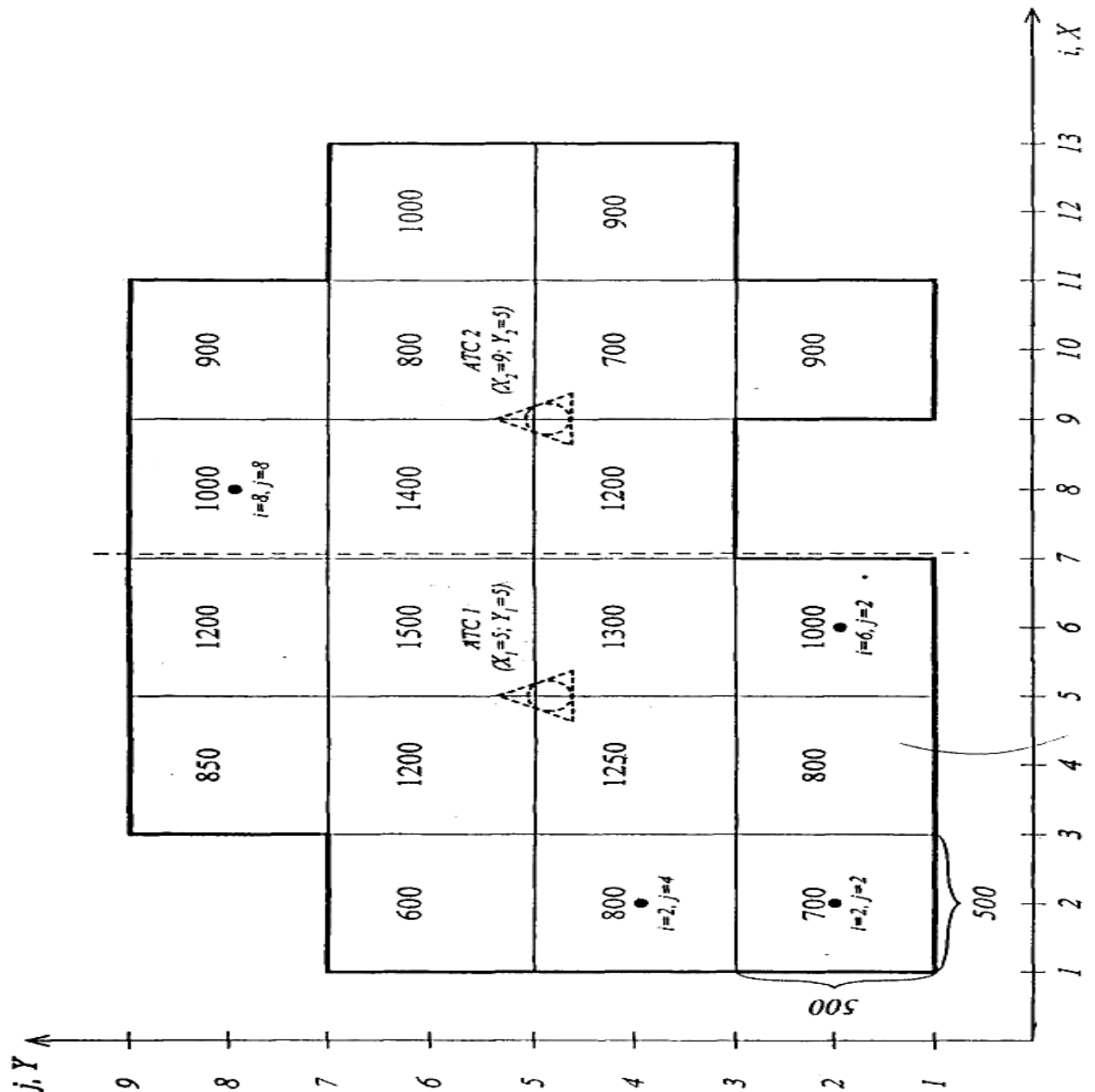


Рис. 1.2. Пример территории для определения числа АТС.

При взаимно - перпендикулярной планировке улиц длина абонентской

линии определяется по формуле:

$$l_s(i,j) = |i - X_s| + |j - Y_s|, \quad (1.4)$$

где X_s и Y_s - координаты АТС_s.

2. В пределах найденных границ станционных районов производится смещение АТС в центры телефонной плотности. Для этого отдельно в каждом станционном районе находятся две оси - горизонтальная X и вертикальная Y , каждая из которых делит ёмкость района пополам. На пересечении этих осей и выбирается местоположение станции. Следует иметь в виду, что из-за дискретности модели сети добиться строгого равенства числа абонентов справа и слева от оси X и сверху и снизу оси Y невозможно. При выборе оптимального положения оси X (или Y) перебираются по очереди каждое значение оси X (или Y) и рассчитывается суммарное число абонентов слева и справа от оси X (снизу и сверху оси Y). При минимальной разнице в числе абонентов выбор оси считается оптимальным.

3. Вычисления по п. 1 и 2 повторяются до тех пор, пока не будет возникать изменений в конфигурации сети (размещении АТС и границы станционных районов).

4. По окончании вычислений уточняется тип абонентского кабеля и, если он соответствует выбранному в начале расчёта, то следует определить стоимость сети и произвести аналогичные расчёты для числа АТС на одну больше и одну меньше выбранного в начале вычислений по формуле (1.2).

Вариант с минимальными затратами принимается за окончательный. Если тип абонентского кабеля следует изменить, то все расчёты по п. 1-3 следует произвести заново для соответствующего типа кабеля.

5. Результаты расчётов включают в себя:

- число АТС, их местоположение;
- границы станционных районов;
- ёмкость АТС;
- среднюю протяжённость абонентских линий в каждом станционном районе;
- стоимость сети абонентских линий и станционных сооружений.

Для проведения расчётов необходимо иметь данные о типах кабелей и их характеристиках. В соответствии с Нормами технологического проектирования НТП 120-2000 в качестве абонентских кабелей рекомендуется использовать телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в полиэтиленовой оболочке с алюмополиэтиленовым экраном типа ТППЭп (ГОСТ 22498-88), характеристики которых приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Наименование и марка кабелей	Диаметр жил, мм	Километрическое затухание на частоте $f = 800$ Гц, дБ/км	Число пар жил
Кабель телефонный с полиэтиленовой изоляцией в полиэтиленовой оболочке с алюмополиэтиленовым экраном ТППЭп	0,4	1,54	от 10 до 1200
	0,5	1,23	от 5 до 900
	0,64	0,95	от 10 до 500

Пример 2.

Найти местоположение станций и границы действия между двумя АТС методом И. Раппа без учёта влияния межстанционных линий.

Исходные данные:

- абонентская матрица (рис. 1.2), элементами которой являются количества абонентов, рассчитанные в каждом квадрате координатной сетки;
- размеры квадрата координатной сетки составляют 500х500 м ;
- норма затухания на абонентскую линию составляет 6,0 дБ;
- километрическое затухание абонентских кабелей типа ТППЭп приведено в табл. 1.1;
- капитальные затраты на одну км/пару абонентских кабелей с диаметром жил 0,4 мм, 0,5 мм и 0,64 мм составляют соответственно 24 у. е., 35 у. е. и 45 у. е.

Решение:

1. Ориентировочно в местах с наибольшей телефонной плотностью размещаем две АТС.

Координаты АТС 1: $X_1 = 5$; $Y_1 = 5$.

Координаты АТС 2: $X_2 = 9$; $Y_2 = 5$.

Границы между АТС выбираются таким образом, чтобы станционные районы были компактными (пунктирная линия на рис. 1.3).,

2. Наибольшая длина абонентской линии в станционном районе 1 от квадрата с координатами $i = 2$, $j = 2$ составляет:

$$l_{\max 1} = |i - X_1| + |j - Y_1| = |2 - 5| + |2 - 5| = 6.$$

С учётом длины шага координатной сетки, равного 250 м:

$$l_{\max 1} = 6 \cdot 250 = 1.5 \text{ км}$$

В станционном районе 2:

$$l_{\max 2} = 4 \cdot 250 = 1 \text{ км}$$

3. При норме затухания на абонентскую линию в 6,0 дБ километрическое затухание кабеля в районе АТС 1 должно быть не более:

$$a_1 = 6,0/1.5 = 4 \text{ дБ/км};$$

В районе АТС 2:

$$a_2 = 6,0/1 = 6 \text{ дБ/км}.$$

Для районов АТС 1 и АТС 2 можно использовать наиболее дешёвый кабель типа ТППЭп-0,4.

4. Уточняется граница между станционными районами. Для этого поочередно перебираются все квадраты координатной сетки и в соответствии с (1.2) эти квадраты относятся к той АТС, для которой затраты на их подключение будут меньше. С целью упрощения расчётов "в ручную" можно перебирать лишь пограничные квадраты. Например, затраты на подключение конечных устройств, расположенных в квадрате с координатами (6; 8), к АТС 1 составляют:

$$K_{6,8}^{(1)} = 24/4\{|6-5| + |8-5|\} = 24 \text{ у.е.}$$

Затраты на подключение тех же конечных устройств к АТС 2 составляют:

$$K_{6,8}^{(2)} = 24/4\{|6-9| + |8-5|\} = 36 \text{ у.е.}$$

Следовательно, квадрат (6; 8) следует отнести к АТС 1 и т. д. для всех приграничных квадратов.

Деление на 4 в приведённых выше выражениях объясняется тем, что стоимость 24 у.е. дана для км/пары кабеля, а расстояния вычислялись в количестве шагов координатной сетки при длине шага равной $1/4$ км.

5. Уточняется местоположение АТС в пределах границ станционных районов.

Для этого определяется местоположение осей X и Y в каждом станционном районе, которые приблизительно одинаково делят количество абонентов слева и справа от оси X и сверху и снизу оси Y.

Для АТС 1:

при $X_1 = 3$ имеем слева 2100 номеров, а справа - 9100 номеров;

при $X_1 = 5$ слева - 6200 номеров, справа - 5000 номеров.

Таким образом, $X_1 = 5$ является оптимальным местоположением по оси X.

Аналогично, $Y_1 = 5$ – оптимальное местоположение по оси Y.

Для АТС 2: при $X_2 = 9$ имеем слева 3600 номеров, справа - 5200 номеров;

при $X_2 = 11$ - слева 6900 номеров, справа - 1900 номеров.

Оптимальное положение по оси X будет равно $X_2 = 9$, так как разность

между числом номеров для оси $X_2 = 9$ слева и справа меньше, чем для $X_2 = 11$.

Аналогичным образом, определяется оптимальное положение оси Y , равное $Y_2 = 5$.

6. Результаты расчётов по выбору местоположения и границ их действия совпали с ориентировочно выбранными в начале расчёта, поэтому итерационный процесс на этом этапе заканчивается.

Задание 1.

Найти местоположение и границы действия между двумя АТС на сети (рис. 1.2). Сторона квадрата координатной сетки L м в зависимости от варианта задания представлена в табл. 1.3. Остальные исходные данные использовать из примера 2.

Таблица 1.2.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L , м	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	420	380

Литература.

Автоматическая коммутация/Под редакцией О.Н. Ивановой. –М.: Радио и связь, 1988.

Практическое занятие № 2

Узлообразование на ГТС

Цель работы.

Изучить способы проектирования городских телефонных сетей 1-го и 2-го классов (ГТС с узлообразованием).

Освоить методику определения границ узловых районов и выбора местоположения узлов (Опорно-транзитных телефонных станций - ОпТС).

2.1. Модель ГТС при решении задачи узлообразования.

Узлообразование вводится на ГТС для укрупнения пучков каналов межстанционных связей с целью увеличения их использования.

Узлообразование связано с определением числа узловых районов (УР) и границ их действия, а также с выбором местоположения узлов. Сходство задач районирования и узлообразования позволяет использовать одни и те же процедуры для их решения. В частности, изложенный в Занятии 1 метод И. Раппа может быть использован и для решения задачи узлообразования ГТС.

Особенностью проблемы узлообразования является, как правило, охват значительно большей территории ГТС, чем при районировании. На больших площадях территории города обычно не обеспечивается регулярное взаимоперпендикулярное расположение улиц, а, следовательно, и трасс прокладки кабельной канализации.

Наиболее точным отражением реальной телефонной сети города является граф (рис. 2.1), в котором вершинами являются АТС - места возможного размещения узлов, а рёбрами - трассы прокладки кабельной канализации.

В соответствии с алгоритмом И. Раппа (Занятие 1) итерационный процесс включает в себя определение границ УР и выбор местоположения узлов. Графовая модель сети позволяет свести задачу выбора местоположения узла в заданных границах УР к задаче отыскания медианной вершины графа [10].

2.2. Размещение узла при заданных границах узлового района.

Местоположение узла в УР выбирается исходя из минимума суммарной стоимости подключения соединительного кабеля всех АТС к узлу. Если внутри УР используются кабели одного типа, то задача сводится к определению минимальной суммарной протяжённости каналов соединительных линий от всех АТС к узлу.

На рис. 2.2 представлен граф сети одного узлового района - $G(A, B)$, вершинами которого являются места установки АТС: $A = \{a_i\}$; $i = 1, n$, где n - число станций, а рёбрами - трассы кабельной канализации: $B = \{ \langle a_i a_j \rangle \}$; $i, j = 1, n$.

Каждой вершине графа a_i присвоим вес, равный числу исходящих и входящих каналов межстанционной связи - V_i , а каждому ребру $\langle a_i a_j \rangle$ - протяжённость $d(a_i a_j)$ в км.

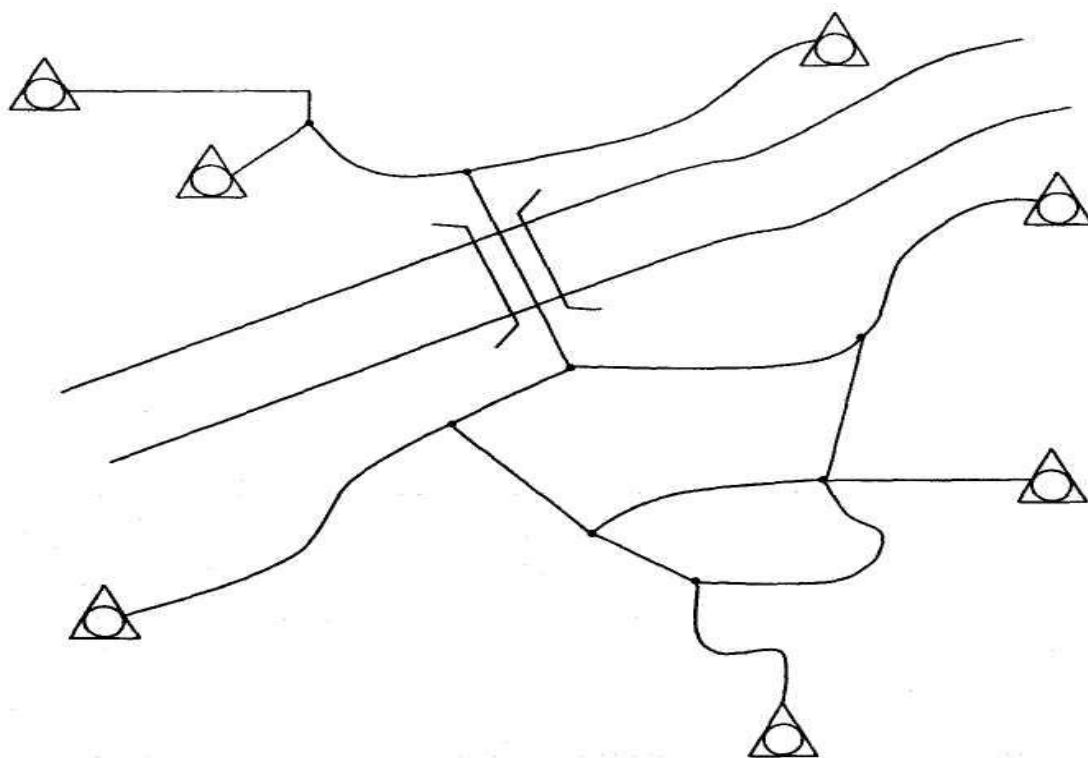


Рис. 2.1. Граф телефонной сети города.

Если принять, что возможное место расположения узла совпадает с местоположением одной из АТС данного УР, то задача сводится к отысканию медианы графа - a_T , для которой по сравнению со всеми остальными вершинами a_i выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^n V_i d(a_m, a_i) \leq \sum_{i=1}^n V_i d(a_l, a_i). \quad (2.1)$$

Минимальная суммарная протяжённость каналов представляет собой медианную длину графа:

$$R_0 = \min_{1 \leq j \leq n} \left[\sum_{i=1}^n V_i d(a_j, a_i) \right]. \quad (2.2)$$

Медиана и медианная длина определяются простым способом, который продемонстрируем на примере сети (рис. 2.2).

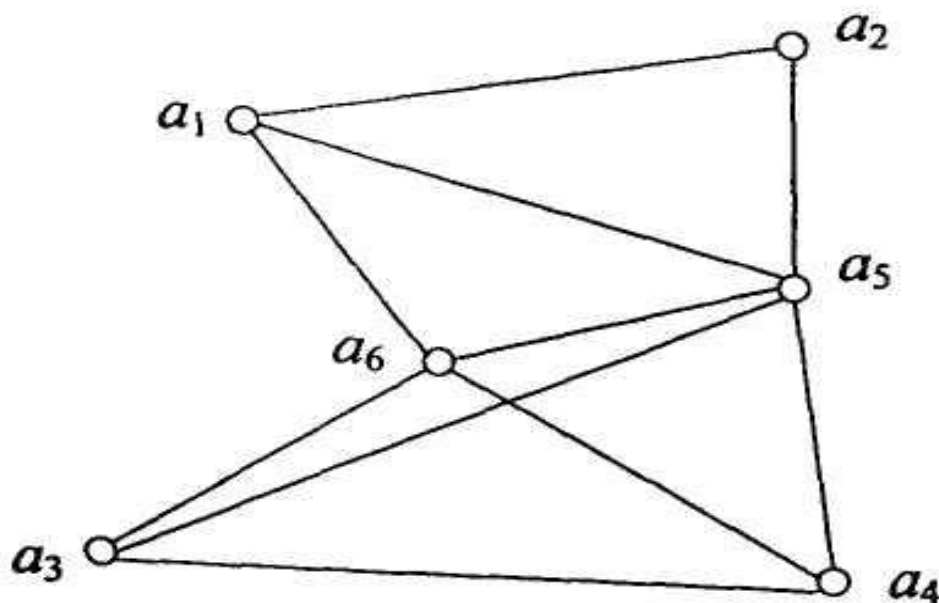


Рис 2.2. Граф сети узлового района.

Пример 3.

Используем следующие значения общего числа каналов в вершинах:

$V_1 = 100$; $V_2 = 100$; $V_3 = 150$; $V_4 = 200$; $V_5 = 150$; $V_6 = 200$ и следующую матрицу протяжённости между узлами a_i и a_j :

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 3 & 1,5 & 1 \\ 2 & 0 & 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 1,5 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 1,5 & 1 & 1,5 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Решение.

Преобразуем матрицу протяжённости D в матрицу D' , элементы которой d'_{ij} представляют собой произведение элементов матрицы D (расстояния) на соответствующие веса вершин графа, т. е. на число каналов V_i :

$$D' = \begin{bmatrix} 0 & 200 & 200 & 300 & 150 & 100 \\ 200 & 0 & 300 & 200 & 100 & 200 \\ 300 & 450 & 0 & 300 & 225 & 150 \\ 600 & 400 & 400 & 0 & 200 & 400 \\ 225 & 150 & 225 & 150 & 0 & 150 \\ 200 & 400 & 200 & 400 & 200 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Обозначим в матрице D' через d'_j сумму элементов j -го столбца и вычислим ряд значений:

$$d_1 = 1525, d_2 = 1600, d_3 = 1325, d_4 = 1350, d_5 = 875, d_6 = 1000.$$

Тогда если $d'_{j \min}$ - минимальная из всех сумм, то a_j есть медиана графа, а $R_0 = d'_{j \min}$ — медианная длина. Так, для матрицы (2.4) $d'_{j \min} = d_5 = 875$. Следовательно, медиана графа a_5 есть искомое местоположение транзитного узла и медианная длина, равная 875 - минимальная протяжённость в километрах внутриузловой связи.

Задание №2

Определить местоположение узла и медианную длину для графа (рис. 2.2). Расстояния между станциями представлены матрицей протяжённости D (2.3), а количество каналов в узлах представлено в табл. 2.1 для десяти вариантов.

Таблица 2.1.

Номер варианта	Вес узла (число каналов)					
	1	2	3	4	5	6
1	120	130	115	140	180	120
2	180	100	110	120	135	100
3	130	200	210	300	250	210
4	160	170	180	190	200	190
5	200	210	220	230	240	240
6	205	300	180	190	175	180
7	230	100	150	250	180	175
8	210	220	180	160	150	300
9	130	125	130	140	180	170
10	190	310	250	220	210	230

Литература.

Автоматическая коммутация/Под редакцией О.Н. Ивановой. –М.: Радио и связь, 1988.

Практическое занятие № 3

Оптимизация структуры сети межстанционных связей ГТС

Цель работы.

Изучить алгоритмы оптимизации межстанционных связей в городской телефонной сети (выбор между прямыми и транзитными направлениями межстанционных связей).

3.1. Общие положения

На сетях с аналоговыми коммутационными системами проблемы оптимизации структуры сетей межстанционных связей (МСС) не возникает, так как схемы связи жёстко закреплены между АТС. Такое ограничение структуры МСС связано с конструктивно-техническими возможностями аналоговых АТС.

Внедрение на ГТС цифрового коммутационного оборудования с программным управлением снимает ограничения на выбор схем связи между АТС, что позволяет более рационально строить сети МСС. Однако возросшее число альтернативных вариантов построения МСС требует разработки специальных методов оптимизации.

Сложность решения задачи связана, во-первых, с высокой размерностью задачи, которая определяется большим количеством пар АТС и числом альтернативных вариантов связи между ними. Во-вторых, нелинейной зависимостью коэффициента использования каналов в пучках от нагрузки (Рис.3.1).

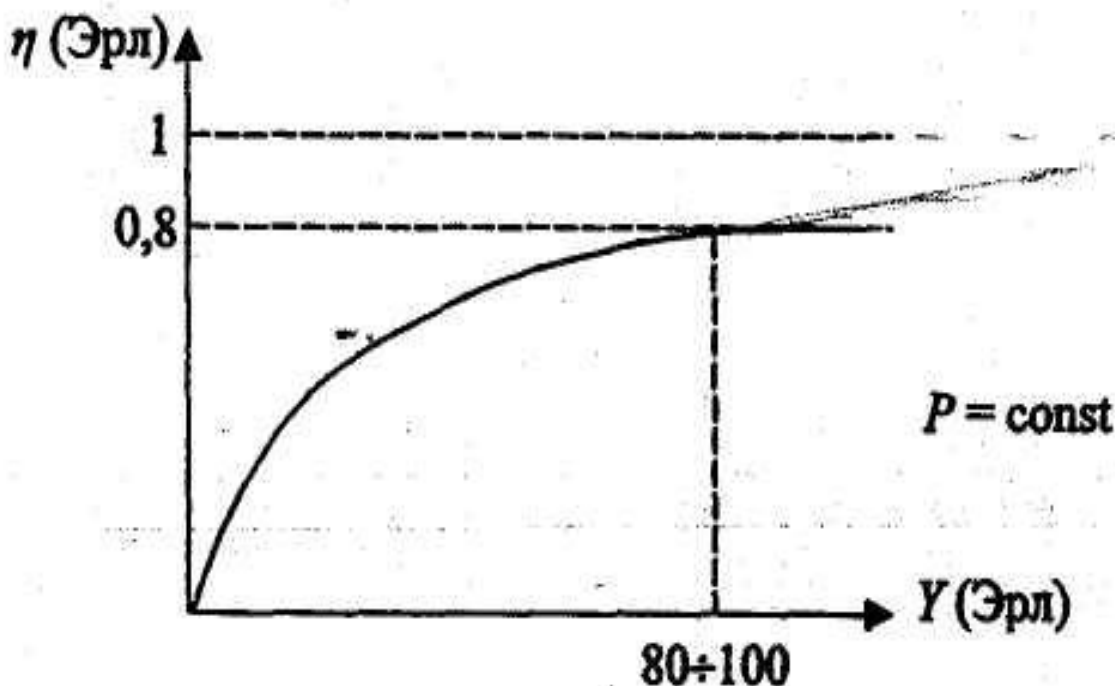


Рис. 3.1. Зависимость коэффициента использования каналов от нагрузки.

При нелинейной зависимости $\eta=f(Y)$ в пучках на транзитных направлениях нельзя определить число каналов, а следовательно, и стоимость передачи нагрузки между одной парой АТС не зная, как будут связаны между собой другие пары АТС, использующие данное транзитное направление.

Для сокращения размерности задачи предлагается воспользоваться тем фактом, что на реальных сетях нагрузка между АТС_{*i*} и АТС_{*j*} двух узловых районов "К" и "L" может передаваться только через свои транзитные узлы ТУ "К" и ТУ "L" (рис. 3.2) и не может передаваться через узлы ТУ "М" и ТУ "N" чужих УР.

Это позволяет решить задачу оптимизации структуры сети МСС для каждой пары УР отдельно, а перебирая все пары УР можно оптимизировать и всю сеть в целом.

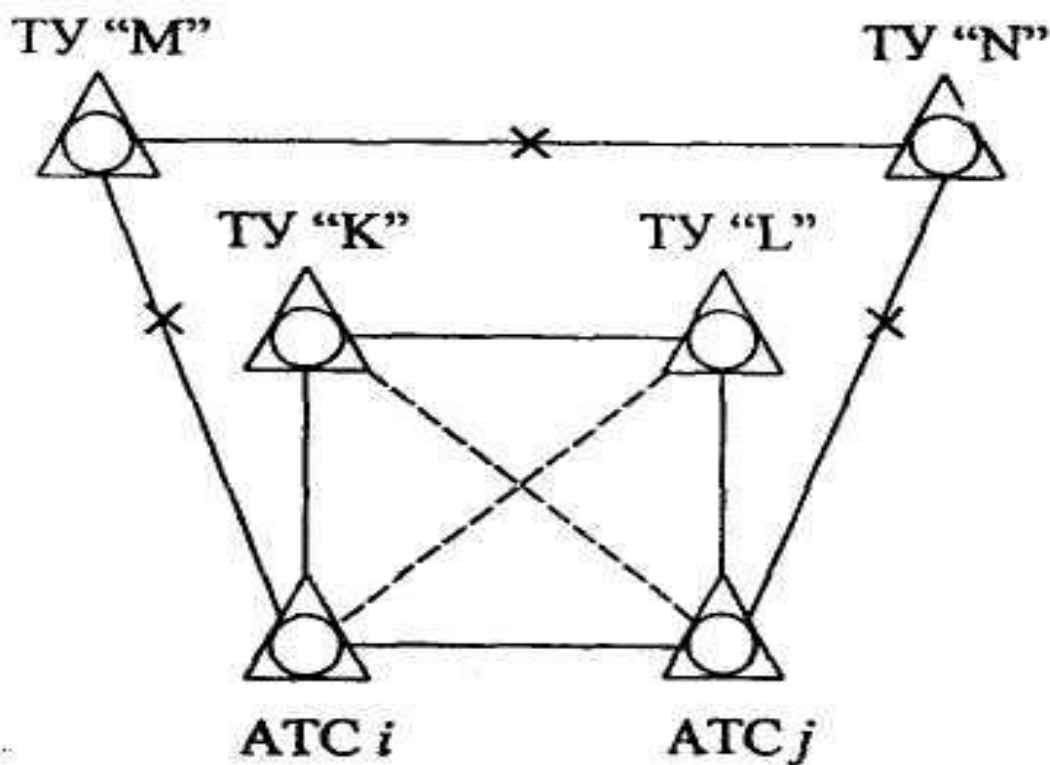


Рис. 3.2. Схема передачи транзитных потоков.

В общем случае связь между АТС различных УР может осуществляться по четырём альтернативным путям: напрямую (*i-j*), через "свой" узел (*i-K-j*), через "чужой" узел (*i-L-j*) и через два узла (*i-K-L-j*) (рис. 3.3).

Изложение алгоритма оптимизации проведём на примере структуры сети с двумя альтернативными путями: напрямую и через узел, расположенный в районе входящей АТС (рис. 3.4).

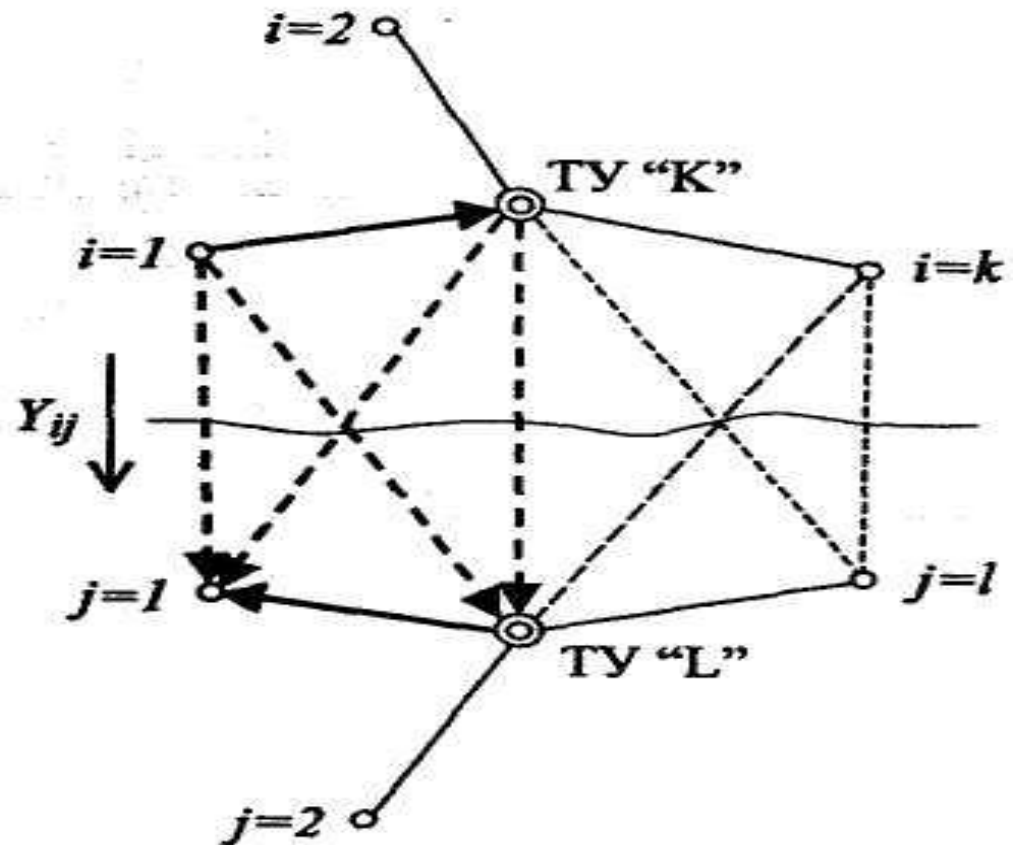


Рис3.3. Альтернативные пути соединений между АТС различных УР.

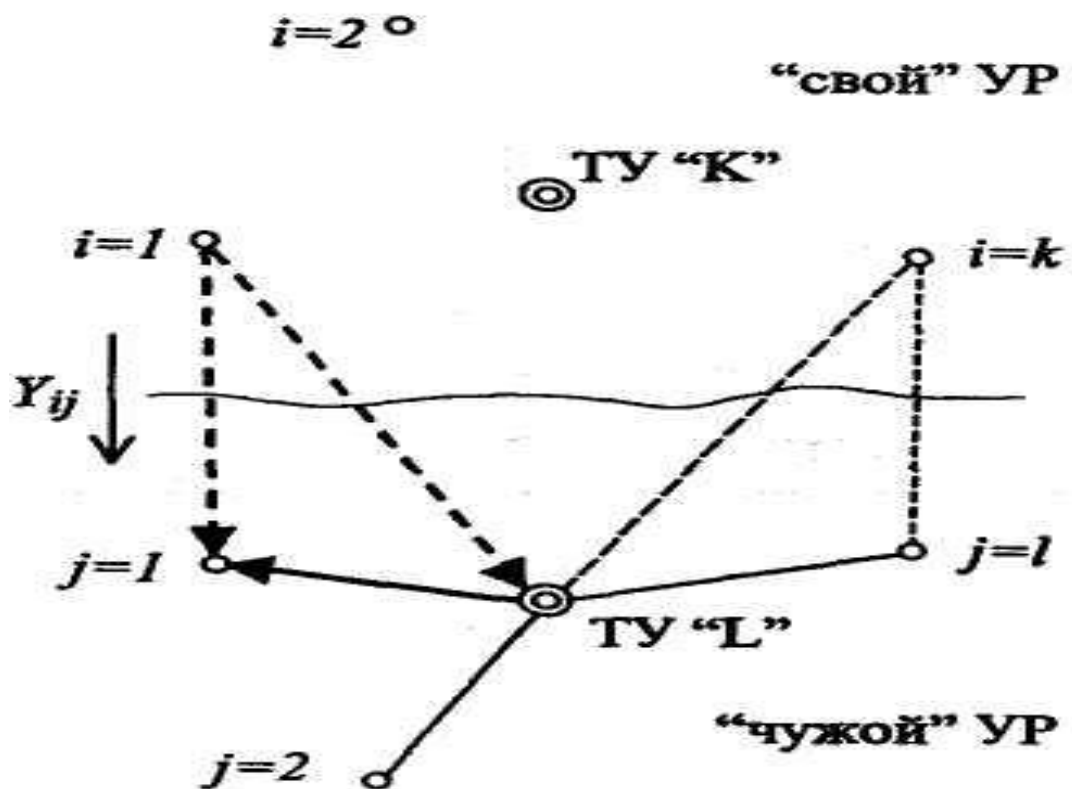


Рис. 3.4. Пример оптимизации структуры сети.

3.2. Исходные данные

В качестве исходных данных для решения задачи оптимизации структуры МСС (рис. 3.4) используются:

- число АТС в УР "К"-k и УР "Л"-l;
- потоки нагрузки между всеми парами АТС – Y_{ij} ($i = 1, k; j = 1, l$);
- протяжённости трасс кабельной канализации на всех участках первичной сети - l_{iL}, l_{Lj}, l_{ij} ($i = 1, k; j = 1, l$);
- затраты на кан-км системы передачи по всем участкам c_{iL}, c_{Lj}, c_{ij} ($i = 1, k; j = 1, l$);
- затраты на станционные сооружения АТС и узлов для передачи 1 Эрл нагрузки -E;
- зависимость числа каналов от нагрузки при заданных потерях $V = \alpha Y + \beta$, где α и β - коэффициенты аппроксимации.

3.3. Расчётные формулы

Затраты на организацию связи между парой АТС состоят из затрат на линейные и станционные сооружения. Положим, что затраты на станционные сооружения определяются только на входящем конце каждого участка.

Стоимость передачи нагрузки на прямом направлении (i-j):

$$C_{ij} = c_{ij} l_{ij} (\alpha Y + \beta) + E Y_{ij}. \quad (3.1)$$

Расчёт затрат на транзитном направлении (i-L-j) производится по двум участкам: i-L, отмеченном пунктирной линией на рис. 3.4 и L-j, отмеченном сплошной линией. На перекрёстном участке iL число каналов для передачи нагрузки Y_{ij} определяется исходя из величины использования каналов η_{iL} в общем пучке, передающем нагрузку $\sum_{j=1}^l Y_{ij} x_{ij}$. Булева переменная x_{ij} принимает значение "1", если нагрузка Y_{ij} передаётся по транзитному направлению и "0" - в противном случае:

$$\eta_{iL} = \frac{\sum_{j=1}^l Y_{ij} x_{ij}}{\alpha \sum_{j=1}^l Y_{ij} x_{ij} + \beta} \quad (3.2)$$

На участке Lj передаётся суммарный поток нагрузки от всех узлов рассматриваемой сети на АТСj, поэтому его величина велика и превышает 100

Эрл (рис. 3.1). В этом случае использование одного канала на участке можно принять постоянным и равным $\eta_{\text{тах}} = 0,8$ Эрл.

Таким образом, затраты на транзитном направлении будут определяться по формуле:

$$C_{iLj} = C_{iL} + C_{Lj} = c_{iL} l_{iL} \frac{Y_{ij}}{\eta_{iL}} + Y_{ij} E + c_{Lj} l_{Lj} \frac{Y_{ij}}{\eta_{\text{тах}}} + Y_{ij} E \quad (3.3)$$

3.4. Описание алгоритма оптимизации структуры сети МСС

В основе метода оптимизации лежит техника "проб и ошибок". В начале расчёта предполагается, что связь между всеми АТС двух УР проходит транзитом через узел L. Тогда на перекрёстном направлении i-L передаётся максимально возможная нагрузка, равная $\sum_{j=1}^l Y_{ij}$. Это ставит транзитный путь в наилучшие условия по использованию каналов, а следовательно, и затратам на передачу нагрузки.

Рассматривается первая группа пар АТС "i-j" (i=1;j=1,l). В этой группе выбирается первая пара АТС i-j (i=1;j=1). Рассчитываются затраты на передачу нагрузки Y_{11} на прямом и транзитном направлениях. Выбирается наиболее дешёвый путь.

Если прямой путь дешевле транзитного, то его выбор считается окончательным, а нагрузка этой пары АТС снимается с транзита и в дальнейших расчётах не принимает участия.

Если наиболее дешёвым оказывается транзитный путь, то его выбор считается пробным. В памяти ЭВМ запоминается нагрузка этой пары АТС – Y_{11} и стоимость её передачи на перекрёстном участке транзитного направления "1-L" – C_{1L} ,

Аналогичным образом перебираются остальные пары АТС данной группы. По окончании перебора производится проверка оправданности выбора транзитных направлений. Для этого по суммарной нагрузке, накопленной в памяти ЭВМ на перекрёстном направлении, определяется истинная стоимость этого участка:

$$K_{1L} = c_{1L} l_{1L} (a \sum_{j=1}^l Y_{1j} x_{1j} + \beta) + \sum_{j=1}^l Y_{1j} x_{1j} \cdot E \quad (3.4)$$

Стоимость K_{1L} сравнивается с суммой стоимостей, накопленных в памяти ЭВМ на участке 1L в процессе перебора - $\sum_{j=1}^1 C_{1L} x_{1j}$.

Если

$$K_{1j} \leq \sum_{j=1}^L C_{1L} x_{1j}, \quad (3.5)$$

то выбор транзитного направления оправдан, а если - нет, то все расчёты следует провести заново, исходя из той модели нагрузок на перекрёстном направлении, которая образовалась в результате проведённых расчётов.

Указанные расчёты для первой группы пар АТС повторяются до тех пор, пока не будет выполнено условие (3.5), либо на транзите не останется никакой нагрузки.

Аналогичные расчёты проводятся для других групп АТС ($i = 2, k; j = 1$). Блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.5.

Пример 4.

В УР "К" имеются 2 АТС, в УР "L" имеются 3 АТС.

В результате расчёта первой группы пар АТС $i-j \{i=1; j = 1,3\}$ после первого цикла возникла следующая ситуация: для первых двух пар АТС "1-1" и "1-2" наиболее дешёвыми оказались транзитные пути, а для третьей пары АТС "1-3" - прямой путь.

Требуется:

1. Указать по блок-схеме (рис. 3.5), через какие блоки пройдут вычисления по первому циклу для каждой из трёх пар АТС.
2. Определить, достаточно ли одного цикла расчёта, чтобы считать окончательным выбор транзитных путей для первых двух пар АТС.
3. Перечислить блоки, связанные с проверкой оправданности выбора транзитных путей.

Решение.

1. Для первой пары АТС "1-1" первый цикл расчёта включает в себя блоки: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$.

Для второй пары АТС "1-2": $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$.

Для третьей пары АТС "1-3": $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$.

2. Для первых двух пар АТС "1-1" и "1-2" одного цикла расчёта недостаточно, так как нагрузка на перекрестном направлении в начале цикла

$$\sum_{j=1}^1 Y_{1,j} \text{ не совпадает с нагрузкой в конце, т. е. окажется на величину } Y_{13}$$

меньше. Следовательно, число каналов на транзитном направлении для первых двух пар АТС следует пересчитать во втором цикле, исходя из новой величины использования каналов на перекрёстном направлении

3. Проверка оправданности выбора транзитного пути включает следующие блоки: $11 \rightarrow 12 \rightarrow 13$.

Задание №3.

Количество АТС в УР "К" и "L" составляет соответственно $k = 2$ и $l = 3$.

Результаты расчётов первого цикла для первой и второй групп пар АТС представлены в табл. 3.1. В левой части табл. 3.1 указаны номера индивидуальных вариантов заданий.

Требуется:

1. Указать по блок-схеме (рис. 3.5), через какие блоки пройдут вычисления по первому циклу для каждой из трёх пар АТС.

2. Определить, достаточно ли одного цикла расчёта, чтобы считать окончательным выбор транзитных путей для первых двух пар АТС.

3. Перечислить блоки, связанные с проверкой оправданности выбора транзитных путей.

Таблица 3.1

№ шага	Результаты I цикла расчёта для первой группы пар АТС $i=1; j = 1,3$		
	Первая пара АТС 1-1 связана	Вторая пара АТС 1-2 связана	Третья пара АТС 1-3 связана
1	транзитом	напрямую	напрямую
2	напрямую	напрямую	транзитом
3	напрямую	транзитом	транзитом
4	транзитом	напрямую	транзитом
5	напрямую	транзитом	напрямую
	Результаты I цикла расчёта для второй группы пар АТС $i=2; J = 1,3$		
	Первая пара АТС 2-1 связана	Вторая пара АТС 2-2 связана	Третья пара АТС 2-3 связана
6	транзитом	напрямую	транзитом
7	напрямую	транзитом	напрямую
8	напрямую	напрямую	транзитом
9	напрямую	транзитом	транзитом
10	транзитом	напрямую	напрямую

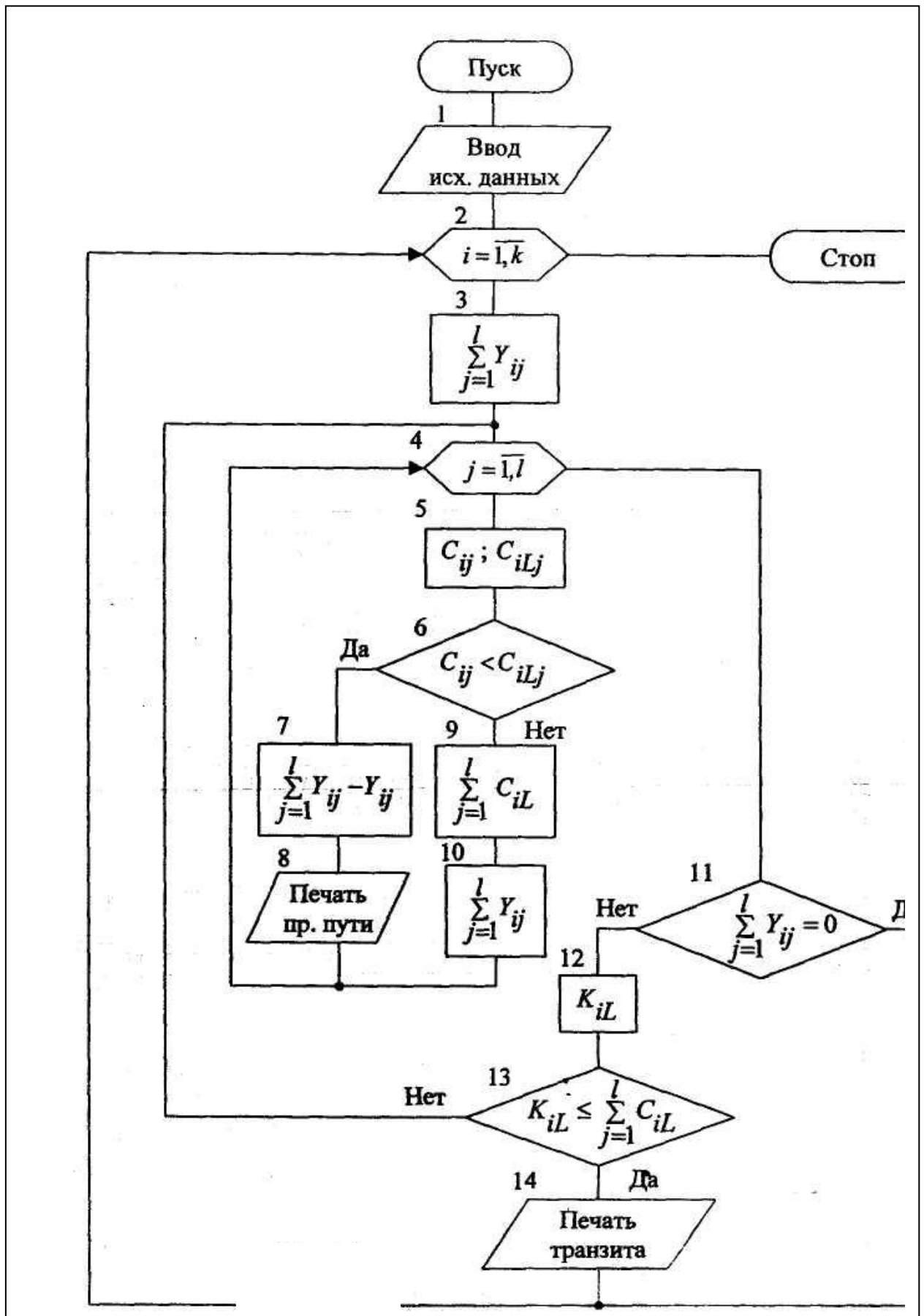


Рис 3.5. Блок – схема алгоритма оптимизации.