

Методические указания
для выполнения курсовой работы
по дисциплине
ТЕОРИЯ ТЕЛЕТРАФИКА

Оглавление.

	Стр.
Тема 1. Законы распределения случайных величин.....	4
1.1. Распределение Бернулли.....	4
1.2. Распределение Пуассона.....	5
1.3. Распределение Эрланга.....	6
Тема 2. Свойства потоков вызовов. Характеристики потоков.....	8
Тема 3. Телефонная нагрузка, ее параметры и распределение.....	10
Тема 4. Метод расчета пропускной способности однозвенных полнодоступных включений при обслуживании простейшего потока вызовов по системе с потерями. Первая формула Эрланга.....	16
Тема 5. Метод расчета полнодоступных неблокируемых включений при обслуживании примитивного потока вызовов по системе с потерями. Формула Энгсета.....	19
Тема 6. Метод расчета полнодоступных неблокируемых включений при обслуживании вызовов простейшего потока вызовов по системе с ожиданием.....	20
6.1. Экспоненциальное распределение длительности обслуживания.....	21
6.2. Постоянная длительность обслуживания.....	22
Тема 7. Методы расчета однозвенных полнодоступных коммутационных схем при обслуживании потока с повторными вызовами.....	25
Тема 8. Методы расчета пропускной способности однозвенных неполнодоступных включений: упрощенная формула Эрланга, формула О'Делла, формула Пальма – Якобеуса.....	28
Тема 9. Метод Якобеуса для расчета пропускной способности двухзвенных полнодоступных включений.....	30
Тема 10. Методы расчета пропускной способности двухзвенных схем, в выходы которых включен неполнодоступный пучок линий.....	33
10.1. Метод Якобеуса.....	33
10.2. Метод эффективной доступности.....	35
Тема 11. Метод построения равномерных неполнодоступных включений: метод цилиндров.....	36
Тема 12. Метод вероятностных графов для расчета пропускной способности многозвенных коммутационных схем.....	40
Тема 13. Метод расчета сети с обходными направлениями.....	44
13.1. Принцип построения сети с обходными направлениями.....	44
13.2. Определение оптимального числа линий в прямом направлении.....	45
13.3. Расчет числа линий при обслуживании вызовов избыточной нагрузки.....	46
Литература.....	50
Приложение.....	51
Таблица П.1. Значения вероятности потерь первичных вызовов P и среднего числа повторных вызовов \bar{C}_1	51
Таблица П.2. Трехшаговые схемы цилиндров.....	55
Таблица П.3. Четырехшаговые схемы цилиндров.....	56
Таблица П.4. Значения коэффициентов α и β для расчета числа линий V по формуле О'Делла.....	57

Тема 1. Законы распределения случайных величин

В настоящем разделе рассмотрены некоторые понятия, которые применяются в теории телетрафика при описании систем коммутации: случайная величина (СВ), закон распределения СВ и ее основные числовые характеристики - математическое ожидание и дисперсия.

Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем заранее неизвестно – какое именно.

Случайные величины, принимающие отделенные друг от друга значения, которые можно заранее перечислить, называются **дискретными**.

Случайные величины, возможные значения которых непрерывно заполняют некоторый промежуток, называются **непрерывными**.

Законом распределения СВ называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями СВ и соответствующими им вероятностями.

Основными числовыми характеристиками СВ X являются математическое ожидание $M(X)$ и дисперсия $D(X)$.

Средним квадратическим отклонением СВ называют корень квадратный из дисперсии

$$\sigma_x = \sqrt{D(X)}.$$

Рассмотрим некоторые законы распределения СВ, наиболее часто используемые в теории телетрафика.

1.1. Распределение Бернулли (биномиальное распределение)

Если производится n независимых опытов, в каждом из которых событие B появляется с вероятностью p , то вероятность того, что событие B появится ровно m раз, выразится формулой

$$P_{m,n} = C_n^m p^m (1-p)^{n-m}, \quad \sum_{m=0}^n P_{m,n} = 1,$$

где $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ - число сочетаний из n по m .

Это распределение вероятностей называют **биномиальным или распределением Бернулли**.

Пусть исследуется пучок из V линий (рис.1.1), каждая линия с вероятностью a может оказаться занятой и с вероятностью $(1-a)$ – свободной. Тогда вероятность того, что в пучке из V линий окажется i любых линий занято, может быть определена из выражения

$$P_i = C_V^i a^i (1-a)^{V-i}, \quad i = 0, 1, \dots, V, \quad \sum_{i=0}^V P_i = 1 \quad (1.1)$$

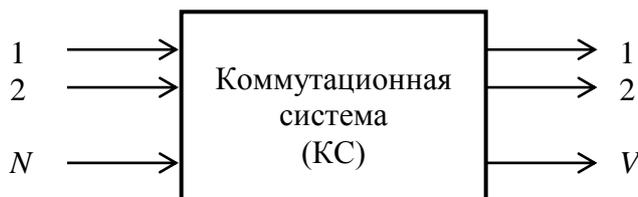


Рис.1.1. Коммутационная система. N -число входов, V - число выходов (линий, каналов).

Распределение Бернулли справедливо, когда число независимых опытов, в рассматриваемом случае емкость пучка линий V , конечно и $N \leq V$.

Для вычисления вероятностей P_i можно воспользоваться следующей рекуррентной формулой

$$P_{i+1} = P_i \frac{(V-i)a}{(i+1)(1-a)} .$$

Математическое ожидание и дисперсия числа занятых линий, вероятность занятия которых описывается распределением Бернулли, соответственно равны

$$M(i) = Va; \quad D(i) = Va(1-a).$$

1.2. Распределение Пуассона

Рассмотрим следующую задачу. На оси времени на интервале $[0, t)$ случайным образом распределяются точки – моменты поступления вызовов, в каждый из которых занимается одна из свободных линий из общего пучка линий V .

Требуется найти вероятность P_i того, что на интервал $[0, t)$ попадет точно i точек, т.е. будет занято i любых линий из V .

Обозначим λ -математическое ожидание числа вызовов, приходящихся на единицу длины интервала. Обычно за единицу длины интервала времени принимается 1 час. Вероятность P_i выражается формулой

$$P_i = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}, \quad \sum_{i=0}^V P_i = 1, \quad i = 0, 1, \dots, V. \quad (1.2)$$

Это выражение носит название **распределения Пуассона**. Распределение Пуассона справедливо при выполнении следующих условий:

- вероятность попадания того или иного числа точек на интервал $[0, t)$ зависит только от длины этого интервала и не зависит от его положения на оси времени;
- события, состоящие в попадании того или иного числа точек в неперекрывающиеся интервалы времени, независимы;

- вероятность попадания на малый участок Δt двух и более точек пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одной точки.

Входящая в формулу (1.2) величина λt есть не что иное, как среднее число точек, приходящихся на интервал $[0, t)$ (математическое ожидание числа точек, попадающих на этот участок). Пусть длина интервала $[0, t)$ равна средней длительности обслуживания одного вызова - \bar{t} . Величину $\lambda \bar{t}$ в теории телетрафика называют **интенсивностью поступающей нагрузки** и обозначают A .

Тогда формула (1.2) может быть записана

$$P_i = \frac{A^i}{i!} e^{-A}, \quad i=0,1,\dots,V. \quad (1.3)$$

Для расчетов вероятности P_i можно использовать рекуррентную формулу

$$P_{i+1} = P_i \frac{A}{i+1}. \quad (1.4)$$

Математическое ожидание и дисперсия СВ, распределенной по закону Пуассона

$$M(i)=D(i)=A.$$

Распределение Пуассона можно применять для определения вероятностей P_i при условии, что N и $V \rightarrow \infty$.

Распределение Пуассона можно получить из распределения Бернулли, если в последнем положить $V \rightarrow \infty$.

1.3. Распределение Эрланга

В теории телетрафика широко применяется усеченное распределение Пуассона, связанное с формулой Эрланга

$$P_i = \frac{\frac{A^i}{i!}}{\sum_{j=0}^V \frac{A^j}{j!}}, \quad i=0,1,\dots,V, \quad \sum_{i=0}^V P_i = 1. \quad (1.5)$$

В распределении Эрланга взяты первые $V+1$ значения из распределения Пуассона и пронормированы так, чтобы сумма вероятностей была бы равна 1.

Для определения составляющих распределения Эрланга можно применить следующее рекуррентное соотношение

$$P_i = P_{i-1} \frac{A}{i},$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^V \frac{A^j}{j!}}. \quad (1.6)$$

Можно также воспользоваться таблицами Пальма, с помощью которых при заданной интенсивности нагрузки A и числе линий V находят P_V и далее для определения P_{i-1} используют соотношение $P_{i-1} = P_i \frac{i}{A}$.

Математическое ожидание и дисперсия числа занятых линий, вероятность которых определяется по распределению Эрланга, соответственно равны

$$M(i) = A(1 - P_V);$$

$$D(i) = M(i) - AP_V[V - M(i)]. \quad (1.7)$$

Задание 1.

1. Построить распределение вероятности занятия линий в пучке из V линий в соответствии с распределениями Бернулли, Пуассона и Эрланга.

2. Для каждого распределения рассчитать математическое ожидание числа занятых линий, их дисперсию и среднеквадратическое отклонение.

Исходные данные для расчетов приведены в таблице 1.1. Величину A принять равной $A = aV$.

Таблица 1.1

№ вар.	a	V	№ вар.	a	V
1.	0,5	12	16.	0,4	6
2.	0,5	11	17.	0,45	7
3.	0,3	10	18.	0,4	8
4.	0,4	9	19.	0,45	9
5.	0,5	8	20.	0,5	10
6.	0,3	8	21.	0,55	11
7.	0,25	9	22.	0,4	12
8.	0,35	10	23.	0,45	13
9.	0,4	11	24.	0,5	14
10.	0,55	12	25.	0,55	15
11.	0,45	11	26.	0,3	16
12.	0,25	10	27.	0,5	17
13.	0,35	9	28.	0,4	18
14.	0,45	8	29.	0,45	19
15.	0,55	10	30.	0,5	20

Требования к выполнению задания:

1. Результаты расчета распределений представить в виде таблицы 1.2 и графика $P_i = f(i)$.

Таблица 1.2

i	0	1	2						V
P_i									

2. На каждом графике привести значения математического ожидания, дисперсии, среднеквадратического отклонения и $\sum_i P_i$.
3. Расчеты проводить с точностью до четвертого знака после запятой. В заключении провести анализ полученных результатов.

Тема 2. Свойство потоков вызовов. Характеристики потоков

Поток вызовов – это дискретный процесс, представляющий собой последовательность однородных событий, которые наступают через некоторые интервалы времени при непрерывном отсчете времени.

Случайным называется такой поток, в котором однородные события наступают через случайные интервалы времени.

Свойства потоков: стационарность, ординарность и полное или частичное отсутствие последействия. Потоки классифицируются с точки зрения наличия или отсутствия этих свойств.

Основными характеристиками потоков вызовов являются **интенсивность** $\mu(t)$ и **параметр** $\lambda(t)$. Интенсивность потока характеризует поток поступающих вызовов (число вызовов). Параметр потока характеризует не поток вызовов, а поток вызывающих моментов.

Простейшим потоком вызовов называется стационарный, ординарный поток без последействия. Для простейшего потока $\mu = \lambda$.

Для задания случайных потоков используется функция распределения. Функцией распределения случайной величины X является вероятность события $X < x$, где x – некоторое текущее значение СВ, и обозначается $F(X) = P(X < x)$. Функция распределения – самая универсальная характеристика СВ, как дискретных, так и непрерывных.

Общие свойства функции распределения:

- $F(x)$ есть неубывающая функция своего аргумента, т.е. при $x_2 > x_1$ $F(x_2) \geq F(x_1)$;
- $F(-\infty) = 0$;
- $F(+\infty) = 1$.

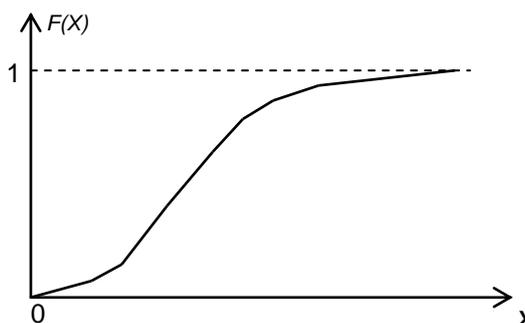


Рис. 2.1. Общий вид функции распределения непрерывной случайной величины

Случайный поток может быть задан тремя эквивалентными способами.

1. Функцией распределения вызывающих моментов $P(t < t_i)$, где t – случайная величина, t_i – возможное значение случайной величины.

2. Функцией распределения промежутков между вызывающими моментами $P(z < z_i)$, где $z_i = t_i - t_{i-1}$ при $i \geq 1$.

3. Законом распределения целочисленной функции $K(t)$, т.е. $P_k(t) = P[K(t) = k_i]$, $i = 1, 2, \dots, n$, $k_1 \leq k_2 \leq \dots \leq k_n$, $t_1 < t_2 < \dots < t_n$.

$P_k(t) = P[K(t) = k_i]$ – вероятность поступления k_i вызовов в интервале времени $[0, t)$.

Для задания случайных потоков используется вероятность поступления не менее k вызовов на интервале времени $[0, t)$ $P_{i \geq k}(t)$.

Для простейшего потока

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}; \quad (2.1)$$

$$F(t) = P(Z < t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

где $\frac{1}{\lambda} = \bar{Z}$ – математическое ожидание промежутка времени между двумя последовательными моментами поступления вызовов;

$$P_{i \geq k}(t) = \sum_{i=k}^{\infty} P_i(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} P_i(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}. \quad (2.3)$$

Входящая в формулы величина λt есть не что иное, как среднее число вызовов за интервал времени $[0, t)$. Обозначим \bar{t} – среднее время, которое требуется для обслуживания одного вызова, и запишем формулу (2.1) в виде

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \bar{t} \frac{t}{\bar{t}})^k}{k!} e^{-\lambda \bar{t} \frac{t}{\bar{t}}}.$$

Величину $\lambda \bar{t}$ в теории телетрафика называют интенсивностью поступающей телефонной нагрузки и обозначают A .

Введем обозначение $\frac{t}{\bar{t}} = t^*$. Тогда формулы (2.1), (2.2) и (2.3) запишутся в виде

$$P_k(t) = \frac{(A t^*)^k}{k!} e^{-A t^*}; \quad (2.4)$$

$$F(t) = 1 - e^{-A t^*}; \quad (2.5)$$

$$P_{i \geq k}(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(At^*)^i}{i!} e^{-At^*}. \quad (2.6)$$

Величину t^* можно рассматривать как величину интервала времени $[0, t)$, нормированную относительно средней длительности обслуживания вызова \bar{t} .

Задание 2.

1. Для простейшего потока вызовов рассчитать вероятности поступления k вызовов за промежуток времени $[0, t)$ $P_k(t^*)$, где $t^* = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$. Значения A и V взять из задания 1. Число вызовов $k = [V/2]$ – целая часть числа.

2. Построить функцию распределения промежутков времени между двумя последовательными моментами поступления вызовов $F(t^*)$ для значений $t^* = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$. Результаты расчета представить в виде таблицы 2.1 и графика $F(t^*) = f(t^*)$.

Таблица 2.1.

t^*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$F(t^*)$						

3. Рассчитать вероятность поступления не менее k вызовов за интервал времени $[0, t^*)$ $P_{i \geq k}(t^*)$, где $t^* = 1$.

4. Провести анализ результатов.

Тема 3. Телефонная нагрузка, ее параметры и распределение

Основными параметрами интенсивности нагрузки являются:

N_i – число источников нагрузки i -й категории;

C_i – среднее число вызовов, поступающих от одного источника i -й категории в ЧНН (час наибольшей нагрузки);

t_i – средняя длительность одного занятия для вызова от источника i -й категории.

Различают следующие категории источников нагрузки: абонентские линии народнохозяйственного сектора (нх), абонентские линии индивидуального пользования квартирного сектора (кв), таксофоны (т). В курсовой работе используются две категории: абонентские линии народнохозяйственного сектора (нх) и квартирного сектора (кв) (рис.3.1).

Интенсивность поступающей нагрузки:

$$A_{\text{вх}} = \sum_i N_i c_i t_i. \quad (3.1)$$

Средняя длительность одного занятия зависит от типа системы коммутации и определяется выражением:

$$t_i = k_p t_{pi} + k_3 t_3 + k_{но} t_{но} + k_{ош} t_{ош} + k_{mex} t_{mex}, \quad (3.2)$$

где k_p - доля вызовов из общего числа, для которых соединения закончились разговором; k_3 - доля вызовов из общего числа, для которых соединения не закончились разговором из-за занятости линий вызываемого абонента; $k_{но}$ - то же из-за неответа вызываемого абонента; $k_{ош}$ - то же из-за ошибок в наборе номера; k_{mex} - то же из-за технических неисправностей в узлах коммутации; t_{pi} , t_3 , $t_{но}$, $t_{ош}$, t_{mex} - средние длительности занятий, соответствующие этим случаям. Их можно определить из следующих выражений:

$$t_{pi} = t_{co} + nt_{нн} + t_y + t_{нв} + T_i + t_o; \quad (3.3)$$

$$t_3 = t_{co} + nt_{нн} + t_y + t_{c3} + t_o; \quad (3.4)$$

$$t_{но} = t_{co} + nt_{нн} + t_y + t_{нвн} + t_o; \quad (3.5)$$

$$t_{ош} = t_{mex} = 18c, \quad (3.6)$$

где t_y - средняя длительность установления соединения; $t_{нв}$ и $t_{нвн}$ - средняя длительность слушания сигнала «Контроль посылки вызова» $t_{нв}$ - в случае разговора между абонентами, $t_{нвн}$ - в случае неответа вызываемого абонента; T_i - продолжительность разговора для вызова i -й категории; t_o - продолжительность отбоя; t_{c3} - продолжительность слушания сигнала «Занято»; $t_{нн}$ - средняя длительность набора одной цифры номера; n - значность нумерации на сети. Значения t_y , t_o и t_{c3} определяются системой АТС. В инженерных расчетах пользуются упрощенным выражением для определения средней длительности занятия:

$$t_i = \alpha_i k_p t_{pi}, \quad (3.7)$$

где α_i - коэффициент непроизводительного занятия коммутационной системы, зависящий от T_i и k_p (рис.3. 2).

При расчетах принять: $t_{co} = 3c$; $n = 5$; $t_{нн} = 1,5c$ при использовании дискового номеронабирателя; $t_{нн} = 0,8c$ при использовании кнопочного номеронабирателя; $t_y = 2c$; $t_{нв} = 7c$; $t_o = 0$; $k_p = 0,6$. Поступающая на вход коммутационного поля интенсивность нагрузки для принятых категорий источников нагрузки определится

$$A_{вх} = A_{нх} + A_{кв}. \quad (3.8)$$

Интенсивность нагрузки на выходе КП называют обслуженной нагрузкой и обозначают $Y_{вых}$.

Интенсивность нагрузки на выходе коммутационного поля меньше нагрузки на входе

$$Y_{вых} = A_{вх} \frac{t_{вблх}}{t_{вх}}, \quad (3.9)$$

где $Y_{вых}$ - интенсивность нагрузки на выходе коммутационного поля;

$t_{вблх}$, $t_{вх}$ - соответственно время занятия выхода и входа коммутационного поля.

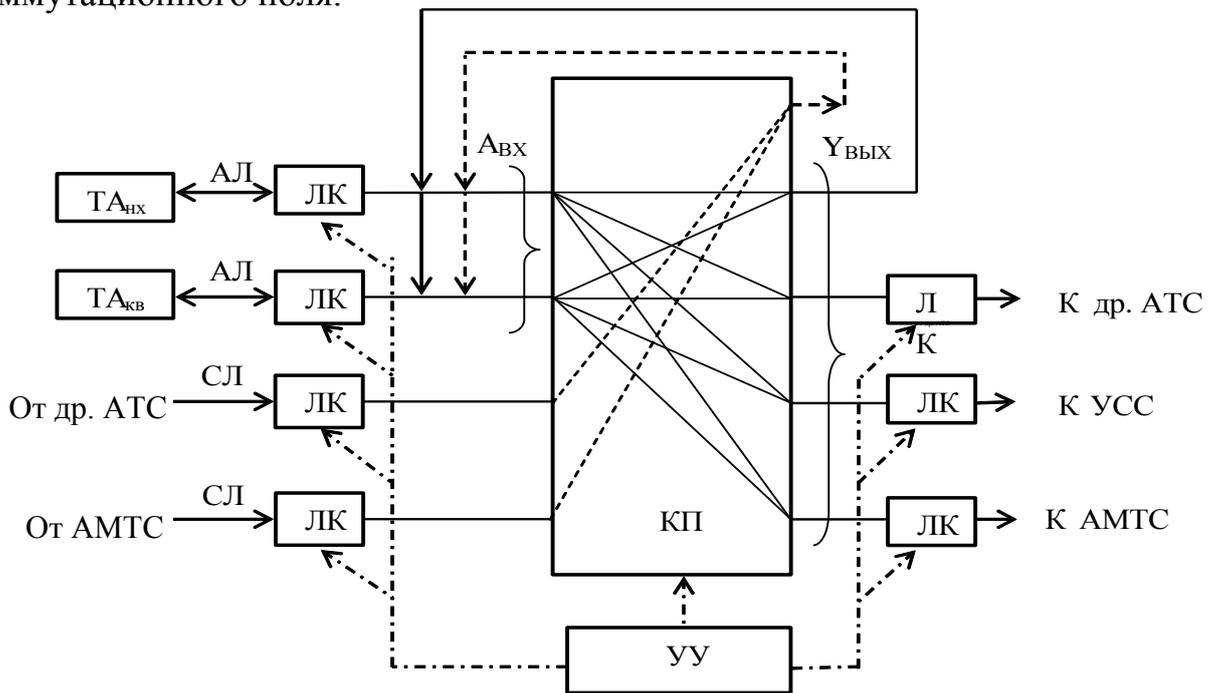


Рис.3.1. Упрощенная функциональная схема АТС

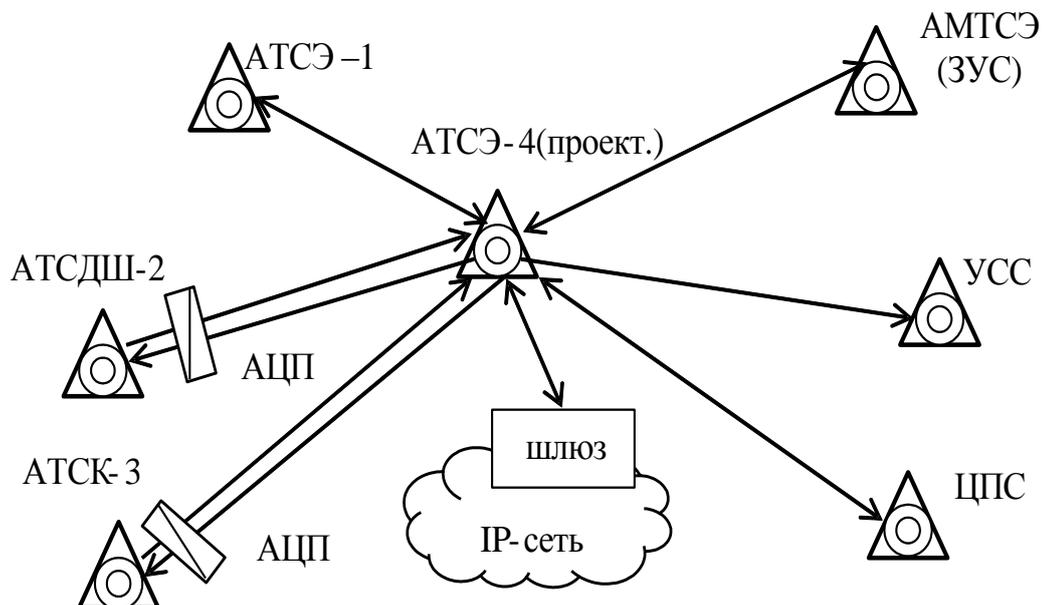
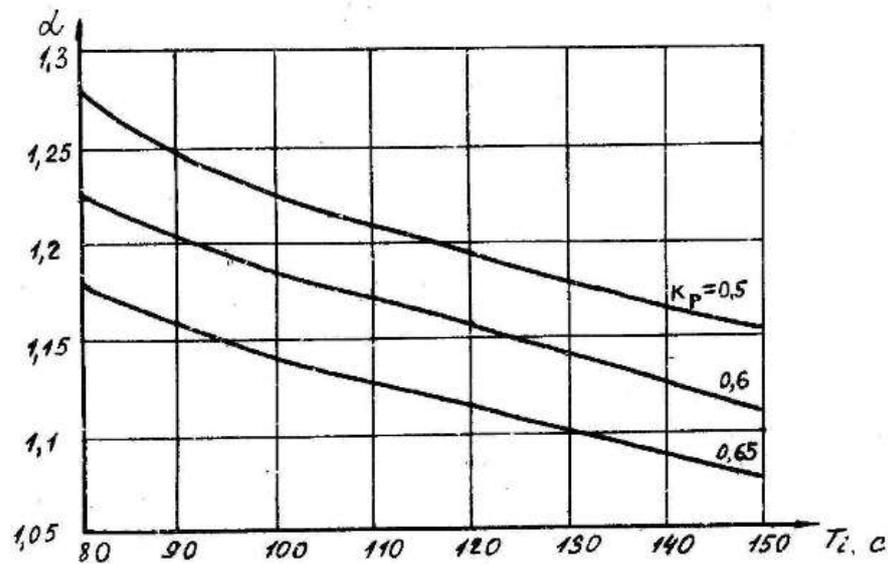


Рис. 3.3. Структурная схема районированной сети

Обозначения:

	Рис.3.1.		Рис.3.3
АЛ	абонентская линия	АТСЭ	цифровая (электронная) АТС
АТС	автоматическая телефонная станция	АТСДШ	АТС декадно-шаговой системы
АМТС	автоматическая междугородная станция	АТСК	АТС координатной системы
КП	коммутационное поле	ЦПС	цифровая подстанция
ЛК	линейный комплект	УСС	узел специальных служб
СЛ	соединительная линия	АЦП	аналого-цифровой преобразователь
ТА	телефонный аппарат	ЗУС	зональный узел связи
УУ	управляющее устройство		

Рис.3.2. Зависимость коэффициента α от T_i и k_p

Средние длительности занятия входа и выхода определяются соответственно

$$t_{\text{вх}} = \frac{A_{\text{вх}}}{N_{\text{нх}} c_{\text{нх}} + N_{\text{кв}} c_{\text{кв}}}; \quad (3.10)$$

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} - \Delta t, \text{ где } \Delta t = t_{\text{сo}} + n t_{\text{нн}} + t_{\text{y}}.$$

Средняя удельная интенсивность нагрузки на абонентскую линию АТС составит:

$$a_{\text{исх}} = \frac{A_{\text{вх}}}{N_{\text{нх}} + N_{\text{кв}}}. \quad (3.11)$$

Распределение нагрузки по направлениям межстанционной связи зависит от принятой структуры сети. На рис. 3.3. приведена структура районированной сети с пятизначной нумерацией.

На районированной сети одним из методов распределения нагрузки является метод нормированных коэффициентов тяготения n_{ij} :

$$Y_{ij} = Y_i \frac{n_{ij} Y_j}{\sum_j n_{ij} Y_j}, \quad (3.12)$$

где Y_{ij} - интенсивность нагрузки от АТС_i к АТС_j;

Y_i, Y_j - интенсивность нагрузки соответственно АТС_i и АТС_j.

Зависимость n_{ij} от расстояния l_{ij} между станциями на сети приведена на рис.3.4.

Для внутрисканционной нагрузки Y_{ii} при $l_{ii} = 0$, $n_{ii} = 1$.

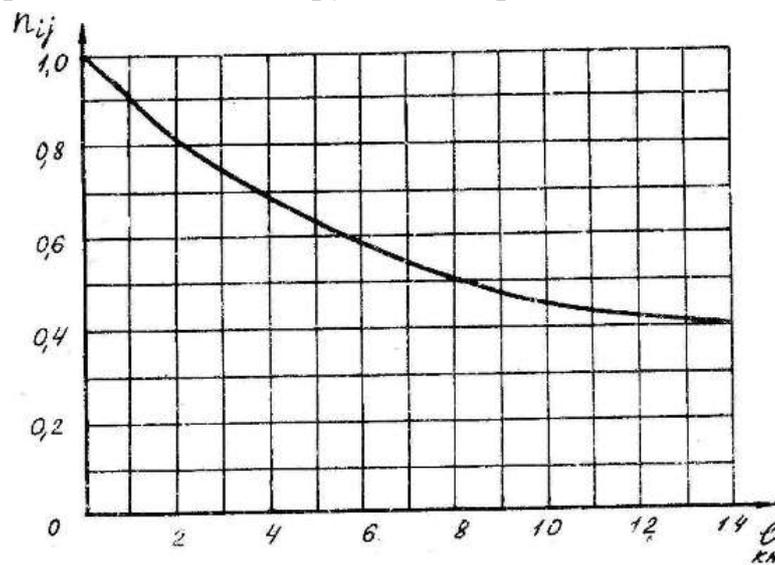


Рис.3.4. Зависимость нормированных коэффициентов n_{ij} от расстояния

Задание 3.

1. Изобразить структурную схему проектируемой сети.
2. Изобразить функциональную схему проектируемой АТС.
3. По формулам (3.3), (3.7), (3.1), (3.8) рассчитать интенсивность нагрузки, поступающей на входы коммутационного поля проектируемой АТСЭ-4 - $A_{вх}$.
4. Рассчитать среднюю удельную интенсивность нагрузки на абонентскую линию.

$$a_{нх} = \frac{A_{нх}}{N_{нх}}, \quad a_{кв} = \frac{A_{кв}}{N_{кв}}, \quad a_{исх} = \frac{A_{вх}}{N_{нх} + N_{кв}}.$$

5. Пересчитать по (3.9) интенсивность нагрузки на выходы коммутационного поля проектируемой АТСЭ-4.

6. Рассчитать интенсивность нагрузки к АМТС $Y_{AMTC} = 0,07Y_{вых}$, к УСС $Y_{УСС} = 0,02Y_{вых}$, к ЦПС $Y_{ЦПС} = 0.02Y_{вых}$; к IP-сети $Y_{IP} = 0.01 Y_{вых}$.

7. Распределить интенсивность нагрузки $Y_i = Y_{вых} - Y_{AMTC} - Y_{УСС} - Y_{ЦПС} - Y_{IP}$ по направлениям межстанционной связи методом нормированных коэффициентов тяготения. Интенсивность нагрузки на АТС сети рассчитывать следующим образом: $Y_j = a_{исх} N_{ATCj}$. Расстояния от проектируемой АТСЭ-4 к АТС сети принять по рис. 3.3. из расчета 1см=1км.

8. Результаты расчета представить в виде таблицы 3.1

Таблица 3.1

Направлен.	АМТС	УСС	ЦПС	IP-сеть	АТСЭ-1	АТСДШ-2	АТСК-3	АТСЭ-4	Итого
Интенсивн. межстанц. нагр., Эрл.									

Сделать проверку: $Y_{ИТОГО} = Y_{вых}$.

9. Построить диаграмму распределения телефонной нагрузки проектируемой АТСЭ-4 (рис.3.5). При этом исходящую нагрузку к другой АТС принять равной входящей $Y_{ij} = Y_{ji}$.

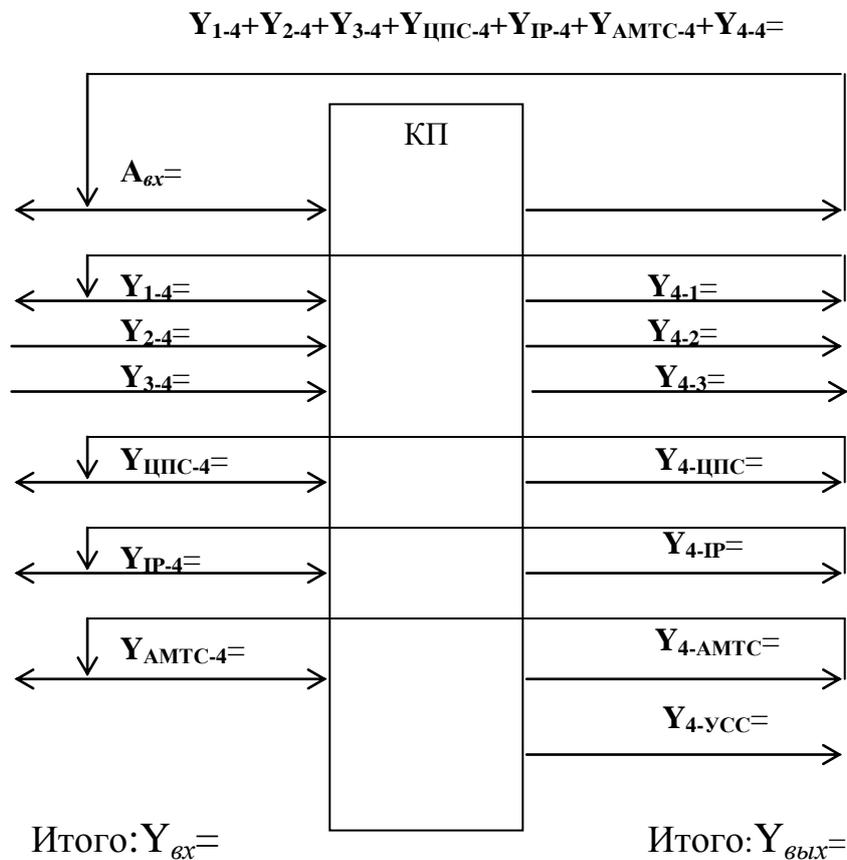


Рис.3.5. Диаграмма распределения нагрузки в Эрл.

Исходные данные для расчетов приведены в таблице 3.2.

Емкости АТС сети принять равными: $N_{АТСЭ-1}=6000$; $N_{АТСДШ-2}=9000$;
 $N_{АТСК-3}=8000$.

Таблица 3.2

№ вар.	$N_{НХ}$	$N_{КВ}$	$c_{НХ}$	$T_{НХ,с}$	$c_{КВ}$	$T_{КВ,с}$	№ вар.	$N_{НХ}$	$N_{КВ}$	$c_{НХ}$	$T_{НХ,с}$	$c_{КВ}$	$T_{КВ,с}$
1.	4200	2800	3,5	95	1,5	140	16.	4500	4500	3,1	90	1,1	120
2.	3200	4800	3,2	100	1,1	150	17.	3000	6000	3,2	100	1,5	140
3.	2800	4200	3,3	110	1,6	130	18.	4000	4500	3,6	110	1,2	130
4.	2700	4300	3,4	100	1,2	150	19.	4200	2800	3,2	90	1,6	140
5.	4000	5000	3,6	110	1,4	140	20.	4800	3200	3,4	100	1,4	160
6.	2100	4900	3,1	110	1,3	130	21.	4200	2800	3,3	110	1,3	130
7.	3500	3500	3,0	100	1,0	150	22.	2800	4200	3,4	100	1,8	150
8.	2400	5600	3,7	90	0,9	150	23.	5000	4000	3,1	110	1,5	110
9.	3200	4800	3,4	120	1,1	140	24.	4900	3100	3,2	120	1,1	130
10.	4000	4000	3,2	95	1,7	120	25.	3000	3000	3,3	115	1,2	120
11.	5000	4000	3,3	100	1,2	130	26.	4200	3800	3,5	95	0,9	150
12.	3800	5200	3,5	105	1,5	145	27.	3200	5800	3,6	100	1,3	140
13.	2800	4200	3,6	90	1,6	150	28.	2800	6200	3,3	105	0,95	130
14.	1600	6400	3,3	110	0,9	130	29.	2700	5300	3,8	90	1,15	130
15.	2400	5600	3,8	95	1,3	140	30.	4000	4000	3,0	110	1,2	145

Тема 4. Метод расчета пропускной способности однозвенных полностью доступных включений при обслуживании простейшего потока вызовов по системе с потерями. Первая формула Эрланга

Вероятность занятия любых i линий в полностью доступном пучке из V при обслуживании простейшего потока вызовов определяется *распределением Эрланга*:

$$P_i = E_{i,V}(A) = \frac{A^i}{i!} \cdot \frac{V!}{(V-i)!} \cdot \frac{1}{\sum_{j=0}^V \frac{A^j}{j!} \cdot \frac{V!}{(V-j)!}}, \quad \sum_{i=0}^V P_i = 1. \quad (4.1)$$

Различают следующие виды потерь: потери по времени - P_t , потери по вызовам - P_v , потери по нагрузке - P_n . **Потери по времени** P_t - доля времени, в течение которого заняты все V линии пучка. **Потери по вызовам** определяются отношением числа потерянных вызовов $C_{пот}$ к числу поступивших $C_{пост}$:

$$P_v = \frac{C_{пот}}{C_{пост}}. \quad (4.2)$$

Потери по нагрузке определяются отношением интенсивности потерянной нагрузки Y_{nom} к интенсивности поступившей $A_{ном}$:

$$P_n = \frac{Y_{ном}}{A_{ном}} . \quad (4.3)$$

При обслуживании простейшего потока вызовов перечисленные выше три вида потерь совпадают и равны вероятности занятия всех V линий в пучке:

$$P_t = P_\epsilon = P_n = E_{V,V}(A) = \frac{A^V}{V!} \cdot \frac{1}{\sum_{j=0}^V \frac{A^j}{j!}} . \quad (4.4)$$

Это выражение называется **первой формулой Эрланга**, она табулирована. Таблицы вероятности потерь в зависимости от значения интенсивности нагрузки A и числа линий V приведены в [4,8].

Для проведения расчетов по первой формуле Эрланга на ПЭВМ можно воспользоваться следующей рекуррентной формулой:

$$E_{i,i}(A) = \frac{AE_{i-1, i-1}(A)}{i + AE_{i-1, i-1}(A)}, \quad i=1, 2, \dots, V \text{ при } E_{0,0}(A)=1 \quad (4.5)$$

Обслуженной нагрузкой называют нагрузку на выходе коммутационной схемы, ее интенсивность определяют из выражения:

$$Y_o = A - Y_{ном} = A [1 - E_{V,V}(A)] \quad (4.6)$$

Среднее использование одной линии в пучке равно:

$$\eta = \frac{Y_o}{V} . \quad (4.7)$$

В инженерных расчетах пренебрегают потерями в коммутационном поле проектируемой АТСЭ и в формуле (4.1) принимают $A=Y$ на выходе коммутационного поля.

Задание 4.

1. Рассчитать необходимое число линий на всех направлениях межстанционной связи от проектируемой АТСЭ-4 к АТСЭ-1, АМТС, ЦПС, IP-сети и АТСЭ-4 число линий рассчитывается по суммарной исходящей и входящей нагрузке, так как используются линии двустороннего занятия. Расчет числа соединительных линий провести в предположении полного доступного неблокируемого включения при следующих нормах величины потерь по исходящей и входящей связи: $P_{УСС}=1\%$; $P_{АМТС}=10\%$; $P_{ЦПС}=5\%$; $P_{IP}=7\%$; $P_{вн.стан.}=3\%$, $P_{АТС-АТС.}=10\%$.

Значение интенсивности нагрузки на направлениях взять по результатам выполнения задания 4. Результаты расчета представить в виде таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Наименование исходящих направлений	Интенсивность нагрузки, Эрл.	Норма потерь, P	Табличное значение потерь, $E_{V,V}(A)$	Число линий, V
УСС				
АМТС				
ЦПС				
IP-сеть				
АТСЭ-1				
АТСДШ-2				
АТСК-3				
АТСЭ-4 (внутристанционное)				

Примечание: Из рис.3.3 следует, что между проектируемой АТСЭ-4 и АТСЭ-1, АМТСЭ, ЦПС и IP-сетью используются линии двустороннего занятия. На этих направлениях при расчете числа линий необходимо сложить исходящую и входящую нагрузки $Y_{ij} + Y_{ji}$.

2. Рассчитать и построить зависимость числа линий V и коэффициента среднего использования η от величины интенсивности нагрузки при величине потерь $P=0,0NN$, где NN - номер варианта. Результаты расчета представить в виде таблицы 4.2 и графиков $V = f(Y)$ и $\eta = f(Y)$ при $P=0,0NN=const$.

Таблица 4.2

№№ пп	Нагрузка Y , Эрл.	Число линий V	Табличное значение потерь, $E_{V,V}(Y)$	Обслуженная нагрузка, Y_0 , Эрл.	Коэффициент использования, η
1	1				
2	3				
3	5				
4	10				
.					
.					
.					
10	50				

3. Построить зависимость величины потерь $E_{V,V}(Y)$ от интенсивности поступающей нагрузки при фиксированном значении числа линий в направлении к УСС. Диапазон изменения величины потерь принять от 0,001 до 0,1 (соответствующим выбором Y). Результаты представить в виде таблицы 4.3 и графика $P=f(Y)$ при $V_{УСС}=const$.

Таблица 4.3

NN пп	1	2	...	10
Y, Эрл.				
$E_{V,V}(Y)$				

4. Провести анализ полученных результатов.

Тема 5. Метод расчета полностью доступных неблокируемых включений при обслуживании примитивного потока вызовов по системе с потерями. Формула Энгсета

На телефонных сетях формула Эрланга используется при числе источников потока вызовов (емкости АТС) более 100. При числе источников менее 100 поток вызовов не является простейшим и рекомендуется использовать распределение Энгсета (примитивный поток вызовов).

Потери по вызовам, по времени и по нагрузке при обслуживании примитивного потока вызовов не равны.

Потери по времени в неблокируемой полностью доступной схеме при обслуживании примитивного потока определяют с помощью формулы Энгсета:

$$P_t = P_V = \frac{C_n^V a^V (1-a)^{n-V}}{\sum_{j=0}^V C_n^j a^j (1-a)^{n-j}}, \quad (5.1)$$

где a - интенсивность исходящей нагрузки от одного источника; n - число источников нагрузки.

Потери по вызовам:

$$P_g = \frac{C_{n-1}^V a^V (1-a)^{n-1-V}}{\sum_{j=0}^V C_{n-1}^j a^j (1-a)^{n-1-j}}. \quad (5.2)$$

Для проведения расчетов по формуле Энгсета на ПЭВМ можно воспользоваться следующей рекуррентной формулой:

$$P_g(i) = \frac{(n-i)\alpha P_g(i-1)}{i + (n-i)\alpha P_g(i-1)} \quad i=1, 2, \dots, V, \quad \text{где } P_g(0)=1 \quad (5.3)$$

Потери по нагрузке:

$$P_H = \left(1 - \frac{V}{n}\right) P_t. \quad (5.4)$$

Вероятность потерь по вызовам табулирована в [5]. Величину P_g можно найти, как функцию от n , a , V . Этими же таблицами можно воспользоваться для определения потерь по времени:

$$P_t(a, n, V) = P_g(a, n+1, V). \quad (5.5)$$

Задание 5.

1.Используя таблицы [5], рассчитать для заданого V и a при $n=20$ вероятности P_t , P_g и P_n , сравнить их по величине. Для расчета значения V и a взять из задания 1.

2.Построить зависимость числа линий V от интенсивности нагрузки для фиксированного значения $P_g = 0,0NN$ при $n=10, 30, 60$, где NN -номер варианта. На этом же рисунке построить зависимость $V=f(Y)$ для обслуживания простейшего потока вызовов. Результаты расчета привести в виде таблицы 5.1

Таблица 5.1

№№ пп	n=10			n=30			n=60			n=∞	
	a	Y=na	V	a	Y=na	V	a	Y=na	V	Y	V
1											
2											
·											
·											

Расчеты по п. 2 рекомендуется проводить в следующей последовательности. Для фиксированного n задаваться числом линий $V < n$. Для фиксированных n и V подобрать такое a , при котором заданная норма потерь совпадает с табличной. При несовпадении интерполировать значение a . Для каждого фиксированного n рассчитать не менее пяти точек.

3.Провести анализ полученных результатов.

Тема 6. Методы расчета полнодоступных неблокируемых включений при обслуживании вызовов простейшего потока вызовов по системе с ожиданием

Основными показателями качества обслуживания вызовов по системе с ожиданием являются:

-вероятность ожидания (условные потери) $P(\gamma > 0)$;

-вероятность ожидания больше допустимого времени ожидания $P(\gamma > t)$,

где t выражено в относительных единицах длительности занятия, $t = t_0 / \bar{t}$ (t_0 - допустимое время ожидания, \bar{t} - среднее время занятия (обслуживания одного вызова));

-среднее время ожидания для всех поступивших вызовов $\bar{\gamma}$;

-среднее время ожидания для задержанных в обслуживании (ожидающих) вызов $\bar{\gamma}_3$;

-средняя длина очереди \bar{r} ;

-вероятность наличия очереди $P_{оч}$.

6.1. Экспоненциальное распределение длительности обслуживания

Рассмотрим коммутационную систему (КС), на входы которой поступает простейший поток вызовов, а в выходы включено V каналов (рис.6.1). Длительность обслуживания вызова каналом – величина случайная, распределенная по экспоненциальному закону

$$F_2(t) = P(t_B < t) = 1 - e^{-\beta t}, \quad \text{где } \frac{1}{\beta} \text{ - средняя длительность обслуживания}$$

вызова каналом.

Если вызов поступил в момент времени, когда все каналы заняты, то он становится в очередь. Длина очереди не ограничена. Вызовы из очереди обслуживаются в порядке поступления. Требуется найти показатели качества обслуживания.

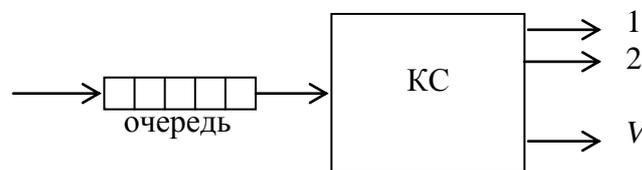


Рис.6.1. Модель обслуживания вызовов каналами при экспоненциальном распределении длительности обслуживания

Вероятность условных потерь при полном доступном включении при обслуживании по системе с ожиданием вызовов простейшего потока с экспоненциально распределенным временем обслуживания рассчитывается с помощью второй формулы Эрланга:

$$P(\gamma > 0) = \frac{V E_{V, V}(A)}{V - A + A E_{V, V}(A)}. \quad (6.1)$$

Остальные показатели рассчитывают по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} P(\gamma > t) &= P(\gamma > 0) e^{-(V-A)t}; \\ \bar{\gamma} &= P(\gamma > 0) \frac{\bar{t}}{V-A}; \quad \bar{\gamma}_3 = \frac{\bar{t}}{V-A}; \\ \bar{r} &= P(\gamma > 0) \frac{A}{V-A}; \quad P_{\text{оч}} = P(\gamma > 0) \frac{A}{V}. \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

Для практических расчетов можно использовать номограммы и таблицы, приведенные в [7].

6.2. Постоянная длительность обслуживания

При обслуживании вызовов из очереди в случайном порядке для однолинейной системы ($V=1$) Бёрке были получены выражения для определения $P(\gamma > 0)$ и $P(\gamma > t)$. Для практических расчетов используются номограммы, приведенные на рис.6.2 для $P(\gamma > 0)$ и $P(\gamma > t)$ в зависимости от интенсивности поступающей нагрузки $a = \frac{\lambda}{V}$ на одно обслуживающее устройство. Средние длительности ожидания для всех поступающих и ожидающих вызовов определяются с помощью формул Хинчина – Полячека:

$$\bar{\gamma} = \frac{A}{2(1-A)}; \quad \bar{\gamma}_3 = \frac{1}{2(1-A)}. \quad (6.3)$$

Основные показатели качества обслуживания вызовов из очереди в порядке поступления для V - линейной системы были получены Кроммелином. Для практических расчетов используют номограммы [1–3,8]. Значения $P(\gamma > 0)$ и $P(\gamma > t)$ в зависимости от интенсивности нагрузки $a = \frac{\lambda}{V}$ на одно обслуживающее устройство для $V=2$ можно найти из кривых рис.6.3.

Задание 6.

1. Рассчитать по второй формуле Эрланга величину условных потерь для всех исходящих направлений от проектируемой АТСЭ-4, предполагая, что полнодоступный пучок линий обслуживается по системе с ожиданием. Сравнить с результатами, полученными при использовании системы с явными потерями (задание 4). Результаты расчета представить в виде таблицы 6.1.

Таблица 6.1

Назначения направления	A, Эрл.	V	$E_{v,v}(A)$	$P(\gamma > 0)$
УСС				
АМТС				
ЦПС				
IP-сеть				
АТСЭ-1				
АТСДШ-2				
АТСК-3				
АТСЭ-4				
(внутристанционное)				

2. Для направления к АМТС рассчитать по (6.1) и (6.2): $P(\gamma > 1)$, $\bar{\gamma}$, $\bar{\gamma}_3$, \bar{r} и $P_{оч}$. Значение \bar{t} принять равным t_{ex} , которое рассчитано в задании 3.

3. По рис.6.2 определить качество обслуживания вызовов маркером блока ГИ АТСК-3 при норме качества обслуживания $P(\gamma > 2) = 0,003$. Время обслуживания одного вызова маркером ГИ составляет $h_{МГИ} = 0,5с$. Допустимое время ожидания не должно превышать $t_0 = 1с$. Функциональная схема блока ГИ приведена на рис.6.4.

Нагрузка на маркер блока ГИ определяется из выражения $u_{МГИ} = \frac{Y_{бл}}{t_{ex}} h_{МГИ}$.

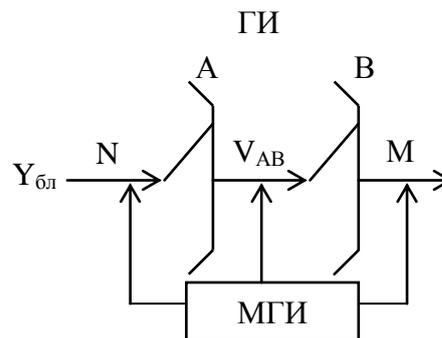


Рис.6.4. Схема обслуживания маркером блока ГИ вызовов по системе с ожиданием

Необходимые исходные данные для расчета приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2..

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Y_{бл}, Эрл.$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Тип блока	60x80x400 $N \times V_{AB} \times M$														
№ варианта	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$Y_{бл}, Эрл.$	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Тип блока	80x120x400 $N \times V_{AB} \times M$														

Рассчитать максимально допустимую нагрузку на входы блока ГИ $Y_{бл}$, при которой качество обслуживания вызовов маркером не превысит норму.

4. Как изменится качество обслуживания и основные показатели работы маркера, если он будет работать:

- а) в два раза быстрее;
- б) в два раза медленнее.

5. Провести анализ полученных результатов.

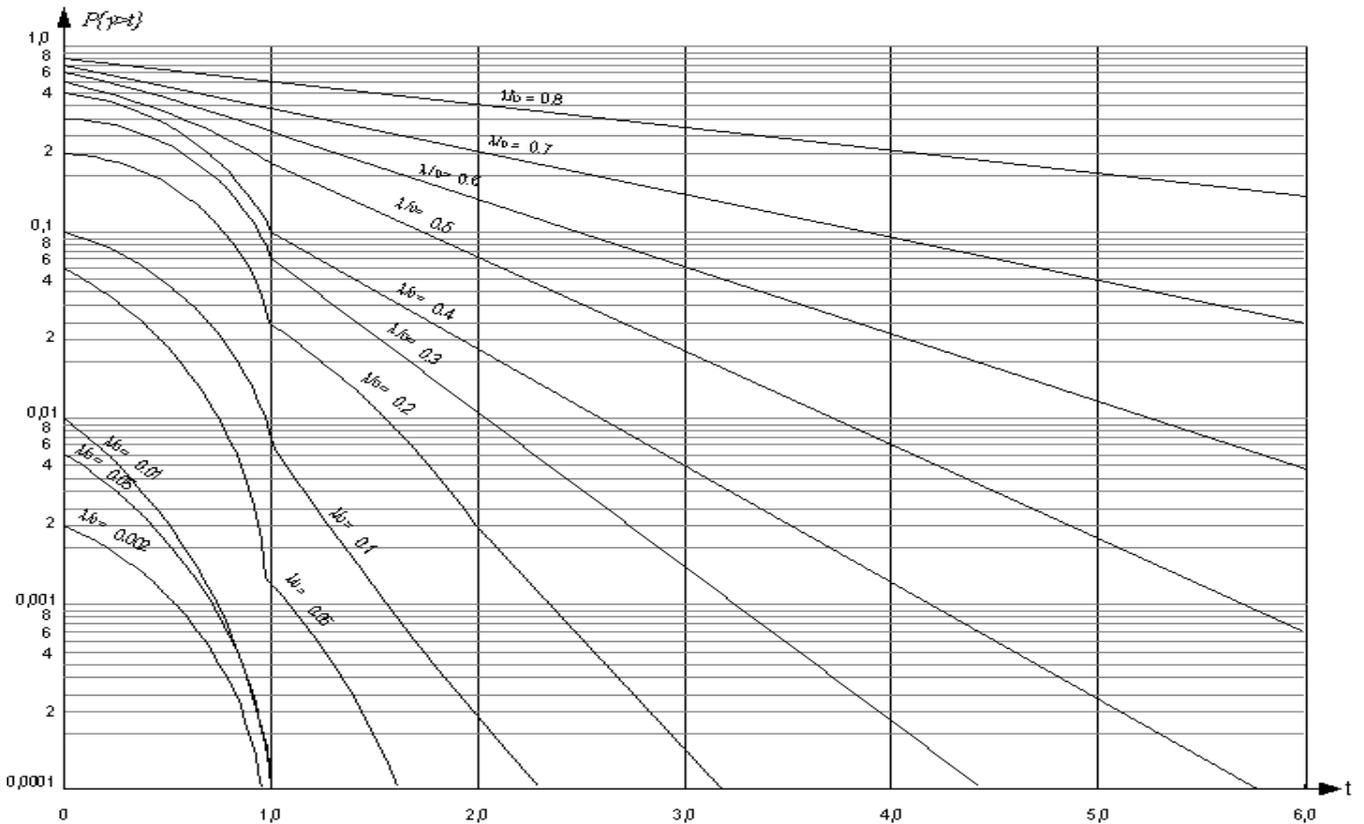


Рис.6.2. Кривые Бёрке для оценки пропускной способности систем с ожиданием при постоянной длительности обслуживания при числе обслуживающих устройств $V=1$

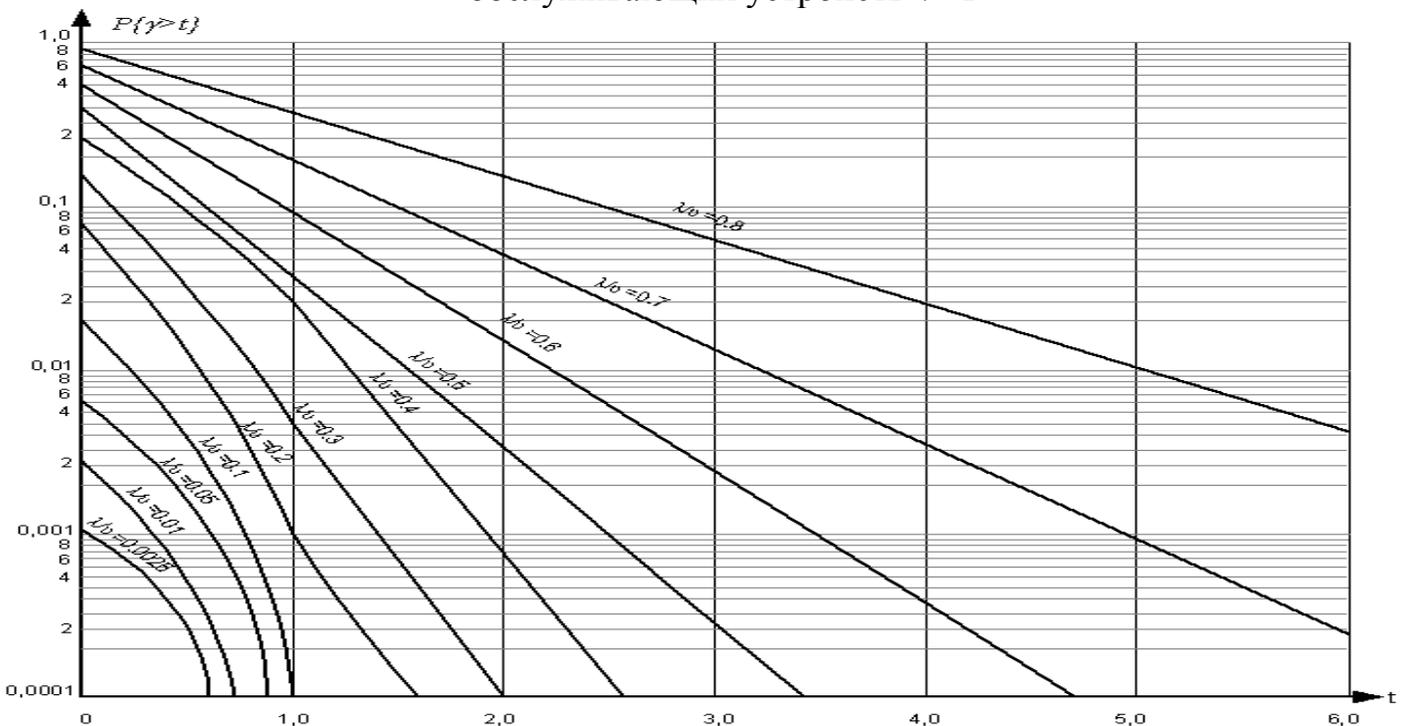


Рис.6.3. Кривые Кроммелина для оценки пропускной способности систем с ожиданием при постоянной длительности обслуживания при числе обслуживающих устройств $V=2$

Примечание: На графиках рис.6.2 и 6.3 интенсивность нагрузки a на одно обслуживающее устройство обозначена λ/v .

Тема 7. Методы расчета однозвенных полнодоступных коммутационных схем при обслуживании потока с повторными вызовами

В реальных коммутационных системах вызов, получивший отказ при установлении соединения, осуществляет повторные попытки (вызовы) установления требуемого соединения (рис.7.1). Повторные вызовы возникают не только из-за отсутствия свободных соединительных путей в момент поступления первичного вызова, но и из-за занятости линии вызываемого абонента, неответа вызываемого абонента, ошибок вызывающего абонента в процессе набора номера, неустановления соединения по техническим причинам.

Вызовы, поступающие в коммутационную систему впервые, называются *первичными* вызовами. В качестве основных характеристик работы однозвенной полнодоступной коммутационной схемы при обслуживании потока с повторными вызовами применяются: P - вероятность потерь первичных вызовов и C_0 - среднее число повторных вызовов, приходящихся на один первичный вызов.

Для определения этих характеристик в математической модели с повторными вызовами различают два этапа обслуживания вызова. Первый этап обслуживания характеризуется занятием линии на выходе коммутационной системы независимо от того, чем закончится соединение – разговором, занятостью линии вызываемого абонента и т.д. Второй этап обслуживания характеризуется разговорным состоянием соединения.

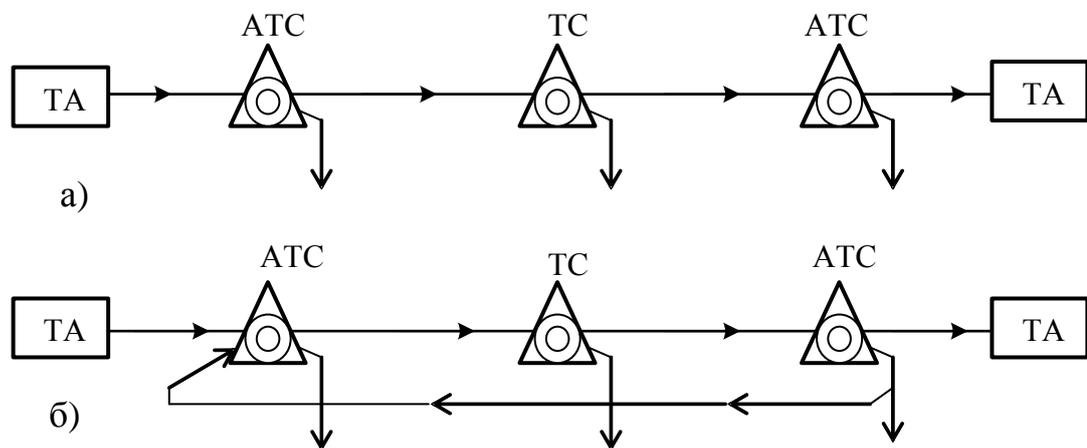


Рис.7.1. Схема установления соединения:
а) без повторных вызовов; б) с повторными вызовами

Вызов считается обслуженным, если он завершился вторым этапом – разговором. Вызов считается не обслуженным, если он завершился первым этапом.

Обозначим вероятность того, что вызов останется не обслуженным через φ . Эта вероятность может быть определена как доля вызовов, не закончившихся разговором из-за непроизводительного занятия коммутационной системы, т.е.

$$\varphi = 1 - k_p = k_{но} + k_3 + k_{ош} + k_{мех} . \quad (7.1)$$

Абоненты, вызовы которых не обслуживаются по причине занятости линий на выходе коммутационной схемы или завершились только первым этапом, являются источниками повторных вызовов. От каждого источника поступают повторные вызовы, образующие поток с параметром ρ .

Величина $T = \frac{1}{\rho}$ есть математическое ожидание длительности между двумя соседними попытками установления соединения.

Если в течение заданного времени источник не производит повторного вызова, то рассматриваемый вызов теряется окончательно. Это время принимается распределенным по показательному закону с параметром j . Тогда среднее время существования источника повторных вызовов

$$Z = \frac{1}{(\rho + j)} . \quad (7.2)$$

При этом с вероятностью $H = \frac{\rho}{(\rho + j)}$ источник производит повторный вызов. Эта вероятность определяет меру настойчивости источника добиться полного обслуживания вызова. Случай $H=0$ соответствует схеме рис.7.1.а); случай $H=1$ означает, что абонент повторяет попытки установления соединения до тех пор, пока соединение не будет установлено (абсолютная настойчивость абонента).

Вероятность потери первичного вызова P определяется отношением интенсивности потерянных первичных вызовов по причине отсутствия свободных линий на выходе коммутационной системы в момент поступления первичного вызова к интенсивности поступивших первичных вызовов. При определении среднего числа повторных вызовов \bar{C}_0 , приходящихся на один первичный вызов, следует учитывать, что появление повторных вызовов от источника вызвано как отсутствием свободных линий на выходе коммутационной схемы, так и только первым этапом обслуживания вызова. Отсюда

$$\bar{C}_0 = L (\bar{C}_1 + 1) - 1, \quad (7.3)$$

где L - среднее число попыток на первом этапе добиться полного обслуживания вызова; \bar{C}_1 - среднее число повторных вызовов, приходящих на один первичный и повторный вызовы, которые возникают из-за отсутствия свободных линий на выходе коммутационной системы.

Величина L может быть найдена из выражения

$$L = 1/(1 - \varphi H). \quad (7.4)$$

Для определения P и \bar{C}_1 используются таблицы [6], в которых значения этих величин приведены в зависимости от емкости пучка линий V на выходе коммутационной системы при фиксированных значениях

$$\eta = \frac{Y}{V}, \quad T = \frac{1}{\rho} \quad \text{и} \quad U = \frac{j}{\rho}. \quad (7.5)$$

Значения T и U могут быть найдены из следующих выражений:

$$T = \frac{Z}{H}; \quad U = \frac{(1-H)}{H}. \quad (7.6)$$

Величину U можно рассматривать как меру «ненастойчивости» абонента. Так, если абонент абсолютно настойчив $H=1$, а $U=0$.

В таблице П.1 приложения приведены значения P и \bar{C}_1 в виде мантиссы и порядка для $V=12 - 60$ при $T=0,1$ и $U=0$, $V=12-50$ при $T=0,2$ и $U=0,5$

Задание 7.

1. Построить зависимость вероятности потерь первичных вызовов P и среднего числа повторных вызовов \bar{C}_0 , приходящихся на один первичный вызов, от среднего использования линий η на выходе однозвенной полнодоступной коммутационной схемы по направлению к узлу специальных служб (УСС) для вероятностей поступления повторных вызовов $H_1=1$ и $H_2=0,667$. При определении P и \bar{C}_0 принять $Z=0,1$ ч. Результаты расчета представить в виде графиков $P=f(\eta)$ и $\bar{C}_0=f(\eta)$ для $H_1=1$ и $H_2=0,667$ и таблицы 7.1.

Таблица 7.1

№ пп	Y	$E_{v,v}(A)$	η	$H=1$			$H=0,667$		
				P	\bar{C}_1	\bar{C}_0	P	\bar{C}_1	\bar{C}_0
1									
.									
.									
5.									

На графике $P=f(\eta)$ привести зависимость $E_{v,v}(A)=f(\eta)$ и сравнить значение $E_{v,v}(A)$ и P по величине. Объяснить полученные зависимости.

Примечание. Диапазон нагрузок к УСС (не менее пяти точек) взять из таблицы 4.3 задания 4 так, чтобы $E_{v,v}(A) \leq 0,05$.

2.Подобрать такое число линий в направлении к УСС, чтобы с учетом повторных вызовов потери первичных вызовов не превышали заданную норму $P = 0,001$.

Тема 8. Методы расчета пропускной способности однозвенных неполнодоступных включений: упрощенная формула Эрланга, формула О'Делла, формула Пальма-Якобеуса

Для практических расчетов пропускной способности однозвенных неполнодоступных включений (рис.8.1) используются приближенные методы.

Упрощенная формула Эрланга:

$$V = \frac{Y_0}{D\sqrt{P}}, \quad (8.1)$$

где Y_0 - интенсивность обслуженной пучком линий нагрузки; P - вероятность потерь; D - доступность; $D\sqrt{P}$ - средняя пропускная способность одной линии пучка. Эта формула дает грубую приближенную оценку пропускной способности неполнодоступного включения (завышается пропускная способность НПД пучка).

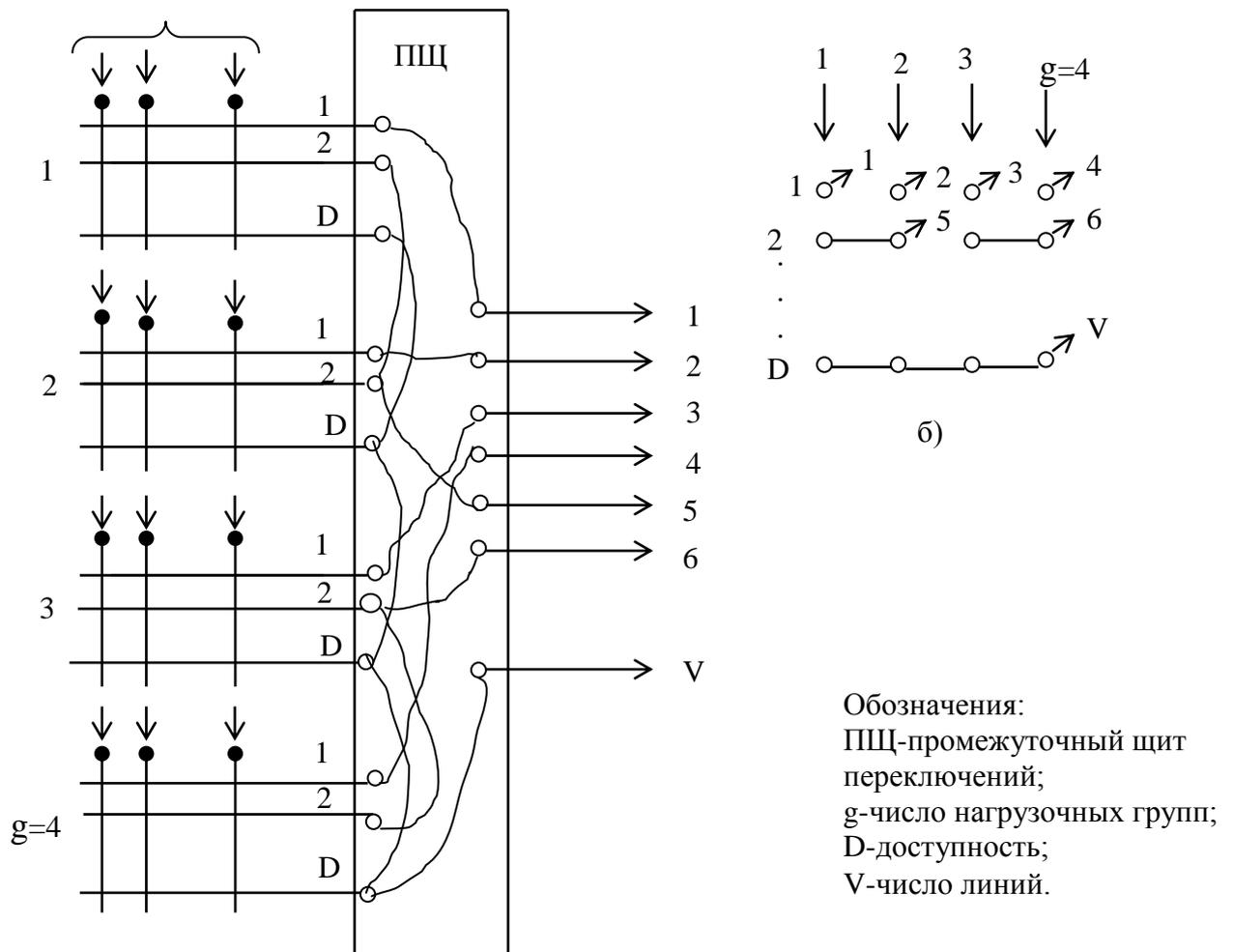


Рис.8.1. Неполнодоступное (НПД) включение линий
 а) схема запараллеливания выходов; б) условное изображение НПД схемы.

Формула О'Делла:

$$V = D + \frac{Y_0 - Y_D}{D\sqrt{P}}, \quad (8.2)$$

где Y_D - нагрузка, обслуженная полнодоступным пучком из D линий при потерях P и приблизительно определяемая с помощью 1-ой формулы Эрланга (по таблицам Пальма).

Формула Пальма – Якобеуса:

$$P = \frac{E_v(A)}{E_{(v-D)}(A)}, \quad (8.3)$$

где A – интенсивность поступающей на пучок линий нагрузки.

При малых значениях потерь P можно считать $A = Y_0$. Поэтому все эти формулы при фиксированных D и P могут быть приведены к виду:

$$V = \alpha A + \beta, \quad (8.4)$$

где значения α и β зависят от D и P .

Для упрощенной формулы Эрланга:

$$\alpha = \frac{1}{D\sqrt{P}}, \quad \beta = 0; \quad (8.5)$$

Для формулы О'Делла:

$$\alpha = \frac{1}{D\sqrt{P}}, \quad \beta = D - \frac{Y_D}{D\sqrt{P}}. \quad (8.6)$$

Для формулы Пальма – Якобеуса эти коэффициенты можно подобрать. Значения α и β для формулы О'Делла табулированы и для некоторых значений P и D приведены в таблице П.4 Приложения.

Задание 8.

1. Рассчитать и построить зависимости числа линий V и коэффициента среднего использования $\eta = \frac{Y_0}{V}$ от интенсивности поступающей нагрузки A при величине потерь $P = 0,0NN$, где NN – двухзначный номер варианта, и значениях доступности $D = 10, 20, 40$, используя метод О'Делла. Результаты расчета представить в виде таблицы 8.1 и графика. Значения A соответствуют нагрузкам на направлениях, рассчитанным при выполнении задания 3 (таблица 3.1). Следить, чтобы выполнялось условие НПД включения $V > D$.

2. Рассчитать и построить зависимость числа линий V от величины потерь P неполнодоступного пучка при значении $A = Y_{\text{внутр.ст.}}$ и $D = 10$ по формуле Эрланга, О'Делла, Пальма – Якобеуса. Результаты расчета представить в виде таблицы 8.2 и графика.

Таблица 8.1.

Направление связи от АТСЭ-4	А, Эрл	D = 10		D = 20		D = 40	
		V	η	V	η	V	η
УСС							
АМТС							
ЦПС							
IP-сеть							
АТСЭ – 1							
АТСДШ – 2							
АТСК – 3							
АТСЭ – 4(внутростанционное)							

Таблица 8.2.

№ п.п.	P	V, рассчитанное по формулам		
		Эрланга	О' Делла	Пальма –Якобеуса
1	0,001			
2	0,005			
3	0,01			
·	·			
·	·			
·	·			
10	0,2			

Тема 9. Метод Якобеуса для расчета пропускной способности двухзвенных полнодоступных включений

Многозвенные коммутационные схемы имеют значительно большее число состояний, чем однозвенные. Поэтому система уравнений для вероятностей состояний многозвенной коммутационной схемы не только не может быть решена, но и во многих случаях не может быть записана.

Поэтому для расчета двухзвенных коммутационных схем при полнодоступном включении линий применяется приближенный комбинаторный метод Якобеуса.

Вызов в двухзвенной схеме может быть потерян в одном из трех случаев:

- 1) если заняты все промежуточные линии, которые могут быть использованы для обслуживания этого вызова;
- 2) если заняты все выходы в требуемом направлении;
- 3) если возникают неудачные комбинации свободных промежуточных линий и свободных выходов.

Вид формулы Якобеуса для вероятности потерь в двухзвенной коммутационной схеме при полнодоступном включении линий зависит от соотношения основных коммутационных параметров блока искания,

определяющих применение закона распределения вероятностей занятия обслуживающих устройств на первом и втором звеньях.

Примем следующие обозначения: n - число входов в каждый коммутатор звена А; m - число выходов из каждого коммутатора звена А; σ - коэффициент сжатия или расширения, $\sigma = m/n$; k - число коммутаторов на звене А; q - число выходов, выделяемых в направлении искания из каждого коммутатора звена В; f - связность блока; a - нагрузка на один вход; b - нагрузка на одну промежуточную линию блока; c - нагрузка на один выход в направлении искания; A - интенсивность поступающей нагрузки в данном направлении (рис.9.1).

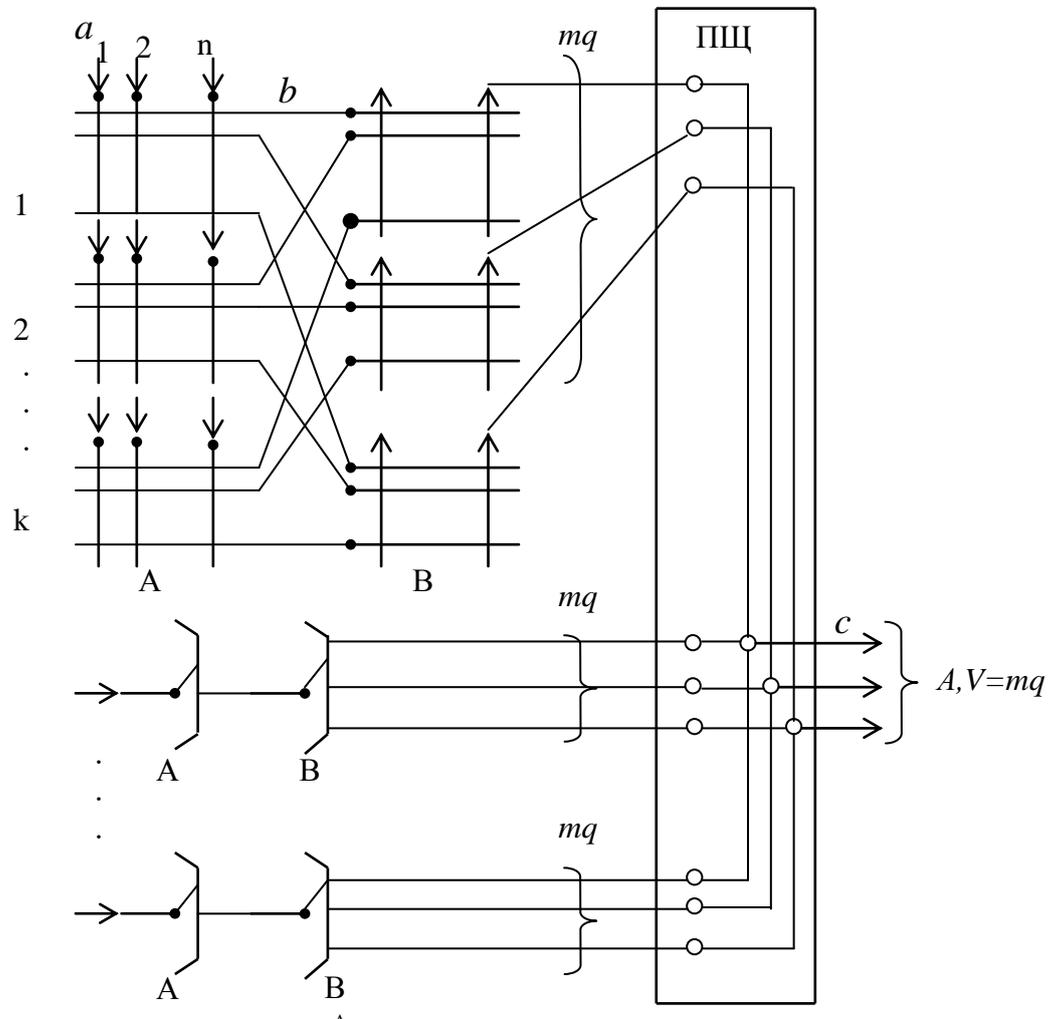


Рис.9.1. Двухзвенное полностью блокируемое включение $V=m q$.

Если $k \gg q$, то на первом звене А применяют распределение Бернулли, на втором звене – распределение Эрланга. Расчетные формулы для вероятности потерь P следующие:

$$P = \frac{E_{mq}(A)}{E_{mq}\left(\frac{A}{b^f}\right)} \quad \text{при } \sigma = 1; \quad (9.1)$$

$$P = \frac{E_{mq}(A)}{E_{mq}\left(\frac{A}{a^f}\right)} \quad \text{при } \sigma > 1; \quad (9.2)$$

$$P = b^m + \frac{E_{mq}(A)}{E_{mq}\left(\frac{A}{b^f}\right)} \quad \text{при } \sigma < 1 \quad (9.3)$$

Если $k \approx q$, то на звеньях А и В используется распределение Бернулли. Расчетные формулы следующие:

$$P = (c^q + b^f - b^f c^q)^m \quad \text{при } \sigma = 1; \quad (9.4)$$

$$P = c^{q(m-n)}(a^f + c^q - a^f c^q)^n \quad \text{при } \sigma > 1; \quad (9.5)$$

$$P = (b^f + c^q - b^f c^q)^m \quad \text{при } \sigma < 1. \quad (9.6)$$

Если величина потерь P_n задана, то число линий $V = mq$ из приведенных уравнений определяется путем подбора такого значения q , при котором $P \leq P_n$.

Задание 9.

1. Для заданного в таблице 6.2. задания 6 двухзвенного блока ГИ построить схему группообразования в координатном виде и рассчитать величину вероятности потерь для направлений к УСС и АМТС при полном доступном двухзвенном включении линий. Значения интенсивности нагрузок в направлениях к АМТС и УСС взять из результатов расчета задания 3.

2. Для того же двухзвенного блока ГИ найти необходимое число линий в направлении от АТСК-3 к проектируемой АТСЭ-4, предполагая полное доступное включение, при потерях $P = 0,0NN$, где NN - двухзначный номер варианта.

Значение интенсивности нагрузки в направлении взять из результатов расчета задания 3. Нагрузку на один вход блока взять из задания 6.

Тема 10. Методы расчета пропускной способности двухзвенных схем, в выходы которых включен неполнодоступный пучок линий

10.1. Метод Якобеуса

Неполнодоступное включение линий имеет место при условии $V > mq$. Это включение аналогично рис.9.1, но на ПЩ выполняется НПД включение $V > mq$.

Метод Якобеуса для расчета неполнодоступных схем основывается на идее О'Делла. Эта идея заключается в том, что средняя нагрузка, обслуживаемая одной линией неполнодоступного пучка, находится в промежутке между $c_{\min} = \frac{Y_d}{D}$ (Y_D - определяется по 1-ой формуле Эрланга) и максимальным значением $c_{\max} = D\sqrt{P}$.

Величина c_{\min} определяется для случая $V = D$.

В соответствии с идеей О'Делла число линий неполнодоступного пучка может быть определено из выражения:

$$V = D + \frac{Y_0 - Y_D}{c_{\max}}. \quad (10.1)$$

Для двухзвенных схем $D = mq$ и $Y_D = Y_{mq}$. Для определения Y_{mq} можно воспользоваться соответствующими уравнениями Якобеуса, полученными для двухзвенных схем, в выходы которых включен полнодоступный пучок линий. Например, для $\sigma = 1$ и $k \gg q$, $Y_{mq} \approx A_{mq}$ можно определить из уравнения

$$P = \frac{E_{mq}(A_{mq})}{E_{mq}\left(\frac{A_{mq}}{b}\right)} \quad (10.2)$$

путем подбора при известных P, m, q и b .

При определении c_{\max} предполагается очень большое число линий V и для нахождения c_{\max} при $\sigma = 1$ следует воспользоваться формулой Якобеуса для полнодоступного включения, полученной в предположении распределения Бернулли на первом и втором звеньях:

$$P = (c_{\max}^q + b - b c_{\max}^q)^m. \quad (10.3)$$

Таким образом, для $\sigma = 1$ необходимо решить систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} V &= mq + \frac{Y_0 - Y_{mq}}{c_{\max}}; \\ P &= \frac{E_{mq}(Y_{mq})}{E_{mq}\left(\frac{Y_{mq}}{b}\right)}; \\ P &= (c_{\max}^q + b - b c_{\max}^q)^m. \end{aligned} \right\} \quad (10.4)$$

Аналогичным образом получены уравнения для коммутационных двухзвенных схем с расширением и со сжатием:

Для $\sigma > 1$

$$\left. \begin{aligned} V &= mq + \frac{Y_0 - Y_{mq}}{c_{\max}}; \\ P &= \frac{E_{mq}(Y_{mq})}{E_{nq}\left(\frac{Y_{mq}}{a}\right)}; \\ P &= (a + c_{\max}^q - a c_{\max}^q)^n c_{\max}^{(m-n)q}. \end{aligned} \right\} \quad (10.5)$$

Для $\sigma < 1$

$$\left. \begin{aligned} V &= mq + \frac{Y_0 - Y_{mq}}{c_{\max}}; \\ P &= \frac{E_{mq}(Y_{mq})}{E_{mq}\left(\frac{Y_{mq}}{b}\right)} + b^m; \\ P &= (b + c_{\max}^q - b c_{\max}^q)^m. \end{aligned} \right\} \quad (10.6)$$

При малой величине потерь P в (10.4) – (10.6) обычно принимается $Y_0 \approx A$, $Y_{mq} \approx A_{mq}$.

Порядок решения системы уравнений Якобеуса при определении необходимого числа линий при заданных значениях нагрузки A и качестве обслуживания P следующий:

- 1) методом подбора с использованием таблиц Пальма [4,8] из второго уравнения системы определяется Y_{mq} ;
- 2) методом подбора (или решением) из третьего уравнения системы находится c_{\max} ;
- 3) подставляя полученные значения Y_{mq} и c_{\max} в первое уравнение, определяется число линий V .

10.2. Метод эффективной доступности

Этот метод основан на понятии мгновенной доступности D_i . При обслуживании вызовов в двухзвенной системе мгновенное значение доступности будет изменяться между некоторыми крайними значениями:

$$D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max} .$$

Максимальная доступность соответствует случаю, когда все промежуточные линии между звеньями свободны, и при $f = 1$

$$D_{\max} = m_A q = k_B q , \quad (10.7)$$

где m_A - число выходов из одного коммутатора на звене А;

k_B - число коммутаторов на звене В.

Минимальная доступность соответствует наиболее неблагоприятному по пропускной способности состоянию коммутационной системы: заняты все кроме одного входа в коммутаторе звена А. Минимальная доступность определяется из следующего выражения:

$$\text{при } \sigma < 1 \quad D_{\min} = 0; \quad \text{при } \sigma \geq 1 \quad D_{\min} = q(k_B - (n_A / f) + 1) . \quad (10.8)$$

Можно показать, что потери при двухзвенном включении равны потерям при эквивалентном ему однозвенном включении с тем же числом исходящих линий. Доступность однозвенной схемы с потерями, равными потерям в рассматриваемой двухзвенной схеме, называется эффективной и обозначается $D_э$.

$$\text{Доказано, что } D_{\min} \leq D_э \leq \bar{D} ,$$

где \bar{D} - математическое ожидание доступности двухзвенной схемы.

Значение $D_э$ определяется из выражения:

$$D_э = D_{\min} + \theta (\bar{D} - D_{\min}) , \quad (10.9)$$

где θ - коэффициент пропорциональности, зависящий от типа двухзвенного блока, от нагрузки в направлении, от числа нагрузочных групп и т.д. Значение θ лежит в пределах от 0,7 до 0,9. Для блоков ГИ обычно принимается $\theta = 0,75$.

Величина \bar{D} зависит от связности f и может быть определена:

$$\text{при } f = 1 \quad \bar{D} = q(m_A - Y_m) ;$$

$$\text{при } f = 2 \quad \bar{D} = q \left[\frac{m_A}{2} - \frac{Y_m^2}{2(m-1)} \right] , \quad (10.10)$$

где Y_m - интенсивность нагрузки, обслуженной линиями одного коммутатора звена А, $Y_m = a n_A = b m_A$; n_A - число входов в один коммутатор на звене А.

После определения эффективной доступности расчет числа линий на выходе двухзвенной схемы сводится к расчету линий на выходе однозвенной неполнодоступной схемы. В частности, можно использовать формулу О'Делла

$$V = \alpha Y + \beta, \quad (10.11)$$

где Y – интенсивность нагрузки в направлении, α и β находятся из таблицы 4 Приложения при полученном D_9 и заданном значении вероятности потерь P . При дробном значении D_9 используют интерполяцию.

Задание 10.

1. Для заданного в таблице 6.2 задания 6 двухзвенного блока ГИ методом Якобеуса рассчитать число линий в НПД пучке для направления от АТСК-3 к проектируемой АТСЭ-4 при величине $q=1$ и качестве обслуживания $P=5\%$. Интенсивность поступающей на один вход блока ГИ нагрузки взять из задания 6.

2. Для этого же блока ГИ методом эффективной доступности рассчитать число линий для направления от АТСК-3 к проектируемой АТСЭ-4 при величине $q=1$ и качестве обслуживания $P=5\%$. Сравнить результаты расчета двумя методами.

Тема 11. Метод построения равномерных неполнодоступных включений: метод цилиндров

Неполнодоступным (НПД) включением называется такое включение линий рассматриваемого пучка, при котором каждому входу коммутационной системы доступна лишь часть линий пучка.

Доступностью НПД пучка линий называется число линий, доступных каждому входу нагрузочной группы. Обозначается D .

Необходимость образования НПД включений вызвана конструктивными ограничениями коммутационных приборов и стремлением повысить использование линий в пучке.

Совокупность входов коммутационной схемы, каждому из которых доступны одни и тем же D линии пучка, называется **нагрузочной группой**. Число нагрузочных групп обозначается через g .

Необходимым условием НПД включения является неравенство

$$D < V < gD. \quad (11.1)$$

Отношение $\gamma = \frac{gD}{V}$ называется **коэффициентом уплотнения** и характеризует среднее число нагрузочных групп, доступных одной линии пучка.

Коэффициент уплотнения находится в пределах $1 < \gamma < g$. В большинстве случаев оптимальное значение γ лежит в пределах от 2 до 4.

Число связей между выходами отдельных нагрузочных групп обычно записывается в виде **матрицы связности**. Диагональный элемент матрицы равен доступности схемы. Каждый элемент матрицы a_{ij} показывает число связей между нагрузочными группами i и j .

В соответствии с порядком искания свободных линий в НПД схемах различают: упорядоченное искание (АТСДШ); случайное искание (АТСК).

Равномерным включением называется такое НПД включение, при котором число нагрузочных групп, обслуживаемых каждой линией, одинаково или отличается на единицу. Равномерное включение используется в системах со случайным исканием.

В зависимости от способа запараллеливания выходов различных нагрузочных групп неполнодоступные включения делятся на **прямые, с перехватом, со сдвигом**.

Перехват со сдвигом часто выполняется в виде циклических схем, называемых цилиндрами. **Цилиндр** – элементарная равномерная схема с одинаковым сдвинутым включением. Цилиндр характеризуется *размером* (количеством охватываемых выходов каждой нагрузочной группы) и величиной наклона. Цилиндр размера d называется d - шаговым. Наклон d - шагового цилиндра характеризуется числом параметров $(d-1)$.

Выбор оптимальной структуры равномерной НПД схемы производится по следующим правилам:

- 1) каждая линия должна быть доступна одинаковому числу нагрузочных групп (или отличаться на единицу);
- 2) каждая нагрузочная группа должна иметь одинаковое число обслуживающих линий со всякой другой нагрузочной группой;
- 3) каждая линия объединяет соседние выходы.

Для выполнения правила 1 производится расчет равномерной НПД схемы. Для этого:

- а) определяется коэффициент уплотнения $\gamma = \frac{gD}{V}$.

Величина γ может быть дробным числом. Тогда часть линий V_1 из общего пучка линий V объединяют по γ_1 выходов нагрузочных групп, где $\gamma_1 = [\gamma]$ - целая часть числа. Другая часть линий $V_2 = V - V_1$ объединяет по $\gamma_2 = \gamma_1 + 1$ выходов нагрузочных групп;

б) находится число линий V_1 и V_2 решением системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} V &= V_1 + V_2, \\ \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V &= gD. \end{aligned} \right\} \quad (11.2)$$

Откуда

$$\begin{aligned} V_1 &= V\gamma_2 - gD; \\ V_2 &= gD - V\gamma_1. \end{aligned} \quad (11.3)$$

В инженерной практике используется следующий простой прием: результат деления $\gamma = \frac{gD}{V}$ представляется в виде правильной дроби без сокращения. Если значение γ получилось целое без остатка, то каждая линия запараллеливает выходы γ нагрузочных групп. Если в результате получилась дробь следующего вида (без сокращений) $\gamma = \gamma_1 \frac{V_1}{V}$, то V_1 линий запараллеливают по $\gamma_1 + 1$ нагрузочных групп, а $V_2 = V - V_1$ - по γ_1 нагрузочных групп.

Для выполнения правил 2) и 3) необходимо при построении равномерной НПД схемы использовать цилиндры с различной величиной наклона (с различными параметрами).

Размерность используемых цилиндров определяется величинами γ_1 и γ_2 .

Число цилиндров зависит от числа нагрузочных групп и величин V_1 и V_2 .

Число цилиндров размерностью γ_1 составит $\left[\frac{V_1}{g} \right]$, а число цилиндров размерностью γ_2 $\left[\frac{V_2}{g} \right]$.

Типы цилиндров, легко приводящих схему к равномерной, и их первые строки матриц связности приведены в таблицах П.2,3 Приложения.

В практических случаях не удастся построить равномерную НПД схему, используя только цилиндры. Оставшиеся выходы объединяются с наименьшим нарушением указанных трех правил.

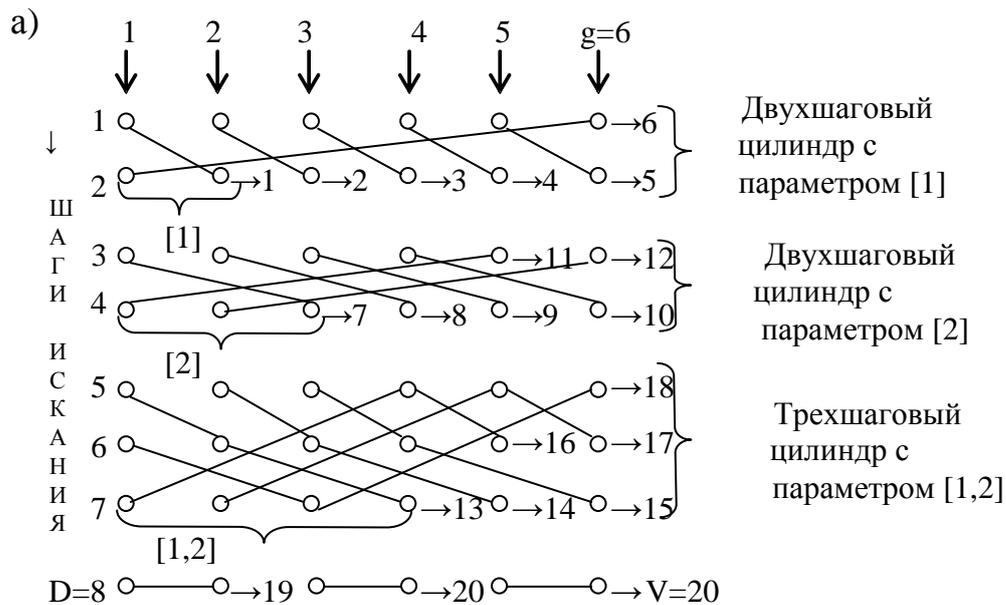
Для оценки полученной равномерной НПД схемы строится матрица связности. Включение будет равномерным, если элементы внутри матрицы не будут отличаться более чем на единицу, а сумма по строке должна быть одинаковой или отличаться не более чем на единицу.

Пример равномерного НПД включения показан на рис.11.1.

Задание 11.

Построить схему равномерного НПД включения линий для направления от АТСК-3 к проектируемой АТСЭ-4 на выходе двухзвенного блока ГИ. Для оценки выполненного включения составить матрицу связности. Число линий V взять из результатов расчета задания 9, число нагрузочных групп g выбрать таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\gamma = \frac{gD}{V} = 2 \div 4.$$



б)

g	1	2	3	4	5	6
1	*	3	2	2	2	2
2		*	2	2	2	2
3			*	3	2	2
4				*	2	2
5					*	3
6						*

$$\gamma = \frac{gD}{V} = \frac{6 \cdot 8}{21} = 2 \frac{6}{21},$$

следовательно, 6 линий включаются в выходы $2+1=3$ нагрузочных групп, а $21-6=15$ линий в выходы 2-х нагрузочных групп.

Рис.11.1. Пример равномерного НПД включения: $g=6$; $D=8$; $V=21$.

а) схема равномерного НПД включения;
б) матрица связности.

Тема 12. Метод вероятностных графов для расчета пропускной способности многозвенных коммутационных схем

Коммутационные поля координатных и квазиэлектронных АТС строятся на основе многозвенных схем. Расчет многозвенных схем более сложен, чем расчет однозвенных НПД схем. Поэтому для оценки пропускной способности многозвенных схем используются приближенные инженерные методы и моделирование коммутационных схем.

Одним из приближенных методов расчета многозвенных коммутационных схем является метод вероятностных графов.

Сущность метода заключается в том, что для определения пропускной способности многозвенной схемы рассматривается не вся схема, а только та ее часть, которая содержит все возможные соединительные пути от заданного входа к выбранному выходу. При этом рассматривается не сама схема, а ее модель, в которой коммутаторы заменяются точками и называются вершинами, а соединительные пути между коммутаторами – дугами графа.

Предполагается, что дуги графа, соединяющие соседние вершины, занимают независимо от состояния дуг между другими вершинами с одинаковой вероятностью w_{ij} , равной среднему использованию дуги, т.е. частному от деления нагрузки Y_{ij} , обслуженной промежуточными линиями

между соседними звеньями i и j , на число этих линий V_{ij} : $w_{ij} = \frac{Y_{ij}}{V_{ij}}$.

При определении вероятности потерь любого сложного графа используют выражение для вычисления P следующих простых графов.

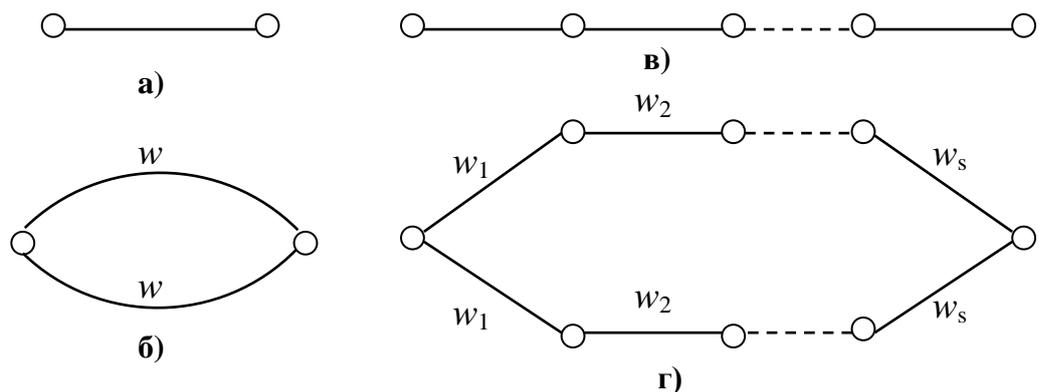


Рис. 12.1. Простейшие вероятностные графы

Если граф состоит только из одной дуги с вероятностью занятости w (рис.12.1а), то вероятность потерь в коммутационной схеме, отображаемой этим графом, $P = w$.

Вероятность потерь в графе, состоящем из α параллельно включенных дуг (рис.12.1б)

$$P = w^\alpha. \quad (12.1)$$

Вероятность потерь в графе, состоящем из S последовательно включенных дуг с вероятностями занятости w_1, w_2, \dots, w_S (рис.12.1в):

$$P = 1 - \prod_{i=1}^S (1 - w_i) . \tag{12.2}$$

Вероятность потерь в параллельно – последовательном графе (рис.12.1г):

$$P = \left[1 - \prod_{i=1}^S (1 - w_i) \right]^\alpha . \tag{12.3}$$

Задание 12.

1.Рассчитать структурные параметры и построить схему группообразования блока абонентского искания (АИ) АТСК-3 в координатном виде. Структура коммутационной схемы и типы МКС, на которых реализовано каждое звено, заданы в таблице 12.1 в соответствии с номером варианта.

Таблица 12.1

№ вар.	Тип МКС, на котором реализовано				Параметры блока АИ
	Звено А	Звено В	Звено С	Звено D	
1	20x10x6	20x10x6	20x10x6	10x20x6	
2	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x20x6	
3	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
4	20x10x6	20x10x6	20x10x6	10x20x6	
5	10x10x12	10x10x12	10x10x12	20x10x6	
6	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
7	20x10x6	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
8	10x10x12	20x10x6	10x10x12	10x20x6	
9	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
10	20x10x6	20x10x6	10x10x12	10x10x12	
11	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x20x6	
12	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
13	20x10x6	20x10x6	10x10x12	10x20x6	
14	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
15	10x10x12	20x10x6	20x10x6	10x20x6	
16	20x10x6	20x10x6	20x10x6	10x20x6	
17	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x20x6	
18	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
19	20x10x6	20x10x6	20x10x6	10x20x6	
20	10x10x12	10x10x12	10x10x12	20x10x6	
21	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
22	20x10x6	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
23	10x10x12	20x10x6	10x10x12	10x20x6	
24	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
25	20x10x6	20x10x6	10x10x12	10x10x12	
26	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x20x6	
27	10x10x12	10x10x12	20x10x6	10x20x6	
28	20x10x6	20x10x6	10x10x12	10x20x6	
29	10x10x12	10x10x12	10x10x12	10x10x12	
30	10x10x12	20x10x6	20x10x6	10x20x6	

2. Построить вероятностные графы и рассчитать вероятность потерь методом вероятностных графов по исходящей и входящей связи для блока абонентского искания Удельную исходящую абонентскую нагрузку принять равной входящей $a_{исх}=a_{вх}=a$ из задания 3. Для четырехзвенной схемы число блоков АВ принять равным 10, число блоков CD – 4.

Пример решения задачи.

Пусть задана четырехзвенная ступень абонентского искания (рис.12.2).

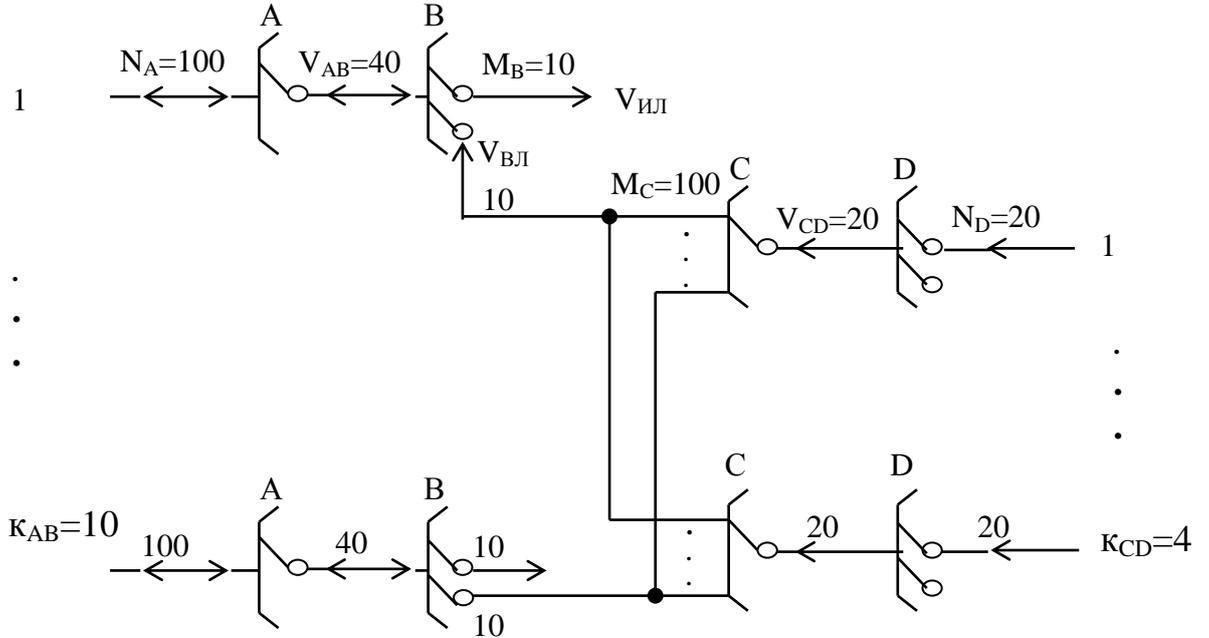


Рис. 12.2. Четырехзвенная ступень абонентского искания (АИ)

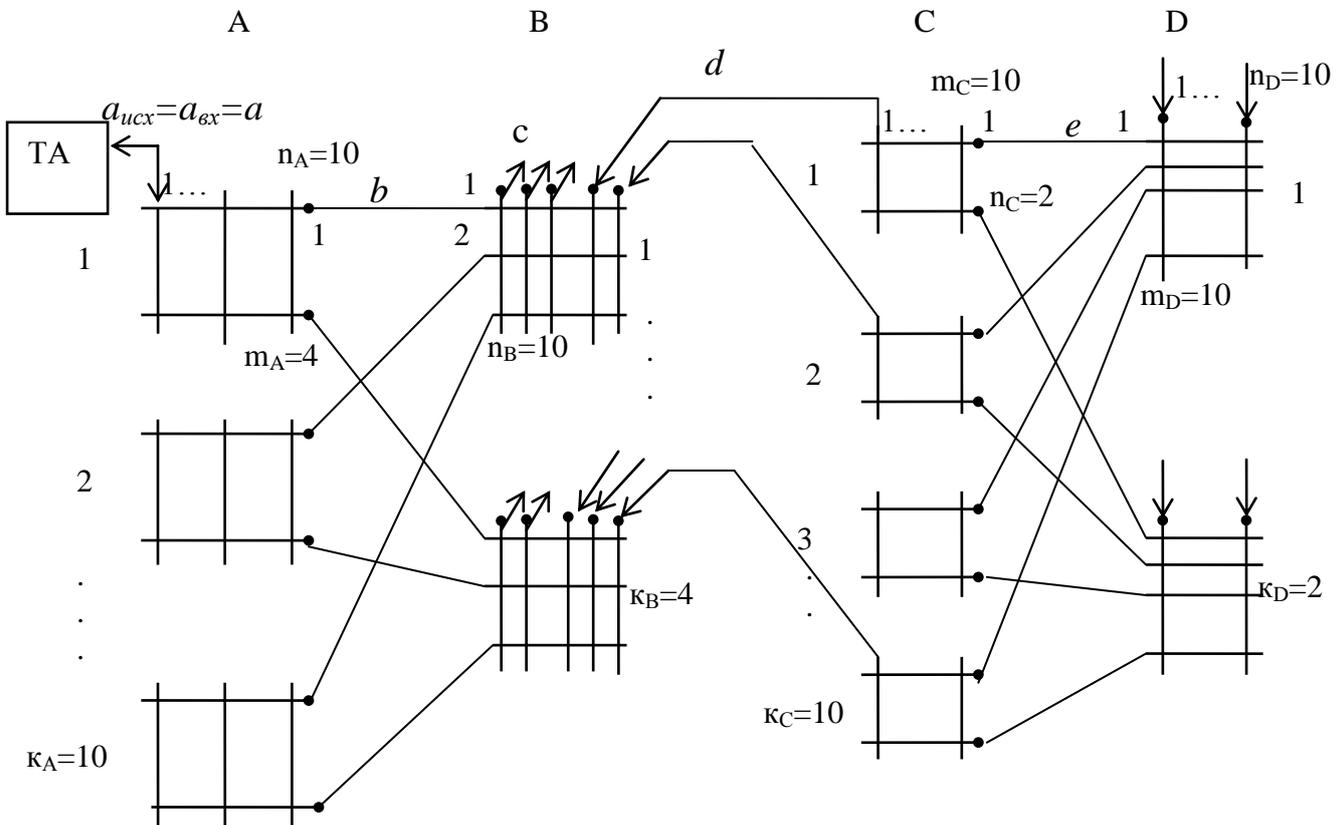


Рис.12.3. Схема группообразования ступени абонентского искания в координатном виде

На всех звеньях использован МКС 10x10x6. Схема группообразования ступени АИ приведена на рис. 12.3.

Структурные параметры блоков:

-число коммутаторов на звене А $\kappa_A = \frac{N_A}{m_{MKCA}} = \frac{100}{10} = 10;$

-число входов (абонентских линий – АЛ), включенных в один коммутатор на звене А $n_A = \frac{N_A}{\kappa_A} = \frac{100}{10} = 10;$

-число выходов (промежуточных линий - ПЛ) из одного коммутатора на звене А $m_A = \frac{V_{AB}}{\kappa_A} = \frac{40}{10} = 4;$

-число коммутаторов на звене В $\kappa_B = \frac{V_{AB}}{m_{MKCB}} = \frac{40}{10} = 4;$

-число входов в один коммутатор на звене В $n_B = \frac{V_{AB}}{\kappa_B} = \frac{40}{4} = 10;$

-число выходов из одного коммутатора на звене В $q_{ИСХ} = \frac{M_B}{\kappa_B} = \frac{10}{4} = 2,5;$

-число коммутаторов на звене С $\kappa_C = \frac{M_C}{m_{MKCC}} = \frac{100}{10} = 10;$

-число входов в один коммутатор на звене С $n_C = \frac{V_{CD}}{\kappa_C} = \frac{20}{10} = 2;$

-число выходов из одного коммутатора на звене С $m_C = \frac{M_C}{\kappa_C} = \frac{100}{10} = 10;$

-число коммутаторов на звене D $\kappa_D = \frac{V_{CD}}{m_{MKCD}} = \frac{20}{10} = 2;$

-число входов в один коммутатор на звене D $n_D = \frac{N_D}{\kappa_D} = \frac{20}{2} = 10;$

-число выходов из одного коммутатора на звене D $m_D = \frac{V_{CD}}{\kappa_D} = \frac{20}{2} = 10.$

Вероятностный граф по входящей связи приведен на рис. 12.4.

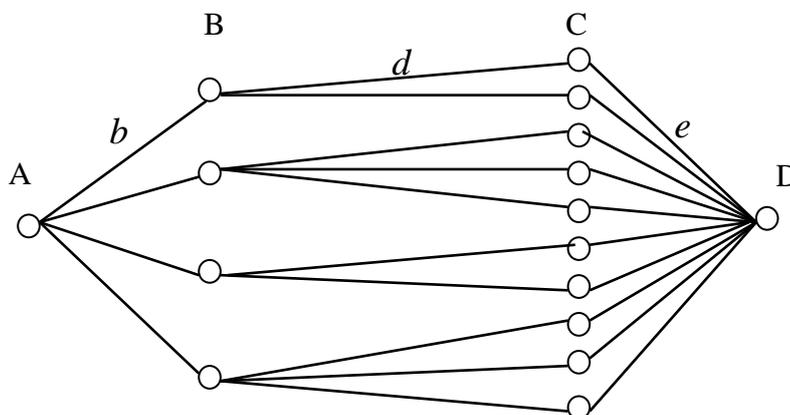


Рис.12.3. Вероятностный граф ступени абонентского искания по входящей связи

Потери по входящей связи:

$$P_{\text{вх}} = \left[1 - ((1-b) \{ 1 - [1 - (1-d)(1-e)]^3 \})^2 \right] \left[1 - (1-b) \{ 1 - [1 - (1-d)(1-e)]^2 \} \right]^2,$$

где $b = \frac{(a_{\text{вх}} + a_{\text{вх}})n_A}{m_A}$; $d = \frac{a_{\text{вх}} N_A}{V_{BC}}$; $e = \frac{a_{\text{вх}} N_A \kappa_{AB}}{V_{CD} \kappa_{CD}}$,

где κ_{AB} - число блоков АВ в тысячном блоке АИ (рис. 12.2);

κ_{CD} - число блоков CD в тысячном блоке АИ (рис. 12.2).

Вероятностный граф по исходящей связи приведен на рис. 12.5.

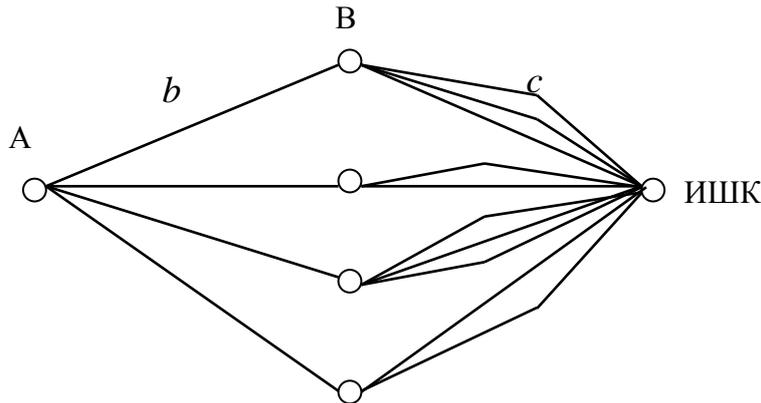


Рис. 12.5. Вероятностный граф по исходящей связи

Потери по исходящей связи:

$$P_{\text{исх}} = \left[1 - (1-b)(1-c^2) \right]^2 \left[1 - (1-b)(1-c^3) \right]^2, \quad \text{где } c = \frac{a_{\text{исх}} \cdot N_A}{M_B = V_{ИЛ}}$$

Тема 13. Метод расчета сети с обходными направлениями

13.1. Принцип построения сети с обходными направлениями

Идею построения сети с обходными направлениями можно пояснить на следующем простом примере. Рассмотрим ATC_i, ATC_j, ATC_k (рис.13.1).

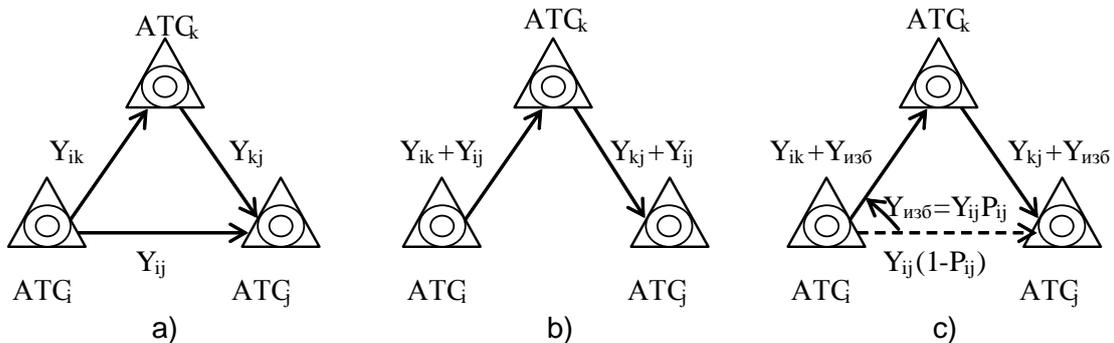


Рис.13.1. Возможные схемы обслуживания нагрузки Y_{ij} :

а) – полновязная схема; б) – узловая схема; в) – схема с обходным направлением.

Введем следующие обозначения:

A_{ij}, A_{ik}, A_{kj} - интенсивности нагрузки, поступающей от АТС_i к АТС_j, от АТС_i к АТС_k, и от АТС_k к АТС_j соответственно;

k_{ij}, k_{ik}, k_{kj} - капитальные зарплаты на 1 кан.-км линейных сооружений направлений ij, ik, kj соответственно;

l_{ij}, l_{ik}, l_{kj} - длина соединительной линии на соответствующем направлении;

$k_{exi}, k_{exj}, k_{exk}$ - капитальные затраты на один вход коммутационного оборудования на АТС i, j и k .

Капитальные затраты на одну линию в направлении ij обозначим $K_{ij} = k_{ij} l_{ij} + k_{exj}$.

Задача состоит в таком распределении нагрузки A_{ij} между направлениями ij и ikj , при котором обеспечивались бы минимальные капитальные затраты на линейные сооружения и станционное оборудование при заданном качестве обслуживания.

Если станция АТС_i имеет возможность выбора обходного направления, то нагрузка A_{ij} вначале предлагается линиям прямого направления ij . Нагрузка, не обслуженная линиями прямого направления, автоматически передается на направление, состоящее из двух участков: ik и kj . Эту нагрузку называют **избыточной**. Направление, на которое поступает избыточная нагрузка, называют **обходным**.

Расчет сети с обходными направлениями в общем случае сводится к решению двух задач:

-определяется такое число линий на прямых направлениях, чтобы суммарные затраты на построение сети были минимальными;

-рассчитывается такое число линий на обходных направлениях, чтобы обеспечивалось заданное качество обслуживания потоков вызовов.

Основная трудность решения поставленных задач заключается в расчете числа линий в обходных направлениях. Дело в том, что поток вызовов, создающий избыточную нагрузку, не является простейшим, а имеет ярко выраженный «пиковый» характер. Распределение вероятностей избыточного потока вызовов описывается не распределением Пуассона, а отрицательным биномиальным распределением. При прочих равных условиях для обслуживания избыточного потока необходимо иметь больше линий, чем для обслуживания простейшего потока.

13.2. Определение оптимального числа линий в прямом направлении

Оптимальное число линий в прямом направлении зависит от интенсивности нагрузки, поступающей на прямое направление ij A_{ij} ;

отношения затрат на одну линию в прямом направлении к затратам на одну линию в обходном направлении $\varepsilon = \frac{K_{ij}}{K_{ik} + K_{kj}}$; величины потерь, при которой рассчитывается количество линий в обходном направлении - $P_{обх}$.

Число линий в прямом направлении V_{ij}^* будем считать оптимальным, если выполняются следующие условия:

1) экономия от уменьшения числа линий в прямом направлении на одну от оптимального не превышает затрат на организацию дополнительного числа линий в обходном направлении, необходимых для обслуживания дополнительной нагрузки, поступающей на обходное направление при уменьшении числа линий в прямом направлении на одну;

2) затраты на организацию дополнительной линии в прямом направлении больше экономии от соответствующего уменьшения числа линий на обходном направлении.

При полном доступном неблокируемом включении линий МСЭ-Т рекомендуется (Рекомендация Е.522) использовать следующее условие оптимальности:

$$A_{ij} [E_{V_{ij}^*}(A_{ij}) - E_{V_{ij+1}^*}(A_{ij})] = M \varepsilon, \quad (13.1)$$

где $E_{V_{ij}^*}(A_{ij})$ - первая формула Эрланга; M – увеличение пропускной способности пучка линий обходного направления при добавлении к этому пучку одной линии.

Оптимальное число линий по условию (13.1) определяется путем последовательных приближений. Эти расчеты относительно трудоемки. Поэтому для начала подбора можно воспользоваться приближенным методом определения V_{ij}^* . Как показали исследования, зависимость $V_{ij}^* = f(A_{ij})$ при $\varepsilon = const$ и $P_{обх} = const$ достаточно хорошо описывается уравнением прямой $V_{ij}^* = a A_{ij} + b$. Значения коэффициентов a и b при $P_{обх} = 0,005$ для различных ε приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

ε	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
a	1,162	1,143	1,132	1,128	1,124	1,120
b	2,0	1,5	0,9	-0,8	-2,4	-0,5

13.3. Расчета числа линий при обслуживании вызовов избыточной нагрузки

Для характеристики избыточной нагрузки используют два параметра: математическое ожидание m_{ij} и пикфактор (коэффициент

скученности) Z_{ij} , определяемый отношением дисперсии нагрузки к ее математическому ожиданию: $Z_{ij} = \frac{d_{ij}}{m_{ij}}$.

Для простейшего потока вызовов значение $Z_{ij} = 1$, для избыточного потока $Z_{ij} > 1$.

Математическое ожидание и дисперсию избыточной нагрузки можно найти из следующих выражений:

$$\begin{cases} m_{ij} = A_{ij} \cdot E_{V_{ij}}(A_{ij}) \\ d_{ij} = m_{ij} \left[1 - m_{ij} + \frac{A_{ij}}{V_{ij} + 1 + m_{ij} - A_{ij}} \right] \end{cases} \quad (13.2)$$

В общем случае на обходное направление могут поступать избыточные нагрузки от нескольких прямых направлений. Если принять, что поступающие на прямые направления нагрузки являются независимыми, то избыточные нагрузки будут также независимыми, и параметры объединенной на обходном направлении нагрузки определяются из выражения:

$$m_{обх} = \sum_j m_{ij} + A_{обх}; \quad d_{обх} = \sum_j d_{ij} + A_{обх} \quad (13.3)$$

Определить число линий в обходном направлении можно с помощью метода Вилкинсона, являющегося одним из вариантов метода эквивалентных замен.

Сущность метода заключается в замене схемы включения рис. 13.2а на схему рис.13.2б, называемую эквивалентной схемой. В эквивалентной схеме предполагается, что избыточная нагрузка $m_{обх}, d_{обх}$ получена при обслуживании поступающей нагрузки $A_{эке}$ S - линейным пучком.

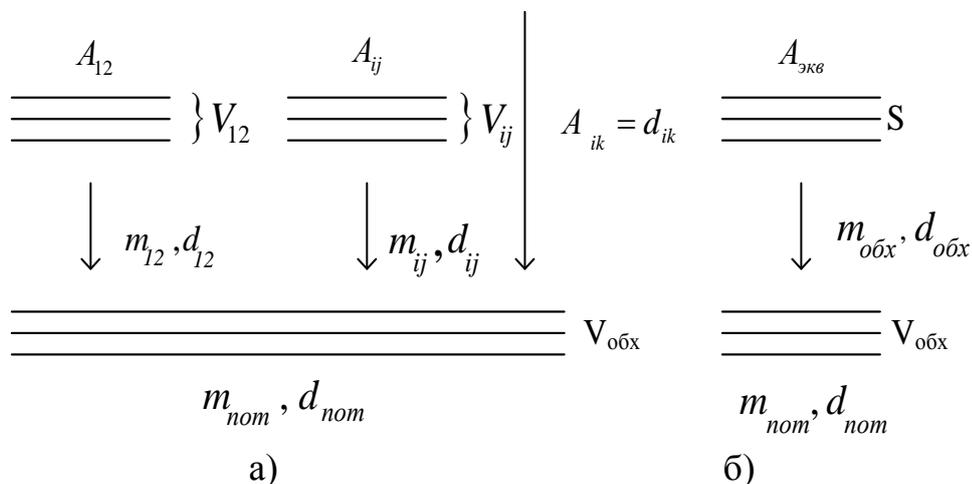


Рис.13.2. Реальная и эквивалентная схемы включения линий на обходном направлении

Зная значения $m_{обх}$ и $d_{обх}$, находят число линий S и нагрузку $A_{экр}$, решая систему уравнений методом подбора:

$$\begin{cases} m_{обх} = A_{экр} E_S(A_{экр}), \\ d_{обх} = m_{обх} \left[1 - m_{обх} + \frac{A_{экр}}{S + 1 + m_{обх} - A_{обх}} \right]. \end{cases} \quad (13.4)$$

Затем также подбором по заданной норме величины потерь $P_{обх}$ в обходном направлении определяют $(S + V_{обх})$ из уравнения с помощью таблиц Пальма:

$$\begin{cases} P_{обх} = \frac{A_{экр} E_{(S+V_{обх})}(A_{экр})}{m_{обх}}; \\ E_{(S+V_{обх})}(A_{экр}) = \frac{m_{обх} P_{обх}}{A_{обх}}. \end{cases} \quad (13.5)$$

Процесс подбора $A_{экр}$ и S из уравнения (13.4) трудоемок, поэтому можно воспользоваться приближенными выражениями, полученными Раппом:

$$\begin{cases} A_{экр} = d_{обх} + 3z_{обх}(z_{обх} - 1) \\ S = A_{экр} \frac{m_{обх}^2 + d_{обх}}{m_{обх}^2 + d_{обх} - m_{обх}} - m_{обх} - 1. \end{cases} \quad (13.6)$$

Порядок расчета линий в обходном направлении методом Вилкинсона следующий:

- 1) по (13.2) для каждого прямого направления ij рассчитываются m_{ij} и d_{ij} ;
- 2) по (13.3) определяются значения математического ожидания и дисперсии избыточных нагрузок, не обслуженных в прямых направлениях - $m_{обх}$, $d_{обх}$;
- 3) по (13.6) находят значения $A_{экр}$ и S эквивалентной схемы;
- 4) рассчитывается $m_{ном} = m_{обх} P_{обх}$;
- 5) рассчитывается $P_{экр} = \frac{m_{ном}}{A_{экр}}$;
- 6) с помощью таблиц Пальма по значениям $P_{экр}$ и $A_{экр}$ определяется $(S + V_{обх})$;
- 7) рассчитывается число линий в обходном направлении

$$V_{обх} = (V_{обх} + S) - S.$$

Задание 13.

1. Рассчитать оптимальное число линий в прямых направлениях от проектируемой АТСЭ-4 к АТСДШ-2 и АТСК-3. В качестве обходной принять АТСЭ-1.

2. Рассчитать параметры избыточной нагрузки от прямых направлений 4-2 и 4-3.

3. Построить реальную и эквивалентную схемы включения линий на обходном направлении и рассчитать число линий на этом направлении при норме величины потерь $P_{обх} = 0,005$.

Для расчетов воспользоваться следующими исходными данными:

- 1) интенсивность нагрузки в прямых направлениях принять в соответствии с заданием 3;
- 2) для определения расстояния составить матрицу расстояний между АТС в соответствии с заданием 3;
- 3) значение затрат на организацию одной соединительной линии принять в соответствии с таблицей 13.2; затраты на один вход коммутационного оборудования принять 1500 руб.

Таблица 13.2

Диапазон расстояний	Затраты на 1 км линии, руб.
от 0 до 5	180
от 5 до 10	200
от 10 до 13	300
свыше 13	500

- 4) нагрузку на обоих участках обходного направления принять одинаковой и равной нагрузке от проектируемой АТСЭ-4 к АТСЭ-1 ($A_{ik} = A_{4-1}$);
- 5) сравнить по суммарным капитальным затратам варианты организации связи (рис.13.1).

Литература

1. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. - М.: Радио и связь, 1996. 224с.
2. Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета. - М.: Связь, 1979. 342с.
3. Корнышев Ю.Н., Фань Г.Л. Теория распределения информации. - М.: Радио и связь, 1985. 184с.
4. Башарин Г.П. Таблицы вероятностей и средних квадратичных отклонений потерь на полнодоступном пучке линий. - М.: АН СССР, 1962. - 128с.
5. Лившиц Б.С., Фидлин Я.В. Системы массового обслуживания с конечным числом источников. -М.: Связь, 1968. - 167с.
6. Ионин Г.Л., Седол Я.Я. Таблицы вероятностных характеристик полнодоступного пучка при повторных вызовах. - М.: Наука, 1970. - 155с.
7. Захаров Г.П., Варакосин Н.П. Расчет количества каналов связи при обслуживании с ожиданием. - М.: Связь, 1967. - 194с.
8. Мамонтова Н.П. Теория телетрафика. Методические рекомендации к изучению дисциплины 20900. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М.А. Бонч-Бруевича. (<http://dvo.sut.ru/libr/skiri/w169mamo/index.htm>)

Приложение

Таблица П.1 Значения вероятности потерь первичных вызовов P и среднего числа повторных вызовов \bar{C}_1

$T = 0,1U = 0$

η	V = 12		V = 14		V = 16		V = 18	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,15	8774-6	4361-6	9233-7	4944-7	9980-8	5668-8		
0,20	1640-4	7852-5	2762-5	1428-5	4780-6	2628-6	8428-7	4879-7
0,25	1427-3	6553-4	3379-4	1681-4	8224-5	4364-5	2042-5	1143-5
0,30	7680-3	3373-3	2358-3	1125-3	7438-4	3795-4	2396-4	1292-4
0,35	2983-2	1247-2	1122-2	5108-3	4337-3	2118-3	1713-3	8862-4
0,40	9171-2	3629-2	4054-2	1753-2	1843-2	8570-3	8563-3	4230-3
0,45	2371-1	8827-2	1194-1	4873-2	6188-2	2723-2	3277-2	1536-2
0,50	5375-1	1869-1	3010-1	1151-1	1735-1	7173-2	1022-1	4512-2
0,55	1103-0	3548-1	6736-1	2391-1	4233-1	1630-1	2718-1	1121-1
0,60	2097-0	6173-1	1375-0	4484-1	9278-1	3292-1	6395-1	2438-1
0,65	3970-0	1001-0	2622-0	7741-1	1875-0	6044-1	1369-0	4757-1
0,70	6521-0	1533-0	4762-0	1250-0	3572-0	1027-0	2734-0	8504-1
0,75	1105+1	2241-0	8500-0	1910-0	6553-0	1640-0	5215-0	1416-0
0,80	1871+1	3154-0	1471+1	2793-0	1186+1	2488-0	9739-0	2227-0
0,85	3264+1	4305-0	2639+1	3941-0	2185+1	3625-0	1842+1	3347-0
0,90	6212+1	5739-0	5142+1	5414-0	4354+1	5123+0	3751+1	4860-0
η	V = 20		V = 22		V = 24		V = 26	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,25	5147-6	3014-6	1304-6	7991-7	3362-7	2130-7	8806-8	5705-8
0,30	7839-5	4432-5	2583-5	1528-5	8650-6	5300-6	2937-6	1847-6
0,35	6873-4	3737-4	2489-4	1585-4	1148-4	6757-5	4762-5	2894-5
0,40	4045-3	2104-3	1936-3	1053-3	9367-4	5294-4	4575-4	2675-4
0,45	1765-2	8730-3	9635-3	4994-3	5320-3	2871-3	2962-3	1658-3
0,50	6222-2	2860-2	3718-2	1824-2	2285-2	1670-2	1417-2	7535-3
0,55	1776-1	7772-2	1177-1	5419-2	7885-2	3799-2	5335-2	2675-2
0,60	4484-1	1818-1	3188-1	1364-1	2293-1	1029-1	1664-1	7790-2
0,65	1017-0	3769-1	7654-1	3002-1	5829-1	2404-1	4481-1	1932-1
0,70	2128-0	7083-1	1678-0	5930-1	1339-0	4986-1	1078-0	4208-1
0,75	4216-0	1230-0	3453-0	1073-0	2859-0	9390-1	2388-0	8249-1
0,80	8123-0	2003-0	6860-0	1808-0	5853-0	1637-0	5038-0	1486-0
0,85	1576+1	3101-0	1364+1	2881-0	1193+1	2683-0	1051+1	2504-0
0,90	3276+1	4621-0	2894+1	4402-0	2580+1	4201-0	2318+1	4015-0
η	V = 28		V = 30		V = 32		V = 34	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,30	9990-7	6453-7	3418-7	2262-7	1159-7	7937-8	4006-8	2796-8
0,35	1989-5	1244-5	8357-6	5361-6	3436-6	2308-6	1460-6	1000-6
0,40	2251-4	1356-4	1115-4	6901-5	5432-5	3508-5	2751-5	1798-5
0,45	1664-3	9615-4	9409-4	5593-4	5338-4	3262-4	3054-4	1909-4
0,50	8857-3	4872-3	5575-3	3161-3	3529-3	2057-3	2247-3	1342-3
0,55	3639-2	1891-2	2500-2	1341-2	1727-2	9543-3	1200-2	6807-3
0,60	1218-1	5923-1	8983-2	4518-2	6663-2	3457-2	4969-2	2652-2
0,65	3473-1	1559-1	2711-1	1262-1	2129-1	1024-1	1681-1	8337-2
0,70	8745-1	3564-1	7147-1	3027-1	5876-1	2578-1	4857-1	2201-1
0,75	2011-0	7268-1	1705-0	6421-1	1454-0	5687-1	1246-0	5047-1
0,80	4369-0	1353-0	3813-0	1234-0	3347-0	1128-0	2953-0	1033-0
0,85	9335-0	2342-0	8339-0	2194-0	7490-0	2059-0	6760-0	1935-0

0,90	2097+1	3843-0	1908+1	3683-0	1745+1	3533-0	1603+1	3393-0
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

T = 0,1		U = 0		Продолжение табл. П.1					
η	V = 36		V = 38		V = 40		V = 42		
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	
0,35	6225-7	4345-7	2664-7	1891-7	1144-7	8244-8	5048-8	3613-8	
0,40	1390-5	9226-6	7012-6	4739-6	3549-6	2439-6	1808-6	1258-6	
0,45	1754-4	1119-4	1011-4	6574-5	5839-5	3869-5	3390-5	2281-5	
0,50	1436-3	8739-4	9220-4	5753-4	5939-4	3779-4	3839-4	2485-4	
0,55	8374-3	4868-3	5868-3	3488-3	4128-3	2504-3	2908-3	1801-3	
0,60	3723-2	2039-2	2802-2	1571-2	2116-2	1213-2	1603-2	9385-3	
0,65	1334-1	6801-2	1063-1	5559-2	8502-2	4553-2	6824-2	3736-2	
0,70	4034-1	1884-1	3365-1	1615-1	2817-1	1387-1	2367-1	1194-1	
0,75	1073-0	4488-1	9284-1	3999-1	8059-1	3569-1	7020-1	3190-1	
0,80	2617-0	9479-1	2329-0	8711-1	2080-0	8016-1	1863-0	7386-1	
0,85	6126-0	1821-0	5574-0	1716-0	5088-0	1619-0	4660-0	1529-0	
0,90	1479+1	3261-0	1369+1	3138-0	1271+1	3021-0	1184+1	2911-0	
η	V = 44		V = 46		V = 48		V = 50		
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	
0,40	9201-7	6492-7	4694-7	3356-7	2400-7	1737-7	1229-7	8997-8	
0,45	1971-5	1347-5	1149-5	7965-6	6716-6	4715-6	3932-6	2795-6	
0,50	2488-4	1637-4	1617-4	1080-4	1053-4	7135-5	6871-5	4719-5	
0,55	2061-3	1297-3	1463-3	9359-4	1041-3	6761-4	7422-4	4890-4	
0,60	1290-2	7271-3	9292-3	5641-3	7101-3	4383-3	5439-3	3410-3	
0,65	5494-2	3070-2	4436-2	2527-2	3591-2	2082-2	2914-2	1718-2	
0,70	1995-1	1029-1	1686-1	8876-2	129-1	7670-2	1214-1	6636-2	
0,75	6134-1	2855-1	5375-1	2559-1	4722-1	2296-1	4158-1	2063-1	
T = 0,1		U = 0		T = 0,2		U = 0,5			
η	V = 55		V = 60		V = 55		V = 60		
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	
0,45	9739-7	7499-7	2605-7	2050-7	5095-7	6809-7	1386-7	1873-7	
0,50	2254-5	1665-5	8117-6	6024-6	1092-5	1462-5	4016-6	5315-6	
0,55	3191-4	2183-4	1403-4	9829-5	1434-4	1830-4	6452-5	8311-5	
0,60	2817-3	1829-3	1476-3	9871-4	1156-3	1453-3	6245-4	7935-4	
0,65	1743-2	1068-2	1055-2	6681-3	6402-3	7926-3	4014-3	5027-3	
0,70	8148-2	4643-2	5532-2	3792-2	2587-2	3152-2	1829-2	2254-2	
0,75	3053-	1585-1	2268-1	1226-1	8012-2	9589-2	6224-2	7537-2	
0,80	9716-1	4459-1	7734-1	3709-1	1984-1	2330-1	1657-1	1969-1	
0,85	2792-0	1077-0	2342-0	9489-1	4082-1	4692-1	3598-1	4188-1	
0,90	7881-0	2324-0	6875-0	2143-0	7227-1	8136-1	6622-1	7540-1	

$T = 0,5$		$U = 0,5$		Продолжение табл. П.1				
η	$V = 12$		$V = 14$		$V = 16$		$V = 18$	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,15	3842-6	4155-6	235-6	4731-7	4734-8	5442-8		
0,20	6844-5	7318-5	1212-5	3126-5	2182-6	2477-6	3977-7	4617-7
0,25	5631-4	5953-4	1409-4	3023-4	3583-5	4022-5	9224-6	1059-5
0,30	2845-3	2972-3	9273-4	1001-3	3070-4	3406-4	1775-4	1993-4
0,35	1028-2	1061-2	4124-3	4399-3	1681-3	1843-3	6935-4	7779-4
0,40	2907-2	2963-2	1378-2	1452-2	6638-3	7184-3	3235-3	3583-3
0,45	6826-2	6870-2	3708-2	3854-2	2045-2	2184-2	1141-2	1247-2
0,50	1386-1	1377-1	8413-2	8630-2	5182-2	5462-2	4086-2	4358-2
0,55	2507-1	2458-1	1666-1	1686-1	1124-1	1168-1	7669-2	8154-2
0,60	4126-1	3992-1	2954-1	2949-1	2147-1	2200-1	1578-1	1653-1
0,65	6287-1	6003-1	4785-1	4710-1	3695-1	3731-1	2884-1	2978-1
0,70	8992-1	8471-1	7193-1	6979-1	5834-1	5805-1	4783-1	4864-1
0,75	1220-0	1134-0	1016-0	9722-1	8579-1	8409-1	7316-1	7325-1
0,80	1585-0	1453-0	1364-0	1286-0	1189-0	1148-0	1047-0	1032-0
0,85	1985-0	1796-0	1755-0	1631-0	1570-0	1493-0	1417-0	1374-0
0,90	2412-0	2154-0	2179-0	1996-0	1990-0	1863-0	1832-0	1749-0
0,95	2857-0	2517-0	2627-0	2372-0	2438-0	2249-0	2281-0	2143-0
η	$V = 20$		$V = 22$		$V = 24$		$V = 26$	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,25	2398-6	2808-6	6271-7	7479-7	1653-7	2001-7	4390-8	5374-8
0,30	3482-5	4032-5	1187-5	1399-5	4074-6	4874-6	1407-6	1705-6
0,35	2888-4	3305-4	1212-4	1411-4	5119-5	6053-5	2175-5	2606-5
0,40	1519-3	1799-3	7888-4	9073-4	3936-4	4597-4	1973-4	2338-4
0,45	6424-3	7166-3	3645-3	4239-3	2082-3	2400-3	1195-3	1397-3
0,50	2031-2	2235-2	1287-2	1442-2	8209-3	9339-3	5262-3	6071-3
0,55	5280-2	5728-2	3663-2	4044-2	2557-2	2868-2	1794-2	2041-2
0,60	1170-1	1250-1	8738-2	9505-2	6567-2	7256-2	4961-2	5559-2
0,65	2271-1	2391-1	1802-1	1930-1	1438-1	1564-1	1154-1	1273-1
0,70	3955-1	4099-1	3293-1	3472-1	2759-1	2953-1	2322-1	25-1-1
0,75	6290-1	6417-1	5446-1	5648-1	4741-1	4992-1	4148-1	4426-1
0,80	9283-1	9318-1	8287-1	8454-1	7439-1	1699-1	6707-1	7035-1
0,85	1288-0	1272-0	1178-0	1181-0	1083-0	1101-0	9994-1	1030-0
0,90	1698-0	1649-0	1582-0	1560-0	1482-0	1481-0	1393-0	1409-0
0,95	2146-0	2050-0	2030-0	1967-0	1928-0	1893-0	1838-0	1826-0
η	$V = 28$		$V = 30$		$V = 32$		$V = 34$	
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P
0,30	4878-7	5980-7	1698-7	2103-7	5904-8	7414-8	2068-8	2620-8
0,35	9275-6	1125-5	3973-6	4872-6	1694-6	2113-6	7303-7	9192-7
0,40	9946-5	1193-4	5031-5	6009-5	2519-5	3132-5	1295-5	1606-5
0,45	6892-4	8160-4	3990-4	4778-4	2313-4	2803-4	1350-4	1649-4
0,50	3389-3	3959-3	2191-3	2589-3	1420-3	1697-3	9243-4	1114-3
0,55	1264-2	1457-2	8945-3	1042-2	6349-3	7478-3	4521-3	5376-3
0,60	3764-2	4272-2	3283-2	3291-2	2191-2	2542-2	1679-2	1968-2
0,65	9293-2	1038-1	7516-2	8494-2	6098-2	6966-2	4962-2	5724-2
0,70	1964-1	2158-1	1808-1	1853-1	1419-1	1564-1	1211-1	1374-1
0,75	3644-1	3937-1	3213-1	3511-1	2842-1	3137-1	2520-1	2810-1
0,80	6072-1	6446-1	5516-1	5920-1	5026-1	5450-1	4592-1	5026-1
0,85	9260-1	9653-1	8608-1	9070-1	8024-1	8539-1	7499-1	8054-1
0,90	1314-0	1344-0	1243-0	1285-0	1179-0	1230-0	1120-0	1180-0
0,95	1757-0	1764-0	1684-0	1708-0	1618-0	1656-0	1558-0	1608-0

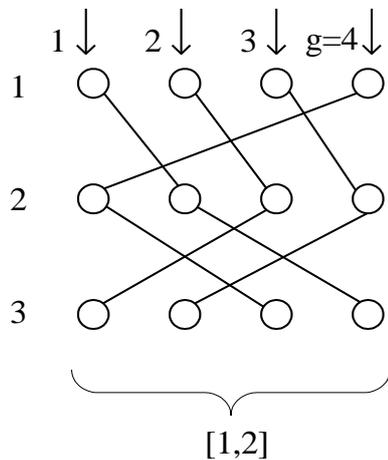
Г = 0,5		U = 0,5		Продолжение табл. П.1					
η	V = 36		V = 38		V = 40		V = 42		
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	
0,35	3156-7	4006-7	1367-7	1749-7	5935-8	7644-8	2606-8	3349-8	
0,40	6632-6	8271-6	3393-6	4265-6	1740-6	2203-6	8954-7	1139-6	
0,45	7891-5	9719-5	4621-5	5737-5	2712-5	3392-5	1595-5	2008-5	
0,50	6029-4	7333-4	3942-4	4833-4	2583-4	3191-4	1695-4	2109-4	
0,55	3227-3	3872-3	2309-3	2739-3	1656-3	2018-3	1189-3	1460-3	
0,60	1290-2	1526-2	9938-3	1185-2	7671-3	9217-3	5932-3	7179-3	
0,65	4048-2	4712-2	3310-2	3886-2	2713-2	3209-2	2227-2	2654-2	
0,70	1037-1	1187-1	8896-2	1027-1	7649-2	8900-2	6588-2	5684-2	
0,75	2241-1	2521-1	1997-1	2265-1	1783-1	2039-1	1596-1	1837-1	
0,80	4205-1	4644-1	3869-1	4297-1	3549-1	3982-1	3269-1	3695-1	
0,85	7024-1	7609-1	6592-1	7198-1	6198-1	6819-1	5837-1	6468-1	
0,90	1067-0	1133-0	1019-0	1090-0	9734-1	1049-0	9319-1	1012-0	
0,95	1502-0	1563-0	1451-0	1522-0	1404-0	1482-0	1260-0	1446-0	
η	V = 44		V = 46		V = 48		V = 50		
	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	\bar{C}_1	P	
0,40	4608-7	5900-7	2376-7	3058-7	1226-7	1587-7	6339-8	8244-8	
0,45	9396-6	1190-5	5543-6	7063-6	3274-6	4196-6	1936-6	2495-6	
0,50	1115-4	1396-4	7344-5	9252-5	4845-5	6137-5	3200-5	4075-5	
0,55	8560-4	1058-3	6171-4	7673-4	4554-4	5571-4	3220-4	4049-4	
0,60	4595-3	5599-3	3565-3	4372-3	2770-3	3417-3	2155-3	2673-3	
0,65	1831-2	2198-2	1508-2	1822-2	1244-2	1512-2	1028-2	1256-2	
0,70	5684-2	6709-2	4912-2	5835-2	4250-2	5081-2	3683-2	4428-2	
0,75	1430-1	1658-1	1283-1	1498-1	1153-1	1354-1	1038-1	1226-1	
0,80	3017-1	3433-1	2788-1	3192-1	2579-1	2972-1	2690-1	2769-1	
0,85	5506-1	6142-1	5201-1	5838-1	4918-1	5554-1	4657-1	5289-1	
0,90	8934-1	9760-1	8575-1	9426-1	8241-1	9111-1	7928-1	8813-1	
0,95	1320-0	1411-0	1281-0	1378-0	1246-0	1347-0	1212-0	1318-0	

Примечание: число 8774-6 означает $0,8774 \cdot 10^{-6}$
число 6212+1 означает $0,6212 \cdot 10^1$

Таблица П.2
Трехшаговые схемы цилиндров

Число групп	Параметры схемы	Первая строка матрицы	Число групп	Параметры схемы	Первая строка матрицы
4	[1,2]	22	13	[1,2]	111000
5	[1,1]	21		[1,3]	101100
	[1,2]	12		[1,4]	100110
6	[1,1]	210	[1,5]	100011	
	[1,2]	112	[2,3]	011010	
	[2,2]	030	[2,4]	010101	
7	[1,2]	111	[2,5]	010011	
8	[1,2]	1110	[3,4]	001101	
	[1,3]	1012	14	[1,2]	1110000
	[2,2]	0202		[1,3]	1011000
[1,2]	1110	[1,4]		1001100	
9	[1,3]	1011	[1,5]	1000110	
	[1,4]	1002	[1,6]	1000012	
	[2,3]	0111	[2,3]	0110100	
10	[1,2]	11100	[2,4]	0101010	
	[1,3]	10110	[2,5]	0100102	
	[1,4]	10012	[3,4]	0011002	
11	[2,2]	02010	[3,5]	0010110	
	[2,3]	01102	15	[1,2]	1110000
	[1,2]	11100		[1,3]	1011000
[1,3]	10110	[1,4]		1001100	
12	[1,4]	10011	[1,5]	1000110	
	[2,3]	01101	[1,6]	100001	
	[2,4]	01011	[2,3]	0110100	
13	[1,2]	111000	[2,4]	0101010	
	[1,3]	101100	[2,5]	0100101	
	[1,4]	100110	[2,6]	0100011	
14	[1,5]	100012	[3,4]	0011001	
	[2,3]	011010	[3,5]	0010101	
	[2,4]	010102	[4,5]	0001110	
15	[3,4]	001110			

Пример трехшагового цилиндра



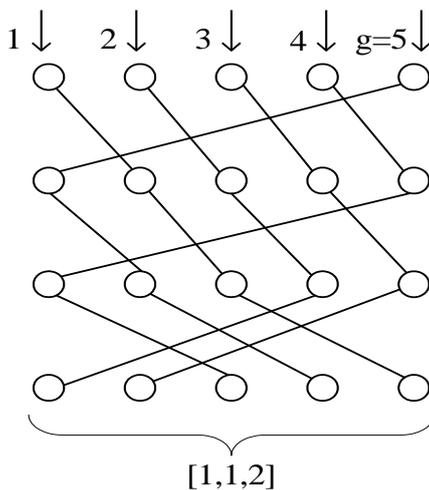
Матрица связности

	1	2	3	4
1	*	2	2	2
2		*	2	2
3			*	2
4				*

Таблица П.3
Четырехшаговые схемы цилиндров

Число групп	Параметры схемы	Первая строка матрицы	Число групп	Параметры схемы	Первая строка матрицы
5	[1,1,2]	33	11	[1,1,3]	21111
6	[1,1,1]	332		[1,2,2]	12111
	[1,1,2]	232		[1,2,4]	11121
	[1,2,1]	224		[1,2,5]	11211
	[1,2,2]	112		[1,3,2]	11112
7	[1,1,2]	222	12	[1,1,3]	211110
	[1,1,1]	321		[1,2,2]	121110
	[1,2,1]	213		[1,2,1]	111112
	[1,2,2]	132		[1,2,5]	111120
8	[1,1,2]	2212	13	[1,3,5]	102210
	[1,1,3]	2122		[1,5,1]	100012
	[1,2,2]	1222		[2,4,2]	010102
	[1,2,3]	1230		[1,2,6]	111111
	[1,3,1]	1012		[1,3,2]	111111
9	[1,1,2]	2211	14	[1,2,4]	1111012
	[1,1,3]	2112		[1,2,5]	1110112
	[1,2,1]	2121		[1,2,7]	1111102
	[1,2,2]	1212		[1,3,2]	1111110
	[1,2,4]	1221		[1,4,2]	1101112
10	[1,3,2]	1122	15	[1,4,3]	1011112
	[1,1,2]	22110		[2,4,3]	0111112
	[1,1,3]	21112		[1,6,1]	1000012
	[1,2,1]	21210		[2,5,2]	0100102
	[1,2,2]	12112		[4,3,4]	0011002
	[1,2,3]	11212		[1,2,4]	1111011
	[1,2,4]	11220		[1,2,7]	1110111
	[1,3,2]	11122		[1,2,8]	1111101
	[1,4,1]	10012		[1,3,2]	1111110
	[2,3,2]	01102		[1,3,5]	1011111
			[1,4,2]	1101111	
			[2,3,4]	0111111	

Пример четырехшагового цилиндра



Матрица связности

	1	2	3	4	5
1	*	3	3	3	3
2		*	3	3	3
3			*	3	3
4				*	3
5					*

Таблица П.4

Значения коэффициентов α и β для расчета числа линий V по формуле О'Делла

D	P=0,001		P=0,003		P=0,005		P=0,01	
	α	β	α	β	α	β	α	β
2	31,6	0,7	18,3	0,5	14,2	0,4	10,0	0,3
3	10,0	1,1	6,93	0,9	5,85	0,8	4,64	0,7
4	5,62	1,5	4,27	1,3	3,76	1,2	3,16	1,1
5	3,98	1,9	3,19	1,7	2,88	1,6	2,51	1,5
6	3,16	2,3	2,63	2,1	2,41	2,0	2,15	1,9
7	2,68	2,7	2,29	2,5	2,13	2,4	1,93	2,2
8	2,37	3,1	2,07	2,9	1,93	2,7	1,77	2,5
9	2,15	3,5	1,90	3,2	1,80	3,0	1,66	2,7
10	1,99	3,8	1,79	3,5	1,70	3,3	1,58	2,9
11	1,87	4,2	1,70	3,8	1,62	3,6	1,52	3,1
12	1,78	4,5	1,62	4,1	1,55	3,9	1,46	3,3
13	1,71	4,8	1,56	4,4	1,50	4,2	1,42	3,5
14	1,64	5,1	1,51	4,7	1,46	4,4	1,39	3,7
15	1,58	5,4	1,47	4,9	1,42	4,6	1,37	3,9
16	1,54	5,7	1,44	5,1	1,39	4,8	1,33	4,1
17	1,50	6,0	1,41	5,3	1,36	5,0	1,31	4,3
18	1,47	6,3	1,38	5,5	1,34	5,2	1,29	4,5
19	1,44	6,6	1,36	5,7	1,32	5,4	1,27	4,7
20	1,41	6,9	1,34	5,9	1,30	5,6	1,25	4,9
21	1,39	7,1	1,32	6,1	1,28	5,8	1,24	5,1
22	1,37	7,3	1,30	6,3	1,27	6,0	1,23	5,3
23	1,35	7,5	1,28	6,5	1,26	6,2	1,22	5,5
24	1,33	7,7	1,27	6,7	1,25	6,4	1,21	5,6
25	1,31	7,9	1,26	6,9	1,24	6,6	1,20	5,7
26	1,30	8,1	1,25	7,1	1,23	6,8	1,19	5,8
27	1,29	8,3	1,24	7,3	1,22	7,0	1,18	5,9
28	1,28	8,5	1,23	7,5	1,21	7,2	1,17	6,0
30	1,26	8,9	1,21	7,9	1,19	7,5	1,16	6,2
32	1,24	9,3	1,20	8,2	1,18	7,7	1,15	6,4
34	1,22	9,7	1,19	8,5	1,17	7,9	1,14	6,6
36	1,21	10,1	1,18	8,8	1,16	8,1	1,13	6,8
38	1,20	10,5	1,17	9,1	1,15	8,3	1,12	7,0
40	1,19	10,9	1,16	9,4	1,14	8,5	1,12	7,2
43	1,17	11,4	1,14	9,8	1,13	9,0	1,11	7,5
46	1,16	11,8	1,13	10,2	1,12	9,5	1,10	7,8
50	1,15	12,2	1,12	10,8	1,11	10,0	1,09	8,2