

**Задание 1. ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ПОСТУПЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ
НА СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ**

Изучить [1, гл.2; 2, гл.1; 3, гл.2].

Условие. На телефонной станции организовано наблюдение за процессом поступления сообщений. Весь период наблюдения (25 ч), на протяжении которого поток является практически стационарным, разделен на $n = 100$ интервалов длительностью $t = 15$ мин. И для каждого интервала определяется число поступающих сообщений. Данные наблюдений группируются в статистический ряд по m членов, характеризующихся числом интервалов n_k ($k = 1, 2, \dots, m$) с одинаковым числом вызовов c_k в интервале (табл. 2).

Таблица 2

№ п/п	№ варианта									
	0,4		1,5		2,6		3,7		8,9	
	c_k	n_k	c_k	n_k	c_k	n_k	c_k	n_k	c_k	n_k
1	0	0	0	0	0	5	0	14	0	0
2	1	4	1	0	1	15	1	27	1	0
3	2	8	2	1	2	22	2	27	2	1
4	3	14	3	1	3	23	3	18	3	3
5	4	17	4	2	4	17	4	8	4	6
6	5	18	5	5	5	11	5	4	5	9
7	6	15	6	7	6	5	6	1	6	12
8	7	10	7	10	7	1	7	1	7	14
9	8	7	8	12	8	1	8	0	8	14
10	9	4	9	13	9	0	-	-	9	13
11	10	2	10	13	-	-	-	-	10	10
12	11	1	11	12	-	-	-	-	11	7
13	12	0	12	10	-	-	-	-	12	5
14	-	-	13	8	-	-	-	-	13	3
15	-	-	14	6	-	-	-	-	14	3
$n = \sum_k n_k$		100		100		100		100		100

Требуется. Оценить следующие характеристики процесса поступления сообщений.

1. Рассчитать эмпирические вероятности \overline{P}_k распределения числа вызовов на интервале длительностью $t = 15$ мин.
2. Рассчитать среднее статистическое значение числа вызовов в интервале $t = 15$ мин.
3. Рассчитать вероятности распределения Пуассона P_k на интервале $t = 15$ мин.
4. Рассчитать число степеней свободы r и меру расхождения χ^2 между теоретической вероятностью P_k и эмпирической \overline{P}_k .
5. Определить соответствие эмпирического распределения числа сообщений в интервале $t = 15$ мин. распределению Пуассона.

Указание. Задание является иллюстрацией возможностей практического приложения теории потоков вызовов к исследованию процессов поступления сообщений на системы коммутации. Установление закономерностей, которым подчиняются эти процессы, является важной задачей, от правильного решения которой зависит необходимый объем коммутационного оборудования на сетях связи.

Задание связано с изучением простейшего потока вызовов – стационарного ординарного потока без последствия, который описывается функцией $P_k(t)$ распределения числа событий (вызовов), происходящих в заданном интервале времени $[0, t)$.

Функция $P_k(t)$ подчиняется закону Пуассона с параметром λt :

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad k=0,1,2,\dots,t>0, \quad (1)$$

где λ - параметр простейшего потока; совпадает с интенсивностью μ этого потока ($\mu = \lambda$).

Формула (1) табулирована (прил. 1).

Проверка гипотезы о том, что поток вызовов на телефонную станцию имеет распределение Пуассона, включает определение в заданном интер-вале t эмпирических вероятностей распределения числа вызовов

$$\bar{P}_k = \frac{n_k}{n} \quad k=1,2,\dots,m,$$

и их среднего статистического значения

$$\bar{c} = \frac{\sum_{k=1}^m c_k n_k}{n}$$

где n - число интервалов наблюдения.

Данному эмпирическому распределению ставится в соответствие распределение

Пуассона при $\lambda t = c = \bar{c}$, где t - длина рассматриваемого интервала, c - математическое ожидание числа вызовов в интервале t .

Значения вероятностей распределения Пуассона могут быть определены по таблицам прил. 1 или рассчитаны по формуле

$$P_k(t) = \frac{c^k}{k!} e^{-c}$$

Чтобы установить, в какой степени результаты эксперимента согласуются с выбранной математической моделью (в нашем случае - с распределением Пуассона), рекомендуется воспользоваться критерием χ^2 [7].

Применение критерия χ^2 сводится к определению меры расхождения χ^2 между теоретической вероятностью $P_k(t)$ и эмпирической \bar{P}_k :

$$\chi^2 = n \sum_{k=1}^m \frac{(\bar{P}_k - P_k)^2}{P_k}$$

и числа степеней свободы

$$r = m - s,$$

где s - число независимых условий, налагаемых на вероятности \bar{P}_k , и определению вероятности P того, что величина, имеющая распределение χ^2 с r степенями свободы, превзойдет данное значение χ^2 .

Если эта вероятность велика, то гипотеза о том, что процесс поступления сообщений подчиняется закону Пуассона, не противоречит опытным данным.

В условиях рассматриваемого задания определение величины χ^2 не вызывает затруднений, а число степеней свободы

$$r = m - s = m - 2,$$

так как на вероятности k накладываются два условия: их сумма должна быть равна единице и должны совпасть теоретические и статистические средние значения.

По значениям r и χ^2 из табл. 3 определяется вероятность P того, что величина, имеющая распределение χ^2 с r степенями свободы, превзойдет данное значение χ^2 .

Таблица 3

Значения χ^2 в зависимости от r и P

r	P						
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,370
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,200	3,360
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,340	3,000	4,350
6	0,872	1,134	1,635	2,200	3,070	3,830	5,350
7	1,239	1,564	2,170	2,830	3,820	4,670	6,350
8	1,646	2,030	2,730	3,490	4,590	5,530	7,340
9	2,090	2,530	3,320	4,170	5,380	6,390	8,340
10	2,560	3,060	3,940	4,860	6,180	7,270	9,340
11	3,050	3,610	4,580	5,580	6,990	8,150	10,340
12	3,570	4,180	5,230	6,300	7,810	9,030	11,340
13	4,110	4,760	5,890	7,040	8,630	9,930	12,340
14	4,660	5,370	6,570	7,790	9,470	10,820	13,340
15	5,230	5,980	7,260	8,550	10,310	11,720	14,340

Примечание. Для самоконтроля приводим числовой пример.

Исходные данные s_k , n_k и соответствующие им значения вероятностей \overline{P}_k , P_k приведены ниже (таблица примера). Остальные величины: $\overline{c} = 4,6$; $\chi^2 = 3,84$;

$r = 12$; $P = 0,99$. Следовательно, в данном примере имеет место соответствие эмпирического распределения распределению Пуассона.

Таблица примера

№ п/п	c_k	n_k	\bar{P}_k	P_k
1	0	0	0	0,010
2	1	5	0,05	0,046
3	2	11	0,11	0,106
4	3	13	0,13	0,163
5	4	22	0,22	0,187
6	5	18	0,18	0,172
7	6	14	0,14	0,132
8	7	9	0,09	0,087
9	8	4	0,04	0,050
10	9	2	0,02	0,026
11	10	1	0,01	0,012
12	11	1	0,01	0,005
13	12	0	0	0,002
14	13	0	0	0,002
Сумма		100	1	1

Задание 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ПОТОКА СООБЩЕНИЙ ПОЛНОДОСТУПНЫМ ПУЧКОМ, ВКЛЮЧЕННЫМ В ОДНОЗВЕННУЮ КОММУТАЦИОННУЮ СХЕМУ

Изучить [1, гл. 2-4; 2, гл. 1-3; 3, гл. 2-5; 4, гл. 3].

Условие. На телефонной станции организован стационарный эксперимент, направленный на выявление соответствия реального процесса обслуживания потоков сообщений математическим моделям, описываемым первой формулой Эрланга и формулой Энгсета. Условия эксперимента ограничены однозвенной степенью свободного исчисления, в выходы которой включен полнодоступный пучок из v линий. Поток создается N источниками; среднее число вызовов в ЧНН от всех источников составляет \bar{c} ; средняя длительность обслуживания одного сообщения принята равной \bar{t} . Измерения числа i одновременно занятых линий в пучке проводятся в течение 3 дней по 12 измерений в каждый ЧНН.

Требуется оценить следующие характеристики процесса обслуживания.

1. По результатам измерений рассчитать эмпирические значения:

- интенсивности нагрузки $\bar{y}_{об}$, обслуженной степенью исчисления;
- интенсивности нагрузки \bar{y} , поступающей на степень исчисления;
- интенсивности нагрузки $\bar{y}_п$, потерянной степенью исчисления;
- вероятности потерь по нагрузке $\bar{P}_н$.

2. В предположении, что поступающий на степень исчисления реальный поток сообщений соответствует модели простейшего потока, для которого среднее число вызовов в ЧНН от всех источников $\bar{c} = \lambda \square T$ (T – промежуток времени, соответствующий ЧНН), рассчитать:

- интенсивность нагрузки y , поступающей на степень исчисления;
- вероятность того, что все v линий пучка заняты P_v ;
- вероятности потерь по вызовам P_b , времени P_t , нагрузке P_n ;
- распределение вероятностей P_i , $i = 0, 1, \dots, v$
- интенсивность нагрузки $y_{об}$, обслуженной степенью исчисления;
- интенсивность нагрузки y_n , потерянной степенью исчисления;
- отклонение теоретического значения вероятности потерь P_n от эмпирического значения $\bar{P}_н$, в %;
- отклонение в процентах теоретического значения интенсивности обслуженной нагрузки $y_{об}$ от эмпирического значения $\bar{y}_{об}$, в %.

3. В предположении, что поступающий на ступень искания реальный поток сообщений соответствует модели примитивного потока, который создает нагрузку интенсивности $y = \bar{Y} = Na$ (a – интенсивность нагрузки, поступающей от одного источника), рассчитать:

- вероятность потерь по вызовам P_v ;
- вероятность потерь по времени P_t ;
- вероятность потерь по нагрузке P_n ;
- распределение вероятностей P_i , $i = 0, 1, \dots, v$;
- среднее значение параметра потока $\bar{\lambda}$ от N источников;
- интенсивность нагрузки $y_{об}$, обслуженной ступенью искания;
- интенсивность нагрузки y_n , потерянной ступенью искания;
- отклонение в процентах теоретического значения вероятности потерь P_n от эмпирического значения \bar{P}_n ;
- отклонение теоретического значения интенсивности обслуженной нагрузки $y_{об}$ от эмпирического значения $\bar{Y}_{об}$, в %.

4. Построить кривые распределений Эрланга и Энгсета и получить численное доказательство того, что сумма вероятностей состояний полностью доступного пучка при обслуживании примитивного и простейшего потоков вызовов составит

$$\sum_{i=0}^v P_i = 1$$

5. Установить взаимосвязь между рассматриваемыми моделями, выявив условия перехода формулы Энгсета в первую формулу Эрланга.

6. По результатам проведенных исследований сформулировать выводы относительно соответствия процесса обслуживания реального потока сообщений математическим моделям, описываемым первой формулой Эрланга и формулой Энгсета.

Значения исходных данных, необходимые для выполнения задания, приведены в табл. 4 и 5.

Указание. В задании в рамках стационарного эксперимента предлагается исследовать процесс обслуживания реального потока сообщений однозвенной коммутационной системой, работающей в режиме свободного искания. Условия эксперимента позволяют при каждом испытании измерять число i одновременно занятых линий в пучке заданной емкости, а также фиксировать

среднее число поступающих сообщений (вызовов) в ЧНН и среднюю длительность обслуживания одного вызова .

По результатам измерений, представленным в табл. 4 и 5, рассчитываются следующие эмпирические характеристики:

- интенсивность обслуженной нагрузки

$$\bar{y}_{об} = i = \frac{1}{3 \times 12} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{12} i_{jk}$$

где i_{jk} – число одновременно занятых линий при каждом измерении ($k = 1, 2, \dots, 12$) в j -й день измерений ($j = 1, 2, 3$);

- интенсивность поступающей нагрузки

$$\bar{y} = \bar{c} \times \bar{t}$$

- интенсивность потерянной (остаточной) нагрузки

$$\bar{y} = \bar{y} - y_{об}$$

- вероятность потерь по нагрузке

$$\bar{P}_н = \frac{\bar{y}_п}{\bar{y}}$$

Последующие этапы задания направлены на выбор такой математической модели обслуживания, которая бы в наибольшей степени отвечала реальному процессу с параметрами $\bar{y}_{об}, \bar{y}, \bar{y}_п, \bar{P}_н$.

В задании предлагается сопоставить с реальным процессом две математические модели обслуживания: первая – (п. 2) характеризует процесс обслуживания простейшего потока вызовов полнодоступным пучком линий с потерями (без мест для ожидания) при показательном распределении длительности обслуживания; вторая – (п. 3) характеризует тот же процесс, но в условиях обслуживания не простейшего, а примитивного потока.

По классификации Кендалла [4, с. 11-12] речь идет о моделях обслуживания $M/M/v/K, K=v$ и $M/M/v/K/N, K=v$.

Предположим, что поступающий поток вызовов является простейшим. Для его полного описания достаточно знать интенсивность потока μ , зная которую

можно оценить все остальные характеристики потока (параметр λ , функцию распределения промежутков между вызовами $A(x)$, вероятность поступления определенного числа вызовов k за некоторый промежуток времени $t - P_k(t)$).

Если принять за единицу времени ЧНН, то правомерно приравнять эмпирическое значение среднего числа вызовов в ЧНН его теоретическому значению:

$$\bar{c} = \mu \cdot t$$

Переходя к расчету характеристик модели обслуживания $M/M/v/K$, $K=v$, также правомерно приравнять эмпирическое значение интенсивности поступающей нагрузки \bar{y} его теоретическому значению y :

$$\bar{y} = \bar{c} \times t = y$$

Модель $M/M/v/K$, $K=v$ описывается первым распределением Эрланга [1, ф-ла 4.21; 2, ф-ла 3.11; 3, ф-ла 4.3]:

$$P_i = E_{i,v}(y) = \frac{\frac{y^i}{i!}}{\sum_{x=0}^v \frac{y^x}{x!}} \quad 0 \leq i \leq v,$$

где P_i - вероятность того, что в полностью доступном пучке из v линий, на который поступает нагрузка интенсивности y , занято точно i линий.

Вероятность занятости в пучке всех v линий P_v равна вероятности потерь по вызовам P_B , времени P_t и нагрузке P_H :

$$P_B = P_t = P_v = E_{v,v}(y) = \frac{\frac{y^v}{v!}}{\sum_{x=0}^v \frac{y^x}{x!}}$$

(2)

Формула (2) табулирована (прил. 2).

Расчет первого распределения Эрланга целесообразно вести в следующей последовательности:

- определяется P_v (из прил. 2):

$$P_{v-1} = P_v \frac{v}{y}$$

$$P_{v-2} = P_{v-1} \frac{v-1}{y}$$

$$P_0 = P_1 \frac{1}{y}$$

- определяются интенсивности обслуженной $y_{об}$ и потерянной $y_{п}$ нагрузок:

$$y_{об} = \sum_{i=0}^v iP_i = y(1 - P_v)$$

$$y_{п} = y - y_{об}$$

определяются отклонения теоретических значений P_n и $y_{об}$ от эмпирических, \bar{P}_n и $\bar{y}_{об}$, в % :

$$\delta_1 = \frac{|P_n - \bar{P}_n|}{\bar{P}_n} \cdot 100$$

(3)

$$\delta_2 = \frac{|y_{об} - \bar{y}_{об}|}{\bar{y}_{об}} \cdot 100$$

(4)

Таблица 4

Результаты измерений числа одновременно занятых линий

№ измерения	Вариант задачи																													
	0			1			2			3			4			5			6			7			8			9		
	Число одновременно занятых линий i																													
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день	день			
1	2	5	5	5	4	4	2	1	3	2	4	5	3	4	12	0	1	1	0	2	1	3	0	1	0	1	0	2		
2	3	6	3	5	8	7	6	7	7	6	7	10	5	8	8	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	0	3	1	2
3	4	2	2	3	4	6	4	3	4	5	4	6	7	7	10	1	2	2	0	1	2	2	1	2	2	3	1	1	1	5
4	6	2	3	1	2	3	4	4	5	6	3	2	6	3	6	2	2	1	1	1	1	1	2	2	4	3	4	4	2	5
5	4	3	4	4	6	6	4	5	5	4	6	5	9	5	2	0	1	0	3	1	3	2	2	1	4	1	5	5	1	5
6	1	4	3	3	4	5	8	7	7	10	8	3	2	4	2	0	1	1	1	0	1	1	3	1	2	3	5	3	0	5
7	4	1	1	2	6	4	6	5	8	7	5	4	4	5	4	1	0	3	2	1	3	1	1	3	2	0	4	2	1	4
8	5	4	5	3	5	6	2	3	5	3	3	3	5	6	10	1	0	0	1	1	3	3	2	4	3	2	2	0	3	2
9	5	3	4	4	2	3	5	5	7	5	5	4	6	2	6	2	2	0	3	1	1	3	4	1	3	5	1	1	5	1
10	4	6	3	5	2	3	5	2	6	5	2	5	4	6	5	0	1	2	3	1	2	2	1	3	2	4	1	3	5	1
11	1	2	1	3	5	2	2	5	7	4	7	3	5	3	5	1	1	0	0	2	1	1	1	0	1	1	0	1	4	0
12	1	2	6	2	2	5	2	3	4	3	6	2	4	7	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	2	0

Таблица 5

Исходные данные

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\bar{c}	167	180	180	240	220	40	72	72	88	90
t, с	72	81,6	94	75	90	90	70	90	90	100
v	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5
N	40	40	40	40	40	20	20	20	20	20

Теперь перейдем к п. 3 задания. Предположим, что поступающий поток вызовов является примитивным, который характеризуется переменным параметром λ_i , пропорциональным числу свободных источников (абонентов):

$$\lambda_i = \alpha(N - i),$$

где N - общее число источников, i - число занятых источников, α - параметр потока одного свободного источника.

В сущности, примитивный поток – это суммарный поток, т. е. от каждого свободного источника поступают простейшие взаимно независимые потоки.

Модель обслуживания примитивного потока полностью доступным пучком (модель M/M/v/K/N, K=v) описывается формулами Энгсета [1, ф-лы 4.38 и 4.41; 2, ф-ла 3.10; 3, ф-ла 5.2].

Распределение Энгсета P_i и характеристики качества прохождения нагрузки имеют следующий вид:

$$P_i = \frac{C_N^i \left(\frac{a}{1-a} \right)^i}{\sum_{x=0}^v C_N^x \left(\frac{a}{1-a} \right)^x} = \frac{C_N^i (\alpha / \beta)^i}{\sum_{x=0}^v C_N^x (\alpha / \beta)^x} \quad 0 \leq i \leq v$$

$$P_B = P(N, v, a) = \frac{C_{N-1}^v \left(\frac{a}{1-a} \right)^v}{\sum_{x=0}^v C_{N-1}^x \left(\frac{a}{1-a} \right)^x} = \frac{C_{N-1}^v (\alpha / \beta)^v}{\sum_{x=0}^v C_{N-1}^x (\alpha / \beta)^x}$$

(5)

$$P_t = P_v = P(N+1, v, a) = \frac{C_N^v \left(\frac{a}{1-a} \right)^v}{\sum_{x=0}^v C_N^x \left(\frac{a}{1-a} \right)^x} = \frac{C_N^v (\alpha / \beta)^v}{\sum_{x=0}^v C_N^x (\alpha / \beta)^x}$$

(6)

$$P_H = \left(1 - \frac{v}{N} \right) P_t = \left(1 - \frac{v}{N} \right) P(N+1, v, a)$$

при этом $P_H < P_B < P_t = P_v$, где $\alpha / \beta = \alpha \times \square 1 / \beta$ – среднее число вызовов, посылаемое одним свободным источником в течение интервала времени, равного средней длительности обслуживания;

$$a = \frac{1 / \beta}{1 / \beta + 1 / \alpha}$$

– нагрузка, создаваемая одним источником, т.е. отношение средней длительности обслуживания к сумме средней длительности

обслуживания и расстояния от момента окончания обслуживания до момента посылки нового вызова.

Формула (5) табулирована (прил. 3).

Распределение P_i рассчитывается через рекуррентное соотношение, начиная с $i = v$:

$$P_{v-1} = \frac{v}{(N - v + 1) \left(\frac{a}{1-a} \right)} P_v$$

$$P_{v-2} = \frac{v-1}{(N - v + 2) \left(\frac{a}{1-a} \right)} P_{v-1}$$

$$P_0 = \frac{1}{N \left(\frac{a}{1-a} \right)} P_1$$

При расчете характеристик модели $M/M/v/K/N$, $K=v$ будем исходить из численного равенства между эмпирическим значением интенсивности поступающей нагрузки \bar{y} и ее математическим ожиданием ($\bar{y} = y$)

Интенсивность поступающей нагрузки на v линий от N источников (по определению среднего значения)

$$y = \sum_{i=0}^v \alpha(N-i) \frac{1}{\beta} P_i = N \frac{\left(\frac{a}{1-a} \right)}{1 + \left(\frac{a}{1-a} \right) (1 - P_v)} = Na$$

Интенсивность обслуженной нагрузки (среднее число занятых линий)

$$y_{\text{об}} = \bar{i} = \sum_{i=0}^v iP_i = N \frac{\left(\frac{a}{1-a}\right)(1-P_B)}{1 + \left(\frac{a}{1-a}\right)(1-P_B)}$$

Очевидно, что интенсивность потерянной нагрузки

$$y_{\text{п}} = Na - N \frac{\left(\frac{a}{1-a}\right)(1-P_B)}{1 + \left(\frac{a}{1-a}\right)(1-P_B)} = \alpha(N-v) \frac{1}{\beta} P_v$$

Завершить рассмотрение п. 3 задания следует определением отклонений δ из (3) и (4).

Наконец, выполнение п. 4 связано с проверкой проведенных расчетов по рекуррентным формулам; при выполнении п. 5 устанавливается взаимосвязь между рассматриваемыми моделями; п. 6 подводит итог проведенным исследованиям.

Задание 3. ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ КОММУТАЦИИ

Изучить [1, гл.5; 2, гл.4; 3, разд. 4.2, 4.3; 4, гл.3].

Условие. Степень группового искания (ГИ) координатной АТС с индивидуальными управляющими устройствами (маркерами) для каждого блока комплектуется из s коммутационных блоков. Средняя длительность занятия входа степени ГИ равна $t_{вх}$. На степень искания поступает поток вызовов, создающий нагрузку $увх$. Управляющие устройства работают по системе с ожиданием. Средняя длительность занятия одним вызовом управляющего устройства равна h , допустимое время ожидания – $t_{доп}$.

Требуется оценить следующие характеристики процесса обслуживания.

1. Рассчитать качественные показатели работы управляющих устройств степени ГИ при постоянной и показательно распределенной длительности обслуживания:

- вероятность задержки вызова $P\{\gamma > 0\}$;
- вероятность ожидания $P\{\gamma > t\}$ свыше допустимого времени t для любого поступающего вызова при фиксированных значениях $t_{доп}$;
- вероятность ожидания $P_1\{\gamma > t\}$ свыше допустимого времени t для задержанного вызова при фиксированных значениях $t_{доп}$;
- среднее время ожидания $\bar{\gamma}$ для любого поступившего вызова;
- среднее время ожидания $\bar{\gamma}_1$ для задержанного вызова.

2. Рассчитать среднее число ожидающих вызовов \bar{j} (среднюю длину очереди) при показательном распределении длительности обслуживания.

3. По результатам расчетов построить и проанализировать следующие графические зависимости:

- $P\{\gamma > t\} = f(t)$ и $P_1\{\gamma > t\} = f(t)$ для однолинейного пучка, если удельная поступающая нагрузка на управляющие устройства при постоянной длительности обслуживания равна c .
- $P\{\gamma > t\} = f(t)$ и $P_1\{\gamma > t\} = f(t)$ для однолинейного пучка, если удельная поступающая нагрузка на управляющие устройства при показательном распределении длительности обслуживания равна c :

4. Произвести анализ полученных результатов и сделать вывод о характере изменений $P\{\gamma > t\}$ и $P_1\{\gamma > t\}$ при увеличении $t_{доп}$ и c , а также об изменении

\bar{Y}, \bar{Y}_1 с ростом s при прочих равных условиях для различных законов распределения длительности обслуживания.

Значения исходных данных, необходимых для выполнения задания, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные степени группового искания

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
s	10	4	2	10	14	3	1	12	16	4
$t_{вх}, c$	66	72	64	76	72	80	85	90	77	60
$u_{вх}, \text{Эрл}$	420	96	32	560	336	72	42	360	770	80
h, c	0,66	0,54	0,54	0,66	0,54	0,54	0,54	0,66	0,66	0,54
$t_{доп1}, c$	0,66	0,54	0,81	0,99	0,99	0,27	0,54	0,33	0,66	0,54
$t_{доп2}, c$	1,32	0,81	1,08	1,98	1,65	0,65	1,08	0,66	1,32	1,62
$t_{доп3}, c$	2,64	1,08	1,62	3,30	2,64	1,08	1,89	1,32	1,08	2,16

Указание. Задание посвящено определению важнейших характеристик качества обслуживания вызовов однолинейными пучками линий (маркерами координатных АТС), работающих в режиме с ожиданием.

Задание построено на сопоставлении двух математических моделей:

первая – характеризует процесс обслуживания простейшего потока вызовов полнодоступным пучком линий при показательном распределении длительности обслуживания и неограниченном числе мест для ожидания, при этом предполагается упорядоченная выборка из очереди;

вторая – характеризует тот же процесс, но при постоянной длительности обслуживания каждого вызова.

В соответствии с классификацией Кендалла [4, с.11-12], речь идет о моделях обслуживания $M/M/v$ и $M/D/v$, причем $M/M/v$ описывается вторым распределением Эрланга [1, ф-ла 5.4; 2, ф-ла 4.6; 3, ф-ла 4.13], $M/D/v$ описывается кривыми Кроммелина [1, рис. 5.4; 2, рис. 4.3].

Второе распределение Эрланга и характеристики качества прохождения нагрузки имеют следующий вид:

$$P_k = \begin{cases} P_i = \frac{\frac{y^i}{i!}}{\sum_{x=0}^{v-1} \frac{y^x}{x!} + \frac{y^v}{v!} \cdot \frac{v}{v-y}}, & 0 \leq k \leq v, \quad k = i, \\ W_j = \frac{\frac{y^v}{v!} \left(\frac{y}{v}\right)^j}{\sum_{x=0}^{v-1} \frac{y^x}{x!} + \frac{y^v}{v!} \cdot \frac{v}{v-y}}, & k \geq v, \quad k = v + j \end{cases}$$

$$P_t = P\{\gamma > 0\} = \frac{\frac{y^v}{v!} \cdot \frac{v}{v-y}}{\sum_{x=0}^{v-1} \frac{y^x}{x!} + \frac{y^v}{v!} \cdot \frac{v}{v-y}}$$

(8)

$$P\{\gamma > t\} = P_1\{\gamma > 0\} e^{-\beta(v-y)t}$$

(9)

Формулы (8) и (9) табулированы (прил. 4), кривые Кроммелина представлены в прил. 5.

Определение качественных показателей обслуживания управляющими устройствами поступающей нагрузки должно производиться по расчетному значению нагрузки y_p .

Расчетное значение y_p обеспечивает требуемое качество прохождения нагрузки с заданной вероятностью ω , отклоняясь от математического ожидания нагрузки y по экспоненциальному закону:

$$y_p = y + 0,674\sqrt{y}$$

$$\omega=0,75$$

$$(10)$$

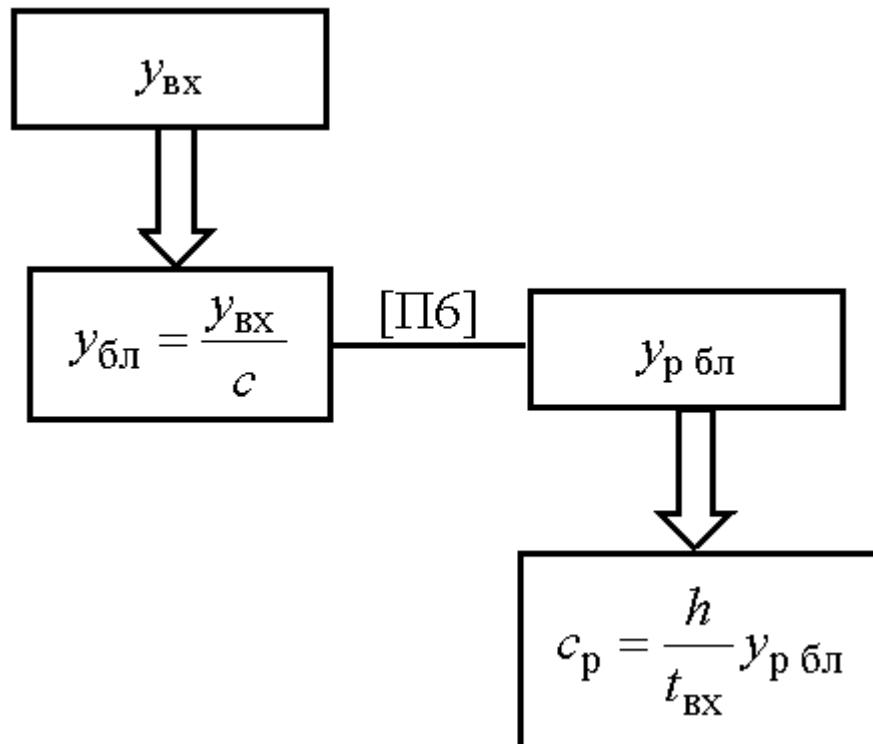
Формула (10) табулирована (прил. 6), что позволяет осуществлять переход от математического ожидания нагрузки к ее расчетному значению и наоборот.

На первом этапе выполнения задания необходимо определить расчетную нагрузку на одно управляющее устройство (маркер) ступени группового искания:

$$\underline{y}$$

при $v = 1$, $y = c$ (ибо $c = \underline{y}$) и $P\{\gamma > 0\} = f(c_p)$.

Порядок определения расчетной нагрузки $c_p = y_p$ на одно управляющее устройство очевиден из следующей последовательности действий.



После определения c_p можно перейти к оценке качественных показателей работы управляющих устройств ступени искания при показательной распределенной и при постоянной длительностях обслуживания.

Для этого следует выразить допустимое время ожидания $t_{доп}$ в условных единицах, численно равных длительности обслуживания маркером одного вызова, в c :

$$t_{доп. усл. ед.} = t = \frac{t_{доп}}{h}$$

Дальнейшие этапы выполнения задания направлены на поиск следующих характеристик качества прохождения нагрузки:

$$P\{\gamma > 0\}, \quad P\{\gamma > t\}, \quad P_1\{\gamma > t\} = \frac{P\{\gamma > t\}}{P\{\gamma > 0\}} = \frac{P\{\gamma > t\}}{c_p}$$

с использованием таблиц второй формулы Эрланга и кривых Кроммелина.

Результат этого поиска - графические зависимости для показательной распределенной и постоянной длительностях обслуживания:

$$P\{\gamma > t\} = f(t) \quad \text{при } v = 1, \quad c_p = \text{const},$$

$$P_1\{\gamma > t\} = f(t) \quad \text{при } v = 1, \quad c_p = \text{const},$$

а также ряд средних для моделей:

M/M/v

$$\bar{\gamma} = \frac{P\{\gamma > 0\}}{1 - c_p} \quad \bar{\gamma}_1 = \frac{1}{1 - c_p} \quad \bar{j} = c_p \bar{\gamma} = \frac{c_p^2}{1 - c_p}$$

M/D/v

$$\bar{\gamma} = \frac{P\{\gamma > 0\}}{2(1 - c_p)} \quad \bar{\gamma}_1 = \frac{1}{2(1 - c_p)}$$

**Задание 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ
КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
СТУПЕНЕЙ ГРУППОВОГО ИСКАНИЯ
КООРДИНАТНЫХ АТС**

Изучить [1, гл. 3, 9, 10; 2, гл. 2, 7; 3, гл. 3, 7, 8].

Условие. Для телефонной сети с 7-значной нумерацией, полностью построенной на координатных АТС, проектируется новая координатная АТС.

Рассматриваемая первая ступень группового искания комплектуется из односвязных двухзвенных коммутационных блоков. Звено А каждого блока содержит k коммутаторов по n входов и mf выходов, звено В – m коммутаторов по kf входов и l выходов. Требуемое число входов проектируемой ступени – N ; средняя длительность занятия входа – $t_{вх}$. Средняя длительность занятия маркера ступени равна $h = 0,66$ с. На ступень поступает нагрузка увх. Нагрузка распределяется по r направлениям. Доступности в направлениях d_1, d_2, \dots, d_r . Доли нагрузки в направлениях k_1, k_2, \dots, k_r , причём

$$\left(\sum_{i=1}^r k_i = 1 \right)$$

Допустимые вероятности потерь не должны превышать P_1, P_2, \dots, P_n .

Требуется решить следующие задачи.

1. Определить объем коммутационного оборудования первой ступени группового искания:

- число блоков ступени s ;
- число линий v_1, v_2, \dots, v_r в направлениях искания при заданных нормах потерь;
- число нагрузочных групп g для каждого направления связи.

2. Разработать и построить схему группообразования ступени группового искания, отразив:

- число блоков ступени s ;
- значения коммутационных параметров ступени, т.е. число входов в ступень N и число линий v_1, v_2, \dots, v_r в направлениях искания.

3. По результатам расчетов построить графическую зависимость удельной нагрузки c ($c=y/v$), поступающей на одну линию пучка в направлении, от емкости пучка линий v при фиксированных значениях доступности d и заданном качестве прохождения нагрузки P :

$$c=f(v), d=const, P=const.$$

Примечание. Кривые зависимости $c=f(v)$ при $P=0,005$ и $d=20; 40$ должны быть построены для диапазона значений v , рассчитанных для всех направлений, имеющих заданную доступность d .

Значения исходных данных, необходимых для выполнения задания, приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	720	800	840	960	960	800	720	960	840	800
$t_{вх}, c$	66	72	64	76	72	60	80	100	75	68
$u_{вх}, Эрл$	520	500	500	600	480	550	500	650	600	600

Таблица 8

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
n	15	13,3	15	13,3	15	13,3	15	13,3	15	13,3
m	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
l	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Указание. На начальном этапе выполнения задания необходимо установить соответствие между двумя системами обозначений структурных параметров коммутационных схем. В технике автоматической коммутации используется система обозначений «с индексами», указывающими на принадлежность структурного параметра к тому или иному звену коммутации.

В теории телетрафика, напротив, предпочитают чаще всего иную систему обозначений, «без индексов» [1, 3], чтобы не затруднять написание громоздких формул. Связь между указанными системами обозначений иллюстрирует табл. 9.

Таблица 9

Структурные параметры	Система обозначений	
	с индексами	без индексов

Число коммутаторов на звене А	k_A	k
Число входов в один коммутатор звена А	n_A	n
Число выходов из одного коммутатора звена А	m_A	m_f
Число коммутаторов на звене В	k_B	m
Число входов в один коммутатор звена В	n_B	k_f
Число выходов из одного коммутатора звена В	m_B	$l(h)$
Связность	f	f
Коэффициент расширения на звене А	$\sigma = k_B f / n_A$	$\sigma_A = m f / n$
Число выходов из одного коммутатора звена В в направлении	q	q
Число направлений	$n(h)$	$r(h)$
Доступность в направлении	$d = k_B q$	$d = m q$

При определении объема коммутационного оборудования ступени (п.1) решаются три задачи расчетов: блоков ступени $s = N/n_A k_A = N/nk$; нагрузки и числа линий в направлениях искания; числа нагрузочных групп для каждого направления.

Объем коммутационного оборудования ступени определяется по расчетному значению нагрузки y_p , обеспечивающему требуемое качество прохождения нагрузки с заданной вероятностью ω :

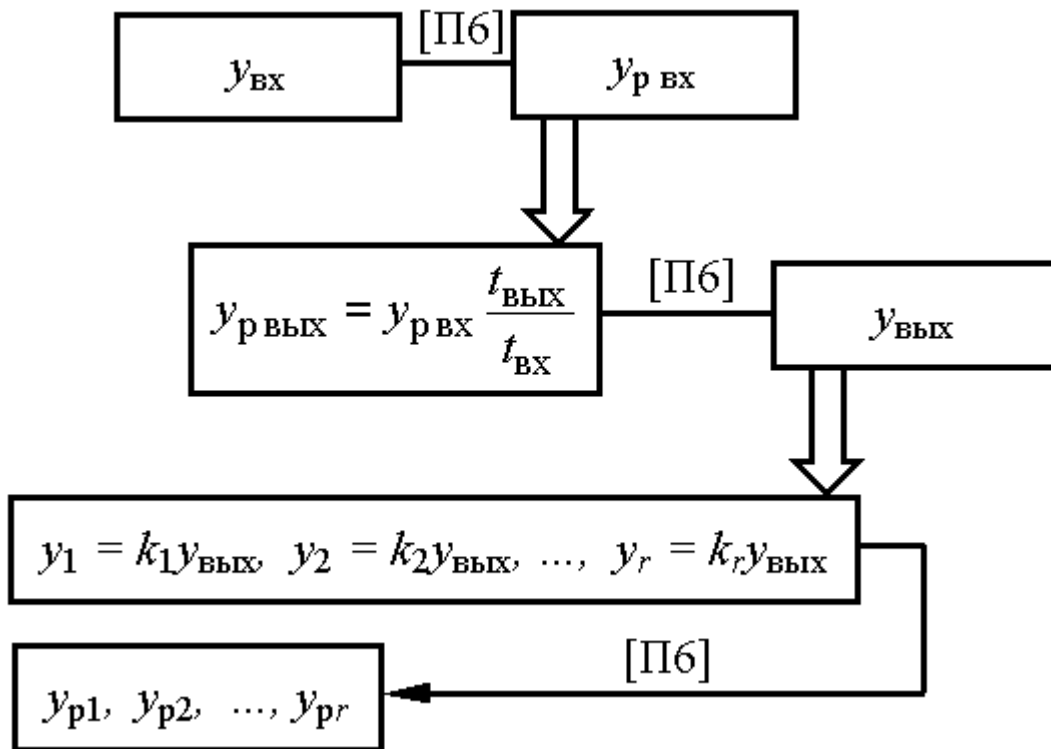
$$y_p = y + 0,674\sqrt{y}$$

$$\omega=0,75$$

Данная формула табулирована (прил. 6), что позволяют осуществлять переход от математического ожидания нагрузки к ее расчетному значению и наоборот.

Отклоняясь от математического ожидания нагрузки y по эмпирическому закону, расчетное значение нагрузки y_p способствует оптимальному перераспределению объема оборудования по направлениям связи. Перераспределение объема оборудования осуществляется таким образом, что в одних направлениях имеет место надбавка, а в других скидка по отношению к объему оборудования, вычисленному по математическому ожиданию нагрузки y . При этом суммарный объем оборудования не увеличивается, а качество обслуживания потоков вызовов, в итоге, повышается.

Порядок расчета нагрузки в направлениях связи очевиден из следующей последовательности действий.



Нагрузка, поступающая на входы, промежуточные линии и выходы любой коммутационной системы, отличается по своему значению и существенно зависит от длительности занятия этих элементов каждым соединением. Ввиду того, что длительность занятия промежуточных линий и выходов меньше длительности занятия входов, нагрузка $y_{\text{ВЫХ}}$ на выходы ступени ГИ меньше нагрузки на входы ступени $y_{\text{ВХ}}$:

$$y_{p \text{ ВЫХ}} = y_{p \text{ ВХ}} \frac{t_{\text{ВЫХ}}}{t_{\text{ВХ}}}$$

где $t_{\text{ВЫХ}}$ и $t_{\text{ВХ}}$ - средние длительности занятия соответственно выхода и входа ступени ГИ одним соединением.

При этом следует помнить, что $t_{\text{ВЫХ}}$ меньше $t_{\text{ВХ}}$ на среднее время $t_{\text{СО}}$ слушания сигнала ответа станции ($t_{\text{СО}} = 3 \text{ с}$), время приема импульсов набора номера регистром и среднее время h занятия маркера ГИ одним соединением.

В предположении, что на проектируемой сети нет декадношаговых и цифровых АТС, имеем

$$t_{\text{ВЫХ}} = t_{\text{ВХ}} - t_{\text{СО}} - t_{\text{Н}}n - h,$$

где n - число знаков номера, необходимое для осуществления соединения от проектируемой координатной АТС к любой из существующих станций этой системы на сети;

t_n - время набора одного знака номера с дискового номеронабирателя ($t_n = 1,5$ с).

Распределение нагрузки по направлениям связи производится в соответствии с долями нагрузки k_1, k_2, k_r в этих направлениях:

$$y_1 = k_1 y_{\text{вых}}, \quad y_2 = k_2 y_{\text{вых}}, \quad \dots, \quad y_h = k_r y_{\text{вых}}.$$

Число соединительных линий v в каждом из направлений может быть рассчитано различными методами, например, методом эффективной доступности [1, разд. 9.6; 2, разд. 7.8; 3, разд. 7.2.3] или методом Якобеуса [1, разд. 9.2 - 9.5; 2, разд. 7.5; 3, разд. 7.2.1, 7.3.1].

Метод эффективной доступности базируется на свойстве звеньевых схем (как полностью доступных, так и неполностью доступных) изменять доступность выходов входам в процессе обслуживания поступающих вызовов. Так, например, в процессе работы ступени ГИ, скомплектованной из односвязных двухзвеньевых схем, доступность выходов определенного направления входам одного коммутатора первого звена меняется от $d_{\text{max}} = mq$ до $d_{\text{min}} = (m - n + 1)q$; при наличии i занятых промежуточных линий этого коммутатора доступность принимает значение $d_i = (m - i)q$; математическое ожидание доступности

$$\bar{d} = \sum_{i=0}^{n-1} d_i W_i \approx q(m - y_m)$$

где W_i – вероятность занятия i промежуточных линий из m линий, принадлежащих одному коммутатору первого звена; y_m – нагрузка, обслуживаемая m промежуточными линиями этого коммутатора, при известной нагрузке a на один из n входов или при известной нагрузке b на одну из m промежуточных линий ($y_m = an = bm$).

Свойство звеньевых схем изменять свою доступность используется методом эффективной доступности. В предположении, что работа звеньевой схемы в интервале времени, в течение которого существует доступность d_i , подобна работе неполностью доступной однозвеньевой схемы с той же доступностью, устанавливается следующее условие эквивалентности рассматриваемых схем:

$$p = f(d) = \sum_{i=0}^{n-1} W_i f(d_i)$$

Доступность неполностью доступной однозвеньевой схемы, отвечающая этому условию, получила название эффективной.

Эффективная доступность $d_{\text{min}} < d_e \leq d$ двухзвеньевой схемы

$$d_3 = d_{\min} + \theta(\bar{d} - d_{\min})$$

где θ – коэффициент, равный 0,65 - 0,75.

При известной эффективной доступности d_3 расчет двузвеньевого схем (как с полностью доступными, так и недоступными пучками линий в направлении) сводится к расчету недоступных однозвеньевого схем инженерным методом [1, с. 137-139].

Последовательность расчета следующая:

$$d_{\min} \rightarrow \bar{d} \rightarrow d_3 \rightarrow v$$

при известных d_3 и P .

Формула для расчета недоступной однозвеньевого схемы

$$v = d + \frac{y + y_d}{\sqrt{P}} \quad (11)$$

где y - нагрузка, поступающая на недоступный пучок; y_d - пропускная способность полностью доступного пучка при вероятности потерь P ; d - доступность однозвеньевого схемы.

При заданных значениях доступности и потерь P формула (11) является линейной зависимостью $v = \alpha y + \beta$, коэффициенты которой приведены в табл. 10.

При использовании метода Якобеуса первоначально находится расчетная нагрузка на один вход ступени:

$$a_{p \text{ вых}} = \frac{y_{p \text{ вых}}}{N}$$

после чего определяется возможность обслуживания нагрузки y_{P_i} , $i = 1, 2, \dots, h$ при заданном качестве прохождения нагрузки P_i полностью доступным пучком из $d_i = m q_i$ линий, включенных в направление i связи.

Таблица 10

Значения коэффициентов α и β
при различных значениях d_3 и p

d_0	$p = 0,002$		$p = 0,003$		$p = 0,005$	
	α	β	α	β	α	β
2	22,4	0,6	18,3	0,5	14,2	0,4
3	7,92	1,0	6,93	0,9	5,85	0,8
4	4,72	1,4	4,27	1,3	3,76	1,2
5	3,47	1,8	3,19	1,7	2,87	1,6
6	2,82	2,2	2,63	2,1	2,41	2,0
7	2,42	2,6	2,29	2,5	2,13	2,4
8	2,17	3,0	2,07	2,9	1,93	2,7
9	1,99	3,3	1,9	3,2	1,8	3,0
10	1,86	3,6	1,79	3,5	1,7	3,3
11	1,76	3,9	1,7	3,8	1,62	3,6
12	1,68	4,2	1,68	4,1	1,55	3,9
13	1,61	4,5	1,56	4,4	1,50	4,2
14	1,55	4,8	1,51	4,7	1,46	4,4
15	1,51	5,1	1,47	4,9	1,42	4,6
16	1,47	5,4	1,44	5,1	1,39	4,8
17	1,44	5,6	1,41	5,3	1,36	5,0
18	1,41	5,8	1,38	5,5	1,34	5,2
19	1,38	6,0	1,36	5,7	1,32	5,4
20	1,36	6,3	1,34	5,9	1,30	5,6
21	1,34	6,5	1,32	6,1	1,28	5,8
22	1,32	6,7	1,30	6,3	1,27	6,0
23	1,31	6,9	1,28	6,5	1,26	6,2
24	1,30	7,1	1,27	6,7	1,25	6,4
25	1,28	7,3	1,26	6,9	1,24	6,6
26	1,27	7,5	1,25	7,1	1,23	6,8
27	1,26	7,7	1,24	7,3	1,22	7,0
28	1,25	7,9	1,23	7,5	1,21	7,2
30	1,23	8,3	1,21	7,9	1,19	7,5
32	1,21	8,7	1,20	8,2	1,18	7,7
34	1,20	9,1	1,19	8,5	1,17	7,9
36	1,19	9,5	1,18	8,8	1,16	8,1
38	1,18	9,9	1,17	9,1	1,15	8,3
40	1,17	10,2	1,16	9,4	1,14	8,5
43	1,15	10,6	1,14	9,8	1,13	9,0
46	1,14	11,0	1,13	10,2	1,12	9,5
50	1,13	11,5	1,12	10,8	1,11	10,0

С этой целью методом последовательного приближения из равенства рассчитывается нагрузка

$$P_i = \frac{E_{mq_i} \left(y_{mq_i} \right)}{E_{nq_i} \left(y_{mq_i} \right)} \quad (12)$$

где y_{mq_i} - пропускная способность mq_i выходов в i направлении связи.

Заметим, что расчет нагрузки целесообразно начинать с определения ее верхней границы y_d – пропускной способности полнодоступного пучка из

$d=d_i$ линий, включенного в однозвеньевую схему (таблицы первой формулы Эрланга в прил. 2). Значение нагрузки y_d служит

ориентиром в последовательном поиске истинного значения (y_{mq_i} ($y_{mq_i} < y_d$)), которое обеспечивает приемлемость равенства (12).

Если найденное значение нагрузки y_{mq_i} окажется не меньше заданной нагрузки y_{P_i} ($y_{mq_i} \geq y_{P_i}$), то в $d_i = mq_i$, объединенных по всем s блокам ГИ выходов i -го направления, включаются v_i ($v_i \leq mq_i$) линий по принципу полного включения. В противном случае (при $y_{mq_i} < y_{P_i}$) необходимо организовать неполнодоступное включение и в $d_i = mq_i$, объединенных по всем g нагрузочным группам ГИ i -го направления, включить неполнодоступный пучок из v_i ($v_i > mq_i$) линий.

Число линий v_i неполнодоступного пучка в i направлении ступени ГИ при заданных потерях P_i рассчитывается из системы уравнений, рекомендуемых для схем с расширением при неупорядоченном занятии выходов. Поскольку пропускная способность y_{mq_i} полного двухзвьевого пучка в направлении i уже определена, достаточно использовать следующие уравнения системы:

$$\begin{cases} v_i = \alpha y_{P_i} + \beta \\ \alpha = \frac{1}{c}, \quad \beta = mq_i - \frac{y_{mq_i}}{c}, \\ P_i = c^{q_i(m-n)} \left(a_p^f + c^q - a_p^f c^q \right)^n \end{cases}$$

здесь c (пропускная способность одной из $(v_i - mq_i)$ линий направления) определяется методом последовательного приближения ($0 \leq c < 1$).

Наконец, относительно определения числа нагрузочных групп для каждого направления связи.

В направлениях с полным включением $g = 1$.

Для направлений с неполнодоступными пучками линий число нагрузочных групп определяется числом блоков ступени ($g \leq s$). Убедиться в правильности проведенных расчетов, проверив полученное значение v_i на соответствие следующему неравенству:

$$mq_i \leq v_i \leq g/2 \times mq_i.$$

Обратимся теперь к пп. 2, 3 рассматриваемого задания. Затруднения, которые могут встретиться при выполнении этих пунктов, обычно связаны с построением ступени ГИ. Рекомендуется эту ступень представить в координатном виде, как это сделано в [1, рис. 9.3].

Необходимо указать число блоков ступени s , структурные параметры (n, m, k, f) , коммутационный параметр N , а также параметры одного из пучков (полнодоступного или неполнодоступного):

$$v_i, g_i, d_i = mq_i$$

в направлении i .

При выполнении п. 3 необходимо построить графические зависимости $c = f(v)$ при $p = 0,005$, $d = 40, 20$.

Таблицы формулы Пуассона

1. Значения функции $P_{i>k}(t)$ (табл. 1.1) служат для определения вероятности поступления точно k вызовов простейшего потока с параметром λ за время $[0, t)$:

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

и вероятности поступления k и более вызовов за то же самое время:

$$P_{i \geq k}(t) = \sum_{i=k}^{\infty} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$$

Значение функции (табл. 1.1)

$$P_{i>k}(t) = 1 - P_{i \leq k}(t),$$

$$P_{i \leq k}(t) = \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$$

где $P_{i \leq k}(t)$ - вероятность поступления не более k вызовов за время $[0, t)$.

Вероятности $P_k(t)$, $P_{i \leq k}(t)$, $P_{i > k}(t)$ определяются из табл.1.1:

$$а) P_k(t) = P_{i \leq k}(t) - P_{i \leq k-1}(t) = P_{i > k-1}(t) - P_{i > k}(t)$$

$$б) P_{i \leq k}(t) = 1 - P_{i > k}(t)$$

$$в) P_{i \leq k}(t) - P_{i > k-1}(t)$$

При $\lambda t > 10$ вычисления можно производить по приближенной формуле:

$$P_{i \leq k}(t) \approx \Phi^* \left(\frac{k + 0,5 - \lambda t}{\sqrt{\lambda t}} \right),$$

где $\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-u^2/2} du$ - нормальная функция распределения (значения $\Phi^*(x)$ приведены в табл. 1.2).

Пример 1. Определить по табл.1.1 значения функций $P_3(1)$, $P_{i \leq 3}(1)$, $P_{i \geq 3}(1)$ для простейшего потока с параметром $\lambda = 0,1$.

Решение. Для простейшего потока с параметром $\lambda = 0,1$ получим:

а) вероятность поступления точно трех вызовов за время $[0, 1)$:

$$P_3(1) = P_{i > 2}(1) - P_{i > 3}(1) = 0,000154652 - 0,000003846 = 0^3 150806;$$

б) вероятность поступления не более трех вызовов за время $[0, t)$:

$$P_{i < 3}(1) = 1 - P_{i > 3}(1) = 0,000003846 = 0,999996154 ;$$

в) вероятность поступления не менее трех вызовов за время $[0, t)$:

$$P_{i \geq 3}(1) = P_{i > 2}(1) = 0,000154652 = 0^3 154652 .$$

Пример 2. Определить по табл. 1.1 и 1.2 значения функции $P_{i \leq 16}(1)$ для простейшего потока с параметром $\lambda = 16$.

Решение. Для простейшего потока с параметром $\lambda = 16$ получаем:

а) $P_{i \leq 16}(1) = 1 - P_{i > 16}(1) = 1 - 0,4340 = 0,5660$ (табл.1.1);

$$\text{б) } P_{i \leq 16}(1) \approx \Phi^* \left(\frac{16 + 0,5 - 16}{16} \right) = 0,5498 \quad (\text{табл. 1.2}).$$

При вычислении вероятности $P_{i \leq 16}(1)$ по приближенной формуле относительная погрешность расчета

$$\delta = \frac{0,5660 - 0,5498}{0,5660} \approx 0,028 \approx 2,8\%$$

Таблица 1.1

Значения функции
$$P_{i > k}(t) = 1 - \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} \quad (\text{Формула Пуассона})$$

$k \backslash \lambda$	0.05	0.1	0.2	0.3
0	0.04877	0.09516	0.1812	0.2591
1	0.001209	0.004678	0.01752	0.03693
2	0.00002006	0.0001546	0.001148	0.003599
3	0.0000002497	0.000003846	0.00005684	0.0002658
4			0.000002258	0.00001578
5				0.0000007841
$k \backslash \lambda$	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.3296	0.3934	0.4511	0.5034
1	0.06155	0.09020	0.1219	0.1558
2	0.007926	0.01438	0.02311	0.03414
3	0.0007762	0.001751	0.003358	0.005753
4	0.00006124	0.0001721	0.0003944	0.0007855
5	0.000004042	0.00001416	0.00003885	0.00009002
6	0.0000002289	0.000001002	0.000003293	0.000008883
7			0.0000002453	0.0000007693

$k \backslash \lambda t$	0.8	0.9	1.0	2.0
0	0.5506	0.5934	0.6321	0.8646
1	0.1912	0.2275	0.2642	0.5939
2	0.04742	0.06285	0.08030	0.3233
3	0.009079	0.01345	0.01898	0.1428
4	0.001411	0.002344	0.003659	0.05265
5	0.0001843	0.0003434	0.0005941	0.01656
6	0.00002074	0.0004340	0.00008324	0.004533
7	0.000002049	0.000004817	0.00001024	0.0001096
8	0.0000001798	0.0000004756	0.0000001125	0.0002374
9			0.0000001120	0.00004649
10				0.000008309
11				0.000001365
12				0.0000002081
$k \backslash \lambda t$	3.0	4.0	5.0	6.0
0	0.9505	0.9816	0.9932	0.9975
1	0.8008	0.9084	0.9595	0.9826
2	0.5768	0.7618	0.8753	0.9380
3	0.3527	0.5665	0.7349	0.8487
4	0.1847	0.3711	0.5595	0.7149
5	0.08391	0.2148	0.3840	0.5543
6	0.03359	0.1106	0.2378	0.3936
7	0.01190	0.05113	0.1333	0.2560
8	0.003802	0.02136	0.06809	0.1527
9	0.001102	0.008132	0.03182	0.08392
10	0.0002923	0.002839	0.01369	0.04262
11	0.00007138	0.0009152	0.005453	0.02009
12	0.00001614	0.0002737	0.002018	0.008827
13	0.000003402	0.00007632	0.006979	0.003628
14	0.0000006709	0.00001993	0.0002262	0.001400
15		0.000004893	0.00006900	0.0005090
16		0.000001133	0.00001986	0.0001748
17		0.0000002489	0.000005416	0.00005691
18			0.000001401	0.00001759
19			0.0000003451	0.000005180
20				0.000001455
21				0.0000003910

$k \backslash \lambda t$	7.0	8.0	9.0	10.0
0	0.9990	0.9996	0.9998	0.9999
1	0.9927	0.9969	0.9987	0.9995
2	0.9703	0.9862	0.9937	0.9972
3	0.9182	0.9576	0.9787	0.9896
4	0.8270	0.9003	0.9450	0.9707
5	0.6992	0.8087	0.8843	0.9329
6	0.5502	0.6866	0.7932	0.8698
7	0.4012	0.5470	0.6751	0.7797
8	0.2709	0.4074	0.5443	0.6671
9	0.1695	0.2833	0.4125	0.5420
10	0.09052	0.1841	0.2940	0.4169
11	0.05334	0.1119	0.1969	0.3032
12	0.02699	0.06379	0.1242	0.2084
13	0.01281	0.03418	0.07385	0.1355
14	0.005717	0.01725	0.04146	0.08345
15	0.002406	0.008231	0.02203	0.04874
16	0.0009581	0.003718	0.01110	0.02704
17	0.0003617	0.001594	0.005319	0.01427
18	0.0001298	0.0006503	0.002426	0.007186
19	0.00004440	0.002259	0.001055	0.003454
20	0.00001449	0.00009396	0.0004392	0.001588
21	0.000004526	0.00003340	0.0001749	0.0006996
22	0.000001354	0.00001138	0.00006682	0.0002957
23	0.0000003890	0.000003726	0.00002452	0.0001201
24		0.000001172	0.000008654	0.00004695
25		0.0000003557	0.000002942	0.00001768
26			0.0000009655	0.000006424
27				0.000002255
28				0.0000007661

λt k	12	14	16	20
0	0.9999	0.9999		
1	0.9999	0.9999	0.9999	
2	0.9994	0.9999	0.9999	
3	0.9977	0.9995	0.9999	0.9999
4	0.9924	0.9981	0.9995	0.9999
5	0.9796	0.9944	0.9986	0.9999
6	0.9541	0.9857	0.9959	0.9997
7	0.9104	0.9683	0.9900	0.9992
8	0.8449	0.9379	0.9780	0.9979
9	0.7576	0.8906	0.9567	0.9950
10	0.6527	0.8243	0.9226	0.9891
11	0.5384	0.7399	0.8730	0.9786
12	0.4240	0.6415	0.8068	0.9609
13	0.3184	0.5355	0.7254	0.9338
14	0.2279	0.4295	0.6324	0.8951
15	0.1555	0.3306	0.5332	0.8434
16	0.1012	0.2440	0.4340	0.7789
17	0.06296	0.1727	0.3406	0.7029
18	0.03741	0.1173	0.2576	0.6185
19	0.02127	0.07650	0.1877	0.5297
20	0.01159	0.04790	0.1318	0.4409
21	0.006065	0.02884	0.08922	0.3563
22	0.003047	0.01671	0.05824	0.2793
23	0.001472	0.009327	0.03668	0.2125
24	0.0006856	0.005019	0.02231	0.1567
25	0.0003077	0.002507	0.01311	0.1121
26	0.0001333	0.001308	0.007458	0.07788
27	0.00005583	0.0006351	0.004105	0.05248
28	0.00002261	0.0002983	0.002188	0.03433
29	0.000008871	0.0001357	0.001131	0.02181
30	0.000003372	0.00005992	0.0005672	0.01347
31	0.000001244	0.00002566	0.0002762	0.008091
32	0.0000004462	0.00001067	0.0001306	0.004727
33		0.000004316	0.00006010	0.002688
34		0.000001697	0.00002690	0.001489
35		0.0000006602	0.00001172	0.0008036
36			0.000004978	0.0004228
37			0.000002061	0.0002170
38			0.0000008328	0.0001087
39				0.00005320
40				0.00002542
41				0.00001187
42				0.000005427
43				0.000002420
44				0.000001062
45				0.0000004566

Таблица 1.2

Значения нормальной функции распределения

$$\Phi^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

x	$\Phi^+(x)$	x	$\Phi^+(x)$	x	$\Phi^+(x)$	x	$\Phi^+(x)$
-0.00	0.5000	60	2743	20	1151	80	0359
02	4920	62	2676	22	1112	82	0344
04	4840	64	2611	24	1075	84	0329
06	4761	66	2546	-1.26	0.1038	86	0314
08	4681	68	2483	28	1003	88	0301
10	4602	70	2420	30	0968	-1.90	0.0288
12	4522	72	2358	32	0934	92	0274
14	4443	74	2297	34	0901	94	0262
16	4364	76	2236	36	0869	96	0250
18	4286	78	2177	38	0838	98	0239
20	4207	80	2119	40	0808	-2.00	0228
22	4129	82	2061	42	0778	20	0139
24	4052	-0.84	0.2005	44	0749	40	0082
26	3974	86	1949	46	0721	60	0047
28	3897	88	1894	48	0694	80	0026
30	3821	90	1841	50	0668	-3.00	0014
32	3745	92	1788	52	0643	20	0007
34	3669	94	1736	54	0618	40	0003
36	3594	96	1685	56	0594	60	0002
38	3520	98	1635	58	0571	80	0001
40	3446	-1.00	1587	-1.60	0548	+0.00	5000
-0.42	0.3372	0.2	1539	62	0526	02	5080
44	3300	04	1492	64	0505	04	5160
46	3228	06	1446	66	0485	06	5239
48	3156	08	1401	68	0465	08	5319
50	3085	10	1357	70	0446	10	5398
52	3015	12	1314	72	0427	12	5478
54	2946	14	1271	74	0409	14	5557
56	2877	16	1230	76	0392	16	5636
58	2810	18	1190	78	0375	18	5714

x	$\Phi^*(x)$	x	$\Phi^*(x)$	x	$\Phi^*(x)$	x	$\Phi^*(x)$
+0.20	5793	70	7580	20	8849	70	9554
22	5871	72	7642	22	8888	72	9573
24	5948	74	7703	24	8925	74	9591
26	6026	76	7764	26	8962	76	9608
28	6103	78	7823	28	8997	78	9625
30	6179	80	7881	30	9032	+1.80	9641
32	6255	82	7939	32	9066	82	9656
+0.34	0.6331	84	7995	34	9099	84	9671
36	6406	86	8051	36	9131	86	9686
38	6480	88	8106	38	9162	88	9699
40	6554	90	8159	40	9192	90	9713
42	6628	92	8212	42	9222	92	9726
44	6700	94	8264	44	9251	94	9738
46	6772	96	8315	46	9279	96	9750
48	6844	+0.98	0.8365	48	9306	98	9761
50	6915	+1.00	8413	50	9332	+2.00	9772
52	6985	02	8461	52	9357	20	9861
54	7054	04	8508	54	9382	40	9918
56	7123	06	8554	56	9406	60	9953
58	7190	08	8599	58	9429	80	9974
60	7257	10	8643	60	9452	+3.00	9986
62	7324	12	8686	+1.62	0.9474	20	9993
64	7389	14	8729	64	9495	40	9997
66	7454	16	8770	66	9515	60	9998
68	7517	18	8810	68	9535	80	9999
						+3.90	1.0000

Таблицы Пальма

Таблицы служат для определения вероятностей потерь $E_v(Y)$ как функции числа линий v полнодоступного пучка и интенсивности поступающей нагрузки Y (в Эрл) в системе с потерями:

$$E_v(Y) = \frac{Y^v}{v! \sum_{x=0}^v \frac{Y^x}{x!}}$$

Точность таблиц доведена до 6 десятичных знаков, которые приведены в таблицах на пересечении столбцов и строк, соответствующих заданным значениям v и Y (для сокращения записи в начале значений $E_v(Y)$ опущены нули и запятые). Таблицы составлены для всех значений v от 1 до 270 в диапазоне интенсивностей нагрузок от 0,05 до 200 Эрл.

Если значение нагрузки Y больше максимальной величины, указанной в таблице, то число линий при заданных потерях

$$v' = 100 + \frac{Y - Y_{100}}{y_{100}}$$

где Y - интенсивность поступающей нагрузки; Y_{100} - интенсивность нагрузки, обслуживаемая пучком в 100 линий при заданных потерях $E_v(Y)$; $y_{100} = Y_{100} - Y_{99}$; Y_{99} - интенсивность нагрузки, обслуживаемая пучком в 99 линий при потерях $E_v(Y)$.

Для различных диапазонов нагрузок значения даются с различным шагом h (от 0,05 до 0,5 Эрл). При определении значения потерь $E_v(Y)$ для заданной интенсивности поступающей нагрузки Y , не совпадающей с табличными данными, т.е. имеющей значение между табличными данными Y' и $Y' + h$ ($Y' < Y' + h$) используется формула Ньютона:

$$E_v(Y) = E_v(Y') + \Delta E_v(Y') \frac{Y - Y'}{h}$$

где $\Delta E_v(Y') = E_v(Y' + h) - E_v(Y')$.

- [Таблицы с диапазоном \(Диапазон \$Y\$: 0,05...5,0; диапазон \$v\$: 1...10; Диапазон \$Y\$: 5,0...10,0; диапазон \$v\$: 1...10; Диапазон \$Y\$: 10,0...15,0; диапазон \$v\$: 1...10\)](#)

- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 15,0...20,0; диапазон v: 1...10;Диапазон Y: 20,0...100,0; диапазон v: 1...10;Диапазон Y: 105...200; диапазон v: 1...10;Диапазон Y: 2,1...5,0; диапазон v: 11...20)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 5,0...10,0; диапазон v: 11...20;Диапазон Y: 10,0...15,0; диапазон v: 11...20;Диапазон Y: 15,0...20,0; диапазон v: 11...20)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 20,0...100,0; диапазон v: 11...20;Диапазон Y: 105,0...200,0; диапазон v: 11...20;Диапазон Y: 5,8...10,0; диапазон v: 21...30;Диапазон Y: 10,0...15,0; диапазон v: 21...30)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 15,0...20,0; диапазон v: 21...30;Диапазон Y: 20,0...100,0; диапазон v: 21...30;Диапазон Y: 105,0...200,0; диапазон v: 21...30;Диапазон Y: 12,1...15,0; диапазон v: 31...40)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 15,0...20,0; диапазон v: 31...40;Диапазон Y: 20,0...100,0; диапазон v: 31...40;Диапазон Y: 105,0...200,0; диапазон v: 31...40;Диапазон Y: 17,3...20,0; диапазон v: 41...50)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 20,0...100,0; диапазон v: 41...50;Диапазон Y: 105,0...200,0; диапазон v: 41...50;Диапазон Y: 25,5...40,0; диапазон v: 51...60;Диапазон Y: 41,0...200,0; диапазон v: 51...60)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 31,0...200,0; диапазон v: 61...70;Диапазон Y: 38,0...200,0; диапазон v: 71...80;Диапазон Y: 46,0...200,0; диапазон v: 81...90)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 56,0...200,0; диапазон v: 91...100;Диапазон Y: 64,0...200,0; диапазон v: 101...110;Диапазон Y: 72,0...200,0; диапазон v: 111...120;Диапазон Y: 80,0...200,0; диапазон v: 121...130;Диапазон Y: 88,0...200,0; диапазон v: 131...140)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 96,0...200,0; диапазон v: 141...150;Диапазон Y: 105,0...200,0; диапазон v: 151...160;Диапазон Y: 110,0...200,0; диапазон v: 161...170;Диапазон Y: 120,0...200,0; диапазон v: 171...180)
- Таблицы с диапазоном(Диапазон Y: 130,0...200,0; диапазон v: 181...210;Диапазон Y: 155,0...200,0; диапазон v: 211...270)

Таблицы формулы Энгсета

4. Формулы Энгсета (табл. 3.1, 3.2) служат для определения вероятности потерь P_B по вызовам в полнодоступном пучке из v линий, на который поступает примитивный поток вызовов с параметром $\lambda_i = (n - i)\alpha$:

$$P_t = P(n, v, a) = \frac{C_{n-1}^v \alpha^v}{\sum_{x=0}^v C_{n-1}^x \alpha^x} = \frac{C_{n-1}^v \left(\frac{a}{1-a}\right)^v}{\sum_{x=0}^v C_{n-1}^x \left(\frac{a}{1-a}\right)^x}$$

где α - коэффициент пропорциональности, равный параметру одного свободного источника; n - общее число источников; i - число занятых источников; a - нагрузка, поступающая от одного источника.

Вероятность P_B определяется:

- при $v = \text{const}$ – по табл. 3.1;
- при $n = \text{const}$ – по табл. 3.2.

Вероятности потерь по времени P_t и нагрузке P_H определяются по табличным значениям следующим образом:

$$P_t = P(n+1, v, a); \quad P_H = \left(1 - \frac{v}{n}\right) P(n+1, v, a)$$

Пример. Определить потери по времени, вызовам и нагрузке в полнодоступном пучке из $v = 2$ линий, на который поступает примитивный поток вызовов от $n = 8$ источников. Нагрузка от одного источника

$a = 0,1$ Эрл.

Решение. По таблицам формулы Энгсета находим:

$$P_B = P(n, v, a) = (8; 2; 0,1) = 0,1273$$

$$P_t = P(n+1, v, a) = (9; 2; 0,1) = 0,1547$$

$$P_H = \left(1 - \frac{v}{n}\right) P(n+1, v, a) = \left(1 - \frac{2}{8}\right) \cdot 0,1547 = 0,116025$$

Таблица 3.1

Значения функций Энгсета

$$P_B = \frac{C_{n-1}^v \left(\frac{a}{1-a}\right)^v}{\sum_{x=0}^v C_{n-1}^x \left(\frac{a}{1-a}\right)^x} \quad v=\text{const}$$

$v = 2$						
$\alpha \backslash n$	5	6	7	8	9	10
0.01	0.0006	0.0010	0.0014	0.0020	0.0025	0.0034
0.02	0.0023	0.0038	0.0055	0.0076	0.0099	0.0125
0.03	0.0051	0.0082	0.0120	0.0162	0.0210	0.0262
0.04	0.0088	0.142	0.0204	0.0275	0.0352	0.0435
0.05	0.0135	0.0215	0.0306	0.0408	0.0518	0.0634
0.06	0.0191	0.0300	0.0423	0.0558	0.0702	0.0852
0.07	0.0255	0.0395	0.0553	0.0723	0.0901	0.1084
0.08	0.0326	0.0501	0.0694	0.0898	0.1110	0.1325
0.09	0.0404	0.0614	0.0843	0.1082	0.1326	0.1570
0.10	0.0488	0.0735	0.1000	0.1273	0.1547	0.1818
0.11	0.0578	0.0863	0.1163	0.1468	0.1770	0.2066
0.12	0.0673	0.0996	0.1330	0.1665	0.1994	0.2311
0.13	0.0774	0.1132	0.1501	0.1864	0.2216	0.2553
0.14	0.0878	0.1275	0.1674	0.2064	0.2437	0.2790
0.15	0.0987	0.1420	0.1849	0.2263	0.2655	0.3022
0.16	0.1100	0.1567	0.2025	0.2462	0.2870	0.3249
0.17	0.1215	0.1717	0.2202	0.2658	0.3080	0.3469
0.18	0.1334	0.1868	0.2378	0.2852	0.3286	0.3683
0.19	0.1455	0.2021	0.2553	0.3043	0.3488	0.3890
0.20	0.1579	0.2134	0.2727	0.3231	0.3684	0.4091
0.30	0.2888	0.3689	0.4355	0.4909	0.5373	0.5765

$v = 5$						
$\alpha \backslash n$	20	21	22	23	24	25
0.03	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006
0.04	0.0007	0.0009	0.0011	0.0013	0.0017	0.0020
0.05	0.0018	0.0022	0.0028	0.0034	0.0042	0.0051
0.06	0.0038	0.0048	0.0059	0.0072	0.0086	0.0102
0.07	0.0071	0.0088	0.0107	0.0129	0.0154	0.0181
0.08	0.0119	0.0146	0.0177	0.0211	0.0248	0.0289
0.09	0.0184	0.0224	0.0268	0.0316	0.0369	0.0426
0.10	0.0268	0.0323	0.0383	0.0447	0.0517	0.0590
0.11	0.0371	0.0443	0.0519	0.0602	0.0689	0.0780
0.12	0.0493	0.0582	0.0677	0.0777	0.0882	0.0991
0.13	0.0633	0.0740	0.0853	0.0972	0.1094	0.1219
0.14	0.0789	0.0914	0.1046	0.1181	0.1319	0.1460
0.15	0.0959	0.1103	0.1251	0.1402	0.1556	0.1710
0.16	0.1142	0.1302	0.1467	0.1632	0.1799	0.1966
0.17	0.1335	0.1511	0.1690	0.1869	0.2047	0.2223
0.18	0.1536	0.1727	0.1918	0.2109	0.2296	0.2481
0.19	0.1743	0.1947	0.2150	0.2350	0.2545	0.2737
0.20	0.1955	0.2171	0.2383	0.2590	0.2792	0.2989
0.30	0.4044	0.4296	0.4531	0.4750	0.4954	0.5145

		$\nu = 10$					
$\alpha \backslash n$	n	40	41	42	43	44	45
0.07		0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006
0.08		0.0006	0.0007	0.0009	0.0011	0.0013	0.0016
0.09		0.0014	0.0017	0.0021	0.0025	0.0030	0.0035
0.10		0.0030	0.0036	0.0043	0.0051	0.0060	0.0069
0.11		0.0056	0.0067	0.0079	0.0092	0.0107	0.0123
0.12		0.0097	0.0114	0.0133	0.0154	0.0177	0.0202
0.13		0.0156	0.0181	0.0209	0.0239	0.0272	0.0307
0.14		0.0235	0.0271	0.0309	0.0351	0.0395	0.0442
0.15		0.0338	0.0384	0.0435	0.0488	0.0545	0.0604
0.16		0.0463	0.0522	0.0585	0.0651	0.0720	0.0792
0.17		0.0611	0.0683	0.0759	0.0837	0.0919	0.1003
0.18		0.0780	0.0865	0.0953	0.1044	0.1137	0.1231
0.19		0.0968	0.1065	0.1165	0.1266	0.1370	0.1474
0.20		0.1172	0.1280	0.1390	0.1502	0.1614	0.1726
0.30		0.3504	0.3654	0.3799	0.3940	0.4075	0.4206

Таблица 3.2

Значения функций Энгсета

$$P_z = \frac{C_{n-1}^{\nu} \left(\frac{a}{1-a} \right)^{\nu}}{\sum_{x=0}^{\nu} C_{n-1}^x \left(\frac{a}{1-a} \right)^x} \quad n=\text{const}$$

		$n = 5$		
$\alpha \backslash \nu$	ν	1	2	3
0.01		0.039	0.002	
0.02		0.075	0.005	
0.03		0.110	0.009	
0.04		0.143	0.013	
0.05		0.174	0.019	
0.06		0.203	0.025	
0.07		0.231	0.033	0.001
0.08		0.258	0.040	0.002
0.09		0.283	0.049	0.003
0.10		0.307	0.058	0.004

		$n = 5$			
$\alpha \backslash \nu$	ν	1	2	3	4
0.11		0.331	0.058	0.005	
0.12		0.353	0.067	0.006	
0.13		0.374	0.077	0.008	
0.14		0.394	0.088	0.009	
0.15		0.414	0.099	0.011	
0.16		0.432	0.109	0.014	
0.17		0.450	0.121	0.016	
0.18		0.467	0.133	0.019	
0.19		0.484	0.145	0.022	0.001
0.20		0.500	0.158	0.025	0.001
0.30		0.631	0.289	0.076	0.008

n = 10					
$\alpha \backslash \nu$	1	2	3	4	5
0.01	0.083	0.003			
0.02	0.155	0.012			
0.03	0.218	0.026	0.002		
0.04	0.273	0.043	0.004		
0.05	0.321	0.063	0.008	0.0006	
0.06	0.365	0.085	0.012	0.0011	
0.07	0.404	0.108	0.019	0.002	
0.08	0.439	0.132	0.026	0.003	
0.09	0.471	0.157	0.035	0.005	
0.10	0.500	0.181	0.045	0.007	
0.11	0.526	0.206	0.056	0.010	0.001
0.12	0.551	0.231	0.068	0.014	0.002
0.13	0.573	0.255	0.082	0.018	0.003
0.14	0.594	0.279	0.096	0.023	0.004
0.15	0.614	0.302	0.111	0.028	0.005

n = 20								
$\alpha \backslash \nu$	1	2	3	4	5	6	7	8
0.01	0.161	0.014	0.01					
0.02	0.279	0.049	0.06					
0.03	0.370	0.093	0.016	0.002				
0.04	0.442	0.142	0.032	0.005	0.001			
0.05	0.500	0.191	0.054	0.011	0.002			
0.06	0.548	0.239	0.080	0.020	0.004			
0.07	0.588	0.285	0.108	0.032	0.007	0.001		
0.08	0.623	0.328	0.139	0.046	0.012	0.002		
0.09	0.653	0.367	0.171	0.063	0.018	0.004	0.001	
0.10	0.678	0.404	0.203	0.083	0.027	0.007	0.001	
0.11	0.701	0.438	0.235	0.104	0.037	0.010	0.002	
0.12	0.721	0.470	0.266	0.127	0.049	0.015	0.004	0.001
0.13	0.740	0.499	0.297	0.151	0.063	0.022	0.006	0.001
0.14	0.756	0.525	0.326	0.175	0.079	0.029	0.009	0.002
0.15	0.770	0.550	0.355	0.200	0.096	0.037	0.012	0.003

n = 40						
$\alpha \backslash \nu$	1	2	3	4	5	6
0.01	0.283	0.051	0.006			
0.02	0.443	0.147	0.036	0.006	0.001	
0.03	0.547	0.243	0.085	0.023	0.005	0.001
0.04	0.619	0.329	0.144	0.051	0.015	0.003
0.05	0.672	0.402	0.207	0.089	0.032	0.009
0.06	0.713	0.466	0.267	0.133	0.058	0.020
0.07	0.746	0.516	0.324	0.180	0.087	0.036
0.08	0.772	0.561	0.375	0.227	0.121	0.056
0.09	0.794	0.599	0.422	0.273	0.159	0.082
0.10	0.812	0.632	0.464	0.317	0.198	0.111
0.11	0.828	0.660	0.502	0.358	0.236	0.142
0.12	0.842	0.686	0.536	0.396	0.275	0.175
0.13	0.853	0.708	0.566	0.432	0.311	0.209
0.14	0.864	0.728	0.594	0.465	0.346	0.242
0.15	0.873	0.745	0.619	0.496	0.380	0.275

n = 40						
$\alpha \backslash \nu$	7	8	9	10	11	12
0.01						
0.02						
0.03						
0.04	0.001					
0.05	0.002					
0.06	0.006	0.001				
0.07	0.012	0.004	0.001			
0.08	0.023	0.008	0.002	0.001		
0.09	0.037	0.014	0.005	0.001		
0.10	0.055	0.024	0.009	0.003	0.001	
0.11	0.076	0.036	0.015	0.006	0.002	
0.12	0.101	0.052	0.024	0.010	0.003	0.001
0.13	0.128	0.071	0.035	0.016	0.006	0.002
0.14	0.157	0.093	0.049	0.024	0.010	0.004
0.15	0.186	0.116	0.066	0.034	0.015	0.006

n = 50								
$\alpha \backslash \nu$	1	2	3	4	5	6	7	8
0.01	0.331	0.074	0.012	0.001				
0.02	0.500	0.197	0.039	0.014	0.002			
0.03	0.602	0.309	0.130	0.044	0.012	0.003		
0.04	0.671	0.402	0.208	0.090	0.033	0.010	0.002	
0.05	0.720	0.476	0.282	0.146	0.065	0.024	0.008	0.002
0.06	0.758	0.537	0.349	0.204	0.105	0.047	0.018	0.006
0.07	0.787	0.587	0.409	0.261	0.150	0.077	0.034	0.013
0.08	0.810	0.628	0.461	0.316	0.198	0.112	0.056	0.025
0.09	0.829	0.663	0.507	0.366	0.246	0.151	0.084	0.042
0.10	0.845	0.692	0.547	0.411	0.291	0.192	0.116	0.063
0.11	0.858	0.718	0.582	0.452	0.335	0.233	0.150	0.089
0.12	0.870	0.740	0.613	0.490	0.376	0.273	0.186	0.118
0.13	0.880	0.759	0.640	0.524	0.413	0.312	0.222	0.148
0.14	0.889	0.776	0.664	0.554	0.448	0.348	0.258	0.181
0.15	0.896	0.792	0.686	0.582	0.480	0.383	0.294	0.214

n = 50								
$\alpha \backslash \nu$	9	10	11	12	13	14	15	16
0.01								
0.02								
0.03								
0.04								
0.05								
0.06	0.002							
0.07	0.004	0.001						
0.08	0.010	0.003	0.001					
0.09	0.018	0.007	0.002	0.001				
0.10	0.031	0.014	0.005	0.002				
0.11	0.048	0.023	0.010	0.004	0.001			
0.12	0.068	0.036	0.017	0.007	0.003	0.001		
0.13	0.092	0.052	0.027	0.012	0.005	0.002	0.001	
0.14	0.118	0.072	0.040	0.020	0.009	0.004	0.001	
0.15	0.147	0.094	0.055	0.030	0.015	0.007	0.003	0.001

Таблицы второй формулы Эрланга

1. Вторая формула Эрланга (табл. 4.1, 4.2) служит для определения в системах с ожиданием при экспоненциально-распределенной длительности обслуживания вероятностей потерь по времени P_t в полнодоступном пучке из v линий, на который поступает простейший поток вызовов с параметром λ :

$$P_t = \frac{\frac{\lambda^v}{v!} \frac{v}{(v-\lambda)}}{\sum_{x=0}^{v-1} \frac{\lambda^x}{x!} + \frac{\lambda^v}{v!} \frac{v}{(v-\lambda)}}, \quad \lambda < v,$$

здесь P_t – опасное время, когда занято v линий и на ожидании находятся $0, 1, 2, \dots$ вызовов.

Вероятности состояния P_v с v занятыми линиями при отсутствии ожидающих вызовов и вероятности потерь P_t по вызовам, представляющим доли времени, когда на ожидании имеется хотя бы один вызов, могут быть определены так:

$$P_v = P_t \frac{v-\lambda}{\lambda}, \quad P_x = P_t \frac{\lambda}{\lambda}.$$

Вероятности $P\{\lambda > t\}$ (Таблицы $P\{1 > t\}$ рассчитаны на БЭСМ-4 И.А. Бавриным (ЛОНИС)) показывают, что время ожидания начала обслуживания определенного вызова, находящегося на ожидании, превзойдет t :

$$P\{\lambda > t\} = P_t e^{-(v-\lambda)t}, \quad t \geq 0.$$

Вероятности $P\{\lambda > t\}$ от величины нагрузки на одну линию ($a_{\text{л}} = \lambda/v$) при $t = 0$ определяются по табл. 4.2:

$$P\{\lambda > t\} = P\{\lambda > 0\} = P_t.$$

Табл. 4.2, являясь частным случаем табл. 4.1, охватывает более широкий диапазон значений λ и v .

Пример. Определить вероятности P_t , P_v , P_x и $P\{\lambda > 2\}$ для полнодоступного пучка из $v = 6$ линий, на который поступает простейший поток вызовов с параметром $\lambda = 4,2$.

Решение. Из табл. 4.1 и 4.2 находим:

$$P_t = P\{\lambda, v\} = (4,2; 6) = 0,33600,$$

$$P_v = P_t \frac{v-\lambda}{v} = 0,336 \frac{6-4,2}{6} = 0,1008,$$

$$P_B = P_t \frac{\lambda}{\nu} = 0,336 \frac{4,2}{6} = 0,2352,$$

$$P\{\lambda > \nu\} = P((a_{\pi} \lambda/\nu, \nu) = P(0,7;6) = 0,009180.$$

Таблица 4.1

Значения функции Эрланга

$$P_t = \frac{\frac{\lambda^\nu}{\nu!} \left(\frac{\nu}{\nu - \lambda} \right)}{\sum_{x=0}^{\nu-1} \frac{\lambda^x}{x!} \frac{\lambda^\nu}{\nu!} \frac{\nu}{\nu - \lambda}}$$

$\lambda \backslash \nu$	5	6	7	8	9
4.1	59331	30978	14961	6666	2738
4.2	63377	33598	16505	7492	3140
4.3	67547	36336	18146	8387	3583
4.4		39192	19885	9352	4071
4.5		42165	21722	10389	4605
4.6		45254	23659	11500	5188
4.7		48459	25696	12688	5822
4.8		51777	27834	13954	6509
4.9		55209	30074	15300	7251
5.0		58752	32415	16727	8051
5.1		62405	34858	18236	8910
5.2		66167	37402	19829	9831
5.3			40049	21507	10814
5.3			40049	21507	10814
5.4			42796	23271	11862
5.5			45645	25122	12977
5.6			48594	27080	14160
5.7			51643	29087	15412
5.8			54791	31201	16735
5.9			58038	33405	18130
6.0			61383	35698	19598
6.1			64825	38080	21141
6.2				40552	22758
6.3				43114	24452
6.4				45764	26223

$\lambda \backslash \nu$	8	9
6.5	48504	28071
6.6	51333	29998
6.7	54251	32003
6.8	57257	34087
6.9	60351	36251
7.0	63532	38495

$\lambda \backslash \nu$	10	11	12	13	14
2.1	00007125				
2.2	0001040				
2.3	0001486				
2.4	0002086				
2.5	0002876				
2.6	0003905	00008943			
2.7	0005223	0001240			
2.8	0006894	0001695			
2.9	0008984	0002284			
3.0	0011573	0003038	00007355		
3.1	0014746	0003993	00009988		
3.2	0018397	0005188	0001338		
3.3	0023231	0006671	0001771		
3.4	0028761	0008493	0002320		
3.5	0035309	0010712	0003008	00007849	
3.6	0043003	0013392	0003861	0001035	
3.7	0051984	0016604	0004912	0001352	
3.8	0062398	0020425	0006196	0001749	
3.9	0074398	0024939	0007751	0002242	
4.0	0088147	0030237	0009622	0002851	00007895

$\lambda \backslash \nu$	10	11	12	13	14	15	16	17
4.1	0103812	0086417	0011857	0003596	0001020			
4.2	0121566	0043382	0014510	0004502	0001306			
4.3	0141389	0051843	0017639	0005594	0001660			
4.4	0164063	0061317	0021307	0006905	0002094			
4.5	0189176	0072127	0025382	0008466	0002622	00007625		
4.6	0217119	0084401	0030540	0010315	0003262	00009687		
4.7	0248084	0098273	0036258	0012492	0004031	0001222		
4.8	0282264	0113883	0042822	0015043	0004951	0001531		
4.9	0319856	0131374	0050320	0018015	0006045	0001906		
5.0	0361054	0150893	0058947	0021461	0007338	0002339		
5.1	0406052	0172393	0068303	0025438	0008859	0002901	00008960	
5.2	0453044	0196628	0079391	0030005	0010640	0003549	0001116	
5.3	0508221	0223156	0091620	0035229	0012714	0004317	0001383	
5.4	0565771	0252336	0105303	0041177	0015118	0005224	0001703	
5.5	0627879	0284331	0120538	0047923	0017894	0006290	0002087	
5.6	069473	031930	013750	005555	002108	0007537	0002543	0008121
5.7	076649	035741	015627	006412	002474	0008989	0003084	00010002
5.8	084335	039883	017697	007374	002890	001067	0003723	0001229
5.9	092546	044371	019975	008430	003363	001262	0004472	0001500
6.0	101299	049222	022474	009647	003898	001485	0005347	0001823
6.1	110610	054452	025307	010977	004502	001741	0006367	0002205
6.2	120493	060077	028188	012449	005180	002034	0007549	0002655
6.3	130962	066112	031430	014073	005939	002366	0008915	0003182
6.4	142032	072574	034948	015860	006787	002743	001049	0003799
6.5	153715	079476	038755	017820	007731	003169	001229	0004516
6.6	166023	086834	042866	019966	008779	003648	001434	0005349
6.7	178969	094663	047294	022308	009938	004185	001669	0006310
6.8	192562	102976	052053	024837	011217	004787	001935	0007417
6.9	206813	111787	057157	027627	012624	005438	002235	0008686
7.0	221731	121108	062620	030627	014169	006204	002574	001014
7.1	237326	130954	068456	033870	015860	007032	002956	001179
7.2	253604	141335	074676	037369	017707	007948	003383	001367
7.3	270573	152263	081296	041136	019720	008939	003861	001580
7.4	288240	163751	088327	045181	021907	010071	004393	001821
7.5	306611	175807	095782	049519	024280	011292	004985	002091
7.6	325691	188442	103674	054160	026848	012630	005642	002395
7.7	345484	201667	112015	059116	029622	014092	006368	002736
7.8	365994	215488	120815	064401	032611	015685	007169	003116
7.9	387226	229916	130087	070024	035827	017419	008051	003540
8.0	409180	244958	139842	075999	039280	019301	009019	004010

$\lambda \backslash \nu$	10	11	12	13	14	15	16	17
8.1	431860	260621	150089	082337	042981	021340	010080	004532
8.2	455268	276911	160840	089049	046939	023545	011240	005109
8.3	479403	293836	172103	096146	051167	025925	012805	005746
8.4	504268	311400	183889	103639	055674	028487	013883	006447
8.5	529861	329609	196205	111539	060472	031243	015280	007216
8.6	556183	348468	209061	119857	065569	034200	017003	008060
8.7	583233	367980	222465	128602	070979	037368	018760	008983
8.8	611008	388149	236424	137785	076709	040757	020659	009990
8.9	639509	408978	250945	147415	082772	044376	022705	011088
9.0		430470	266035	157501	089176	048234	024909	012281
9.1		452627	281700	168052	095932	052340	027277	013577
9.2		475451	297946	179078	103030	056705	029817	014980
9.3		498943	314778	190586	110540	061338	032538	016497
9.4		523104	332202	202584	118410	066247	035448	018135
9.5		547934	350222	215080	126671	071443	038555	019900
9.6		573434	368842	228081	135330	076935	041867	021800
9.7		599603	388065	241395	144398	082732	045393	023840
9.8		626441	407895	255626	153882	088843	049142	026028
9.9		653946	428336	270183	163790	095277	053122	028371
10.0			449388	285270	174132	102042	057340	030876

$\lambda \backslash \nu$	20	21	22	23	24
8.1	000310	000116			
8.2	000361	000137			
8.3	000420	000161			
8.4	000487	000188			
8.5	000564	000220	000083		
8.6	000650	000257	000097		
8.7	000748	000299	000115		
8.8	000858	000347	000134		
8.9	000982	000401	000157		
9.0	001121	000463	000183		
9.1	001277	000532	000213		
9.2	001451	000611	000247	00009571	
9.3	001645	000700	000285	0001119	
9.4	001861	000799	000329	0001304	
9.5	002101	000911	000379	0001516	
9.6	002366	001036	000435	0001758	
9.7	002659	001176	000499	0002035	
9.8	002983	001331	000570	0002348	00009302
9.9	003339	001504	000651	0002704	0001081
10.0	003731	001696	000740	0003107	0001254

$\lambda \backslash \nu$	40	41	42	43	44	45	46	47
21	0001514							
22	0003781	0001970						
23	0008715	0004733	0002515	0001309				
24	001869	001056	0005836	0003159	0001675			
25	003753	002200	001262	0007097	0003909	0002110	0001116	
26	007100	004309	002562	001493	0008526	0004773	0002620	0001410
27	01272	007977	004905	002957	001747	001013	0005757	0003210
28	02168	01403	008901	005541	003383	002027	001191	0005808
29	03533	02353	01538	009870	006216	003842	002330	001389
30	05525	03781	02542	01678	01088	006929	004332	002659
31	08322	05843	04032	02735	01823	01194	07679	004853
32	1212	08711	06161	04286	02931	01971	01303	008464
33	1711	1257	09098	06480	04541	03131	02123	01416
34	2349	1762	1302	09482	06798	04799	03334	02279
35	3145	2404	1812	1347	09863	07117	05057	03539
36	4116	3200	2457	1861	1390	1024	07434	05317
37	5275	4168	3254	2509	1909	1434	1062	07751
38	6636	5321	4219	3306	2560	1956	1476	1099
39		6672	5366	4269	3357	2009	2003	1518
40			6706	5409	4317	3407	2658	2049
$\lambda \backslash \nu$	50	51	52	53	54	55	56	57
31	001102	0006489	0003757	0002138	0001196			
32	002092	001269	0007563	0004432	0002555	0001448		
33	003796	002366	001451	0008746	0005187	0003026	0001736	
34	006598	004224	002660	001648	001004	0008022	0003554	0002064
35	01103	007239	004677	002974	001861	001146	0008944	0004143
36	01776	01194	007907	005154	003307	002089	001299	0007953
37	02764	01902	01289	008603	005655	003660	002333	001464
38	04167	02931	02031	01386	009325	006179	004033	002593
39	06102	04380	03100	02162	01487	01007	006725	004425
40	08695	06364	04595	03271	02297	01590	01085	007295

$\lambda \backslash \nu$	50	51	52	53	54	55	56	57
41	1208	09007	06626	04810	03445	02433	01695	01164
42	1641	1244	09317	06889	05027	03620	02572	01803
43	2181	1681	1280	09626	07150	05244	03797	02713
44	2843	2224	1720	1315	09932	07412	05462	03975
45	3639	2887	2266	1759	1350	1024	07673	05681
46	4581	3682	2930	2307	1797	1384	1054	07933
47	5680	4621	3724	2972	2347	1834	1418	1084
48	6945	5714	4660	3765	3013	2387	1872	1452
49		6971	5748	4699	3806	3054	2426	1908
50			6996	5781	4736	3845	3093	2465

$\lambda \backslash \nu$	60	61	62	63	64	65	66	67
36	0001665							
37	0003307	0001954						
38	0006300	0003817	0002279	0001341				
39	001154	0007159	0004378	0002639	0001568			
40	002036	001293	0009091	0004993	0003038	0001823		
41	003468	002251	001441	0009098	0005664	0003477	0002106	
42	005716	003791	002480	001600	001018	0006393	0003959	0002418
43	009132	006183	004130	002722	001769	001135	0007181	0004484
44	01417	009785	006669	004485	002976	001949	001259	0008031
45	02139	01505	01046	007172	004855	003243	002139	001392
46	03146	02255	01596	01115	007693	005240	003524	002339
47	04517	03294	02373	01688	01186	008231	005640	003816
48	06339	04700	03443	02492	01782	01259	008786	006065
49	08709	06559	04883	03593	02613	01878	01334	009357
50	1173	08966	06778	05067	03745	02736	01976	01410
52	2015	1583	1231	09476	07217	05437	04052	02986
56	4944	4067	3318	2683	2115	1709	1345	1048
60			7218	6070	5069	4201	3455	2818
64							7294	6170

$\lambda \backslash \nu$	70	71	72	73	74	75	76	77
45	0003551	0002195						
46	0006338	0003999	0002491	0001533				
47	001096	0007055	0004483	0002814	0001745			
48	001841	001207	0007822	0005006	0003165	0001977		
49	003004	002007	001325	0008643	0005569	0003546	002231	0001387
50	004771	003246	002183	001450	0009517	0006173	0003957	0002507
52	01116	007860	005470	003763	002559	001720	001143	007509
56	04676	03500	02592	01900	01378	009882	007012	004922
60	1455	1147	08955	05928	05309	04029	03028	02253
$\lambda \backslash \nu$	80	81	82	83	84	85	86	87
52	0001987	0001247						
56	001595	001072	0007124	0004685	0003048	0001962	0001250	
60	008737	006243	004415	003090	002141	001468	0009966	0006696
64	03479	02624	01960	01451	01063	007718	005548	003950
68	1065	08411	06590	05119	03942	03009	02277	01707
72	2631	2161	1763	1427	1147	09143	07232	05674
76	5484	4652	3923	3287	2737	2263	1859	1516
80			7542	6499	5571	4748	4024	3390
$\lambda \backslash \nu$	90	91	92	93	94	95	96	97
64	001345	0009209	0006245	0004195	0002791	0001839	0001200	
68	006813	004925	003528	002503	001760	001226	0008464	0005788
72	02607	01978	01488	01110	008204	006012	004368	003145
76	07871	06231	04894	03814	02949	02262	01720	01298
80	1951	1602	1306	1058	08505	06789	05379	04230
84	4120	3477	2935	2455	2041	1686	1384	1128
88	7642	6634	5730	4925	4210	3580	3027	2545
92					7688	6695	5804	5006

$\lambda \backslash \nu$	100	101	102	103	104	105	106	107
72	001114	0007744	0005336	0003645	0002469	0001657		
76	005303	003870	002800	002009	001430	001009	0007059	0004898
80	01965	01498	01133	008505	006332	004677	003427	002491
84	05866	04651	03661	02861	02219	01709	0e306	009900
88	1459	1197	09757	07901	06355	05077	04028	03174
92	3116	2632	2211	1846	1533	1265	1037	08453
96	58	5084	4379	3754	3201	2716	2292	1923
100			7771	6808	5939	5157	4458	3835
$\lambda \backslash \nu$	110	111	112	113	114	115	116	117
80	0009113	0006414	0004478	0003102	0002132			
84	004124	003033	002213	001603	001152	0008214	0005812	0004081
88	01487	01139	008655	006530	004891	003636	002683	001966
92	04401	03494	02765	02158	01678	01296	009942	007592
96	1098	09001	07334	05938	04778	03820	03034	02394
100	2370	1998	1675	1397	1158	09544	07821	06371
$\lambda \backslash \nu$	120	121	122	123	124	125	126	127
88	0007390	0005255	0003709	0002599	0001808			
92	003206	002373	001744	001273	0009225	0006637	0004741	0003363
96	01131	008686	006628	005023	003781	002827	002099	001547
100	03320	02638	02083	01634	01274	009869	007594	005805
$\lambda \backslash \nu$	130	131	132	133	134	135	136	137
96	0005953	0004271	0003043	0002153				
100	002492	001855	001372	001008	0007356	0005333	0003841	0002748

Таблица 4.2

Значения функции Эрланга

$$P\{\gamma > t\} = \frac{\frac{\lambda^\nu}{\nu!} \left(\frac{\nu}{\nu - \lambda} \right)}{\sum_{x=0}^{\nu-1} \frac{\lambda^x}{x!} + \frac{\lambda^\nu}{\nu!} \frac{\nu}{\nu - \lambda}} \cdot e^{-(\nu - \lambda)t}$$

$\nu = 1$							
$\alpha_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.1	10000	04065	01652	006721	002732	001110	0004517
0.2	20000	08987	04037	018144	008152	003663	001646
0.3	30000	14897	07398	03674	01824	009039	004499
0.4	40000	21952	12048	06612	03629	01991	01093
0.5	50000	30327	18394	11157	06767	04104	02489
0.6	60000	40219	26960	18072	12114	08120	05443
0.7	70000	51857	38417	28460	21084	15619	11571
0.8	80000	65498	53625	43905	35946	29430	24096
0.9	90000	81435	73686	66674	60329	54588	49393

$\nu = 2$							
$a_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.1	01818	003005	000497				
0.2	06666	01346	002717	0005486	0001108		
0.3	12037	03414	00842	002076	005120	0001263	
0.4	22857	06884	02074	006245	001881	0005666	00017054
0.5	33333	12263	04511	01660	006105	002246	0008263
0.6	45000	20219	09085	04082	01834	008242	003703
0.7	57647	31637	17363	09529	05229	02870	01575
0.8	71111	47687	31952	21418	14857	09624	06451
0.9	83264	69807	57154	46793	38311	31366	25681

$\nu = 1$							
$a_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.1	002827	000248					
0.2	02439	002246	0002029				
0.3	05072	008575	001030	0001286			
0.4	14118	02834	003857	0006376	0001054		
0.5	23684	052846	01179	00293	0005871	0001310	
0.6	35474	10685	03218	009693	002919	0008793	0002618
0.7	44996	20017	08138	03828	01345	005459	002224
0.8	64950	35519	19493	10698	05871	03224	01768
0.9	81706	58540	44841	33219	24809	18231	13506

$\nu = 4$							
$a_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.1	0007944						
0.2	009581	0003905					
0.3	03705	002253	0001370				
0.4	09070	008228	0007464				
0.5	17391	02854	008185	0004311			
0.6	28704	05795	01170	002362	0004769		
0.7	42865	12911	03889	01171	003528	001063	0003200
0.8	59643	26798	12042	05411	02431	01092	00491
0.9	78775	52805	35396	23727	13904	10661	07146

$\nu = 5$							
$a_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.1	0001755						
0.2	003831	00007017					
0.3	02014	0005082					
0.4	05970	002972	0001480				
0.5	13037	01070	0008784				
0.6	23615	03196	004325	0005854			
0.7	37784	08431	01881	004197	0009366	0002089	
0.8	55411	20385	07499	02758	01015	003733	00137
0.9	76249	46247	28051	17014	10319	06255	03796

$\nu = 6$							
$\alpha_x \backslash t$	0	1	2	3	4	5	6
0.3	01115	0001671					
0.4	03995	001092					
0.5	09914	004936	0002458				
0.6	19657	01783	001618	0001468			
0.7	33600	05554	009180	001517	0002508		
0.8	51777	15595	04697	01415	004261	00128	0003866
0.9	74012	40619	22292	12234	06714	03685	02022

Кривые Кроммелина

Кривые Кроммелина $P\{\gamma > t\} = f(t)$, $v = \text{const}$, $\lambda/v = \text{const}$, которые служат для определения в системах с ожиданием при постоянной длительности обслуживания вероятности того, что любой поступивший вызов попадет на ожидание и будет ожидать начала обслуживания больше времени t .

Распределение длительности ожидания в очереди при постоянной длительности занятия и обслуживании вызовов в порядке очереди

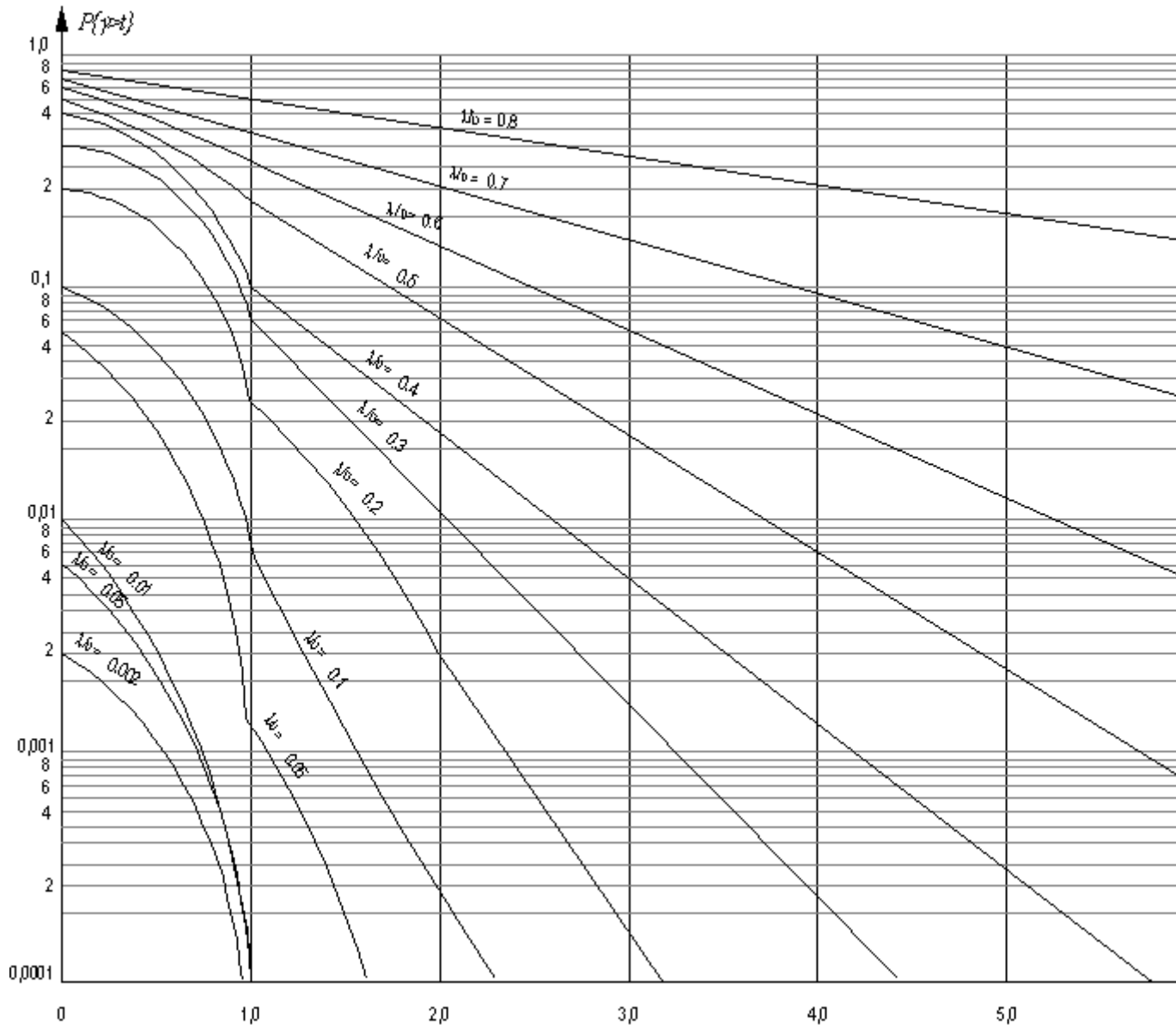


Рис. 5.1. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $v = 1$

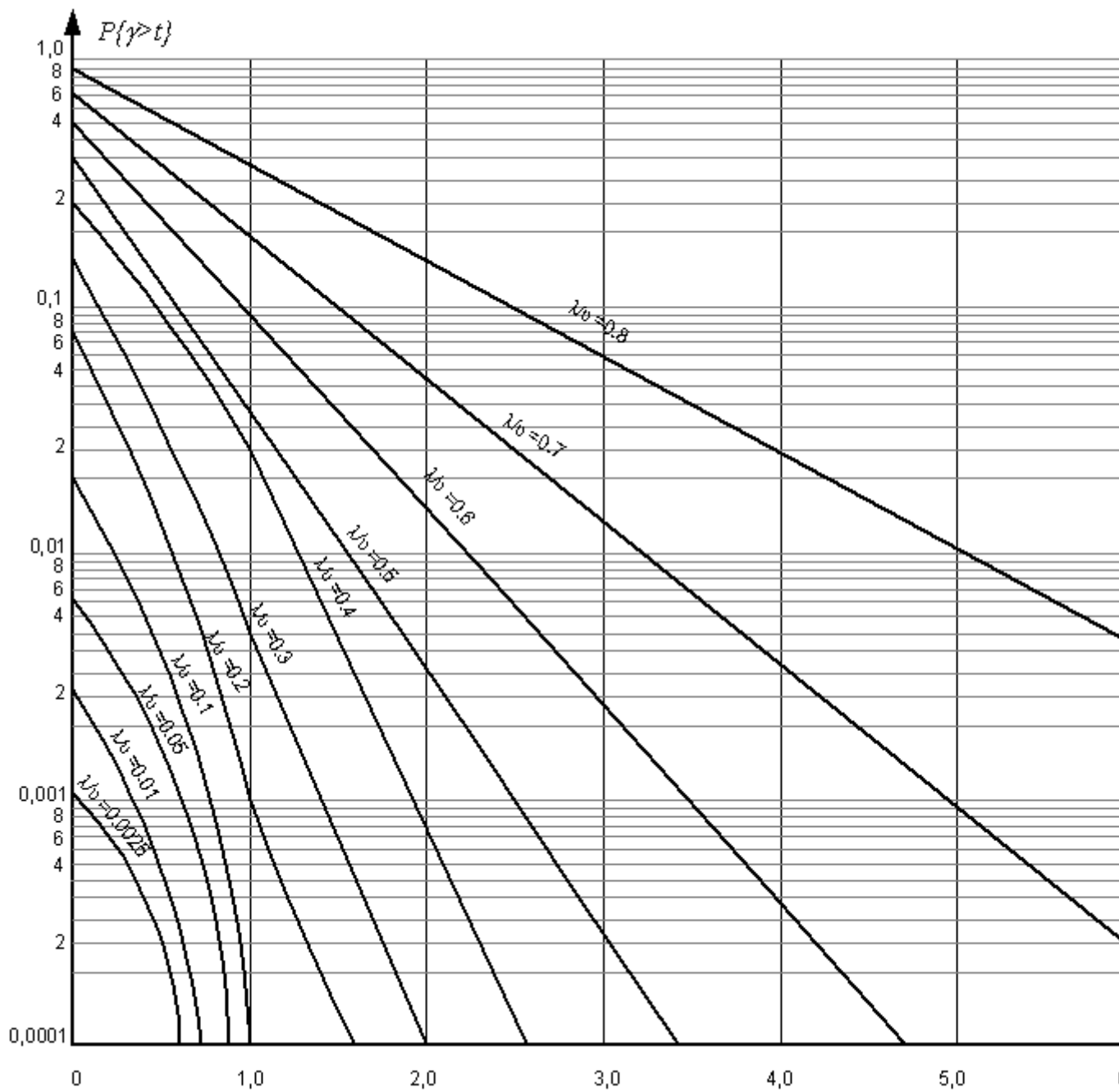


Рис. 5.2. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $\nu = 2$

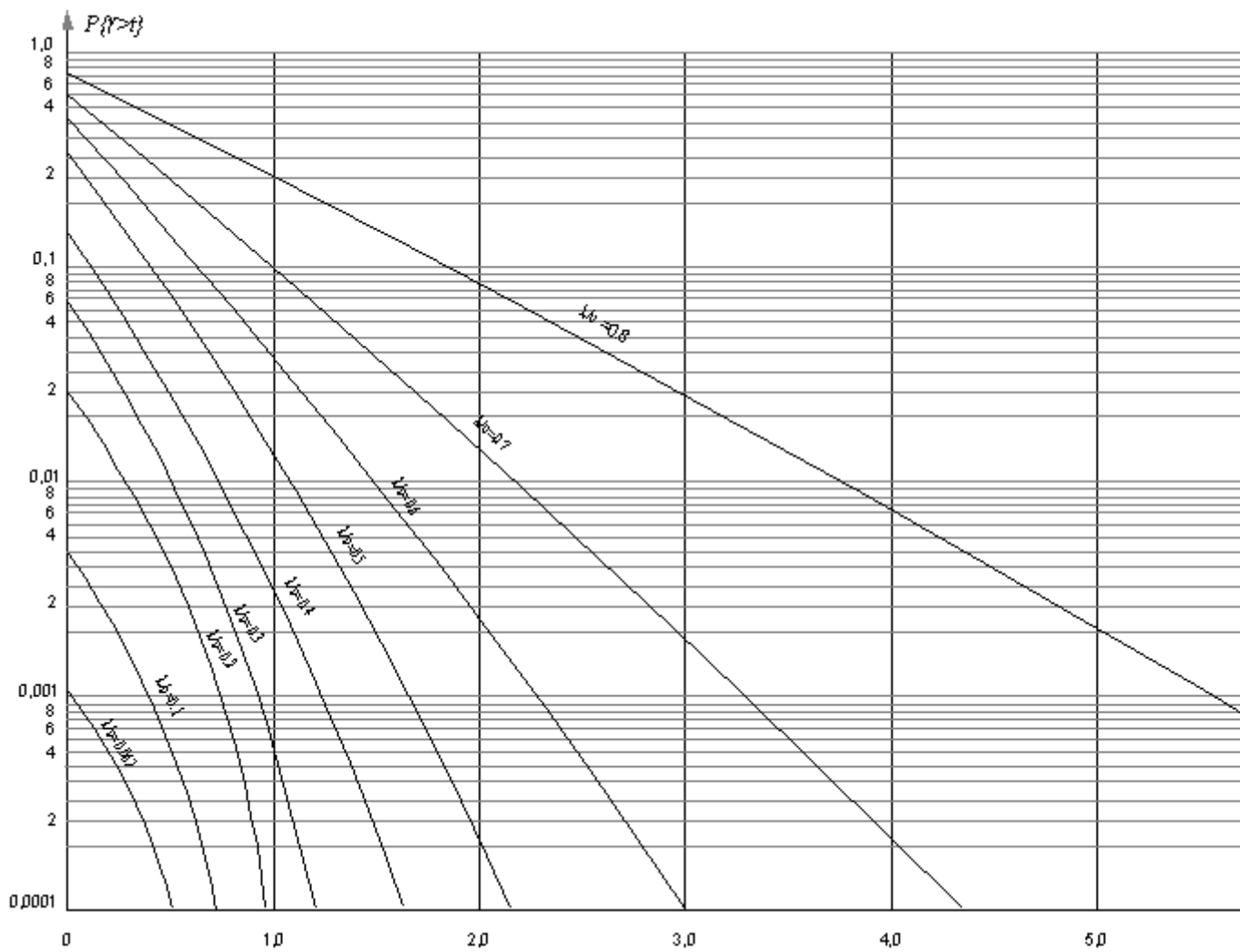


Рис. 5.3. $P\{\gamma>t\} = f(t)$ при $\nu = 3$

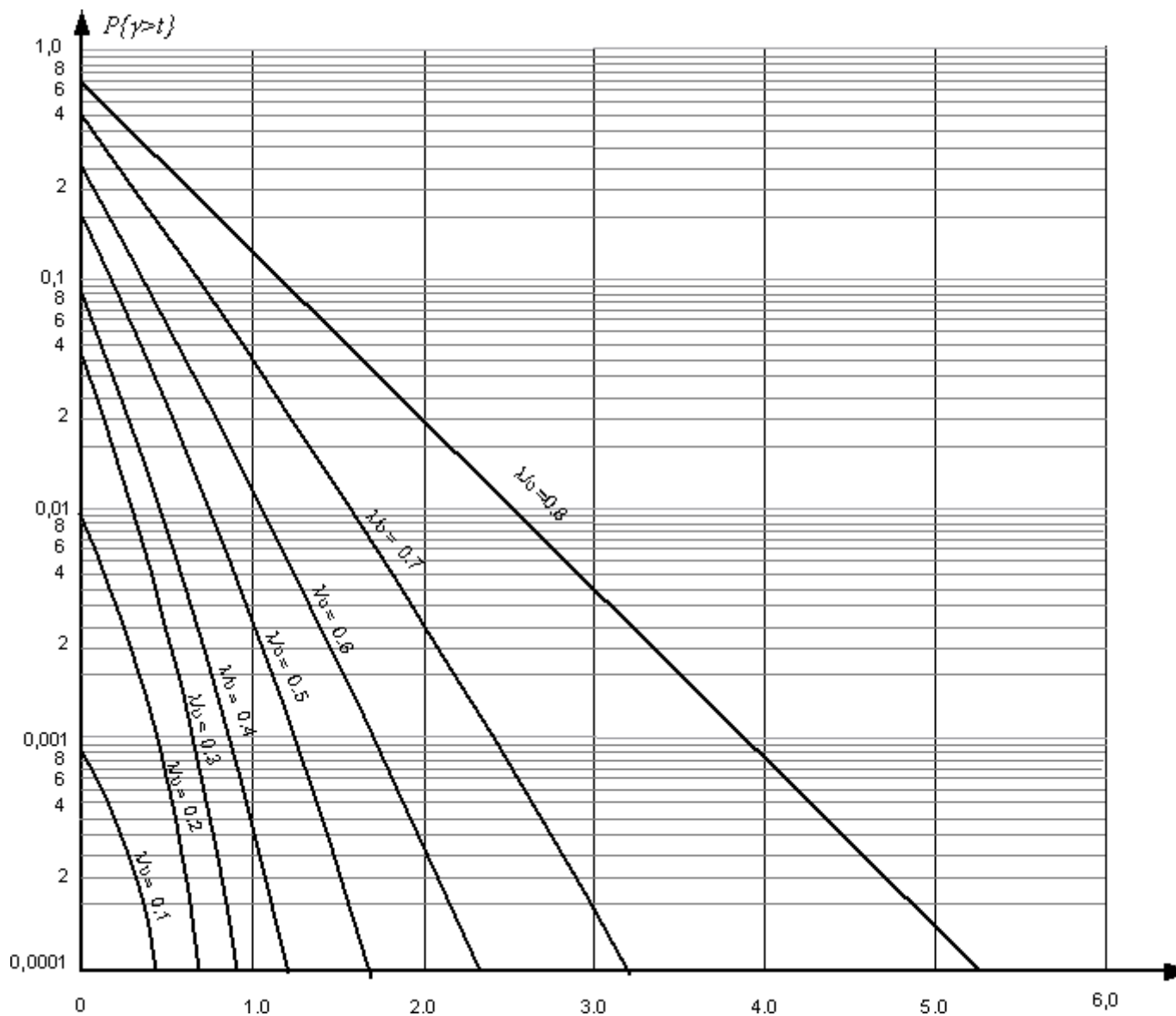


Рис. 5.4. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $\nu = 4$

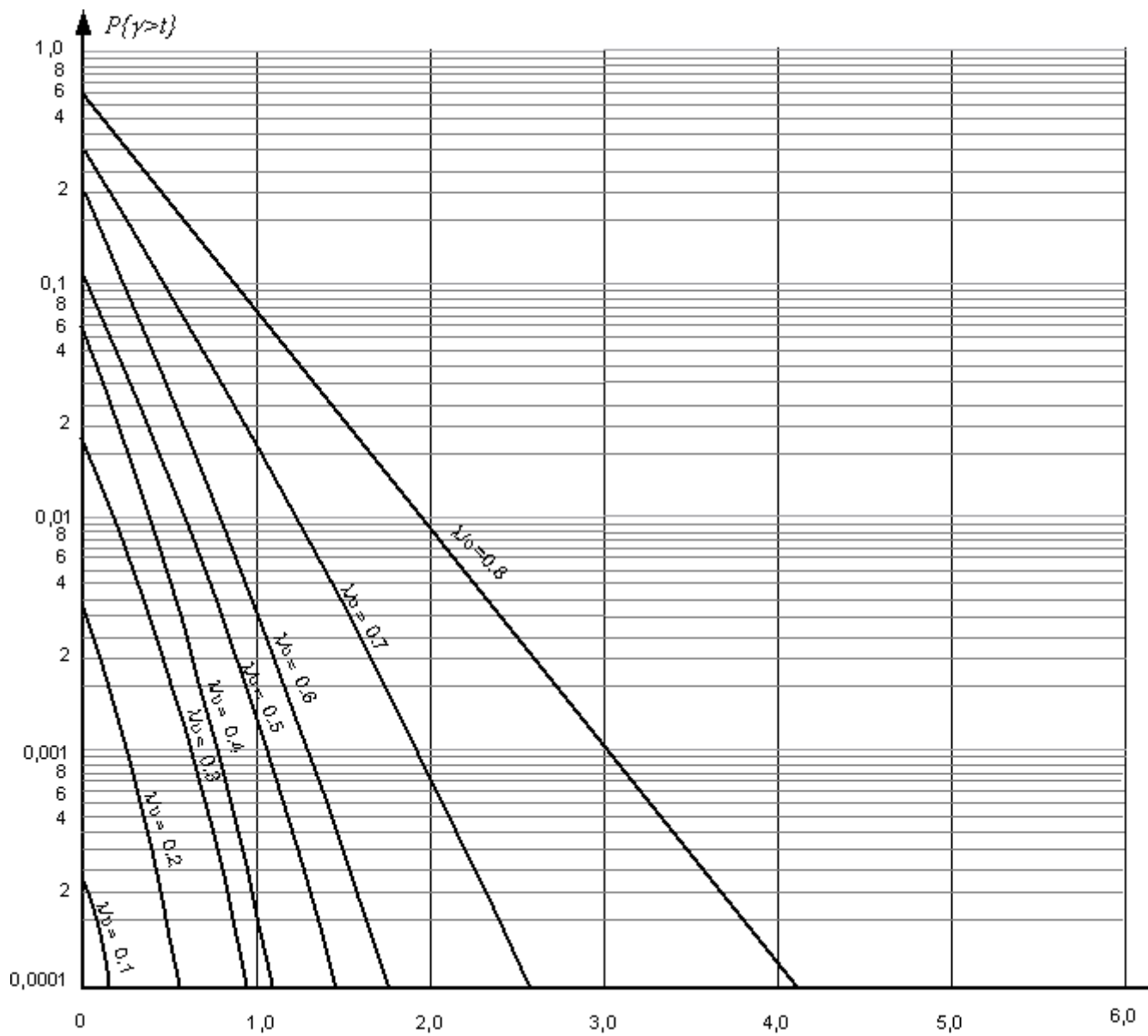


Рис. 5.5. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $\nu = 5$

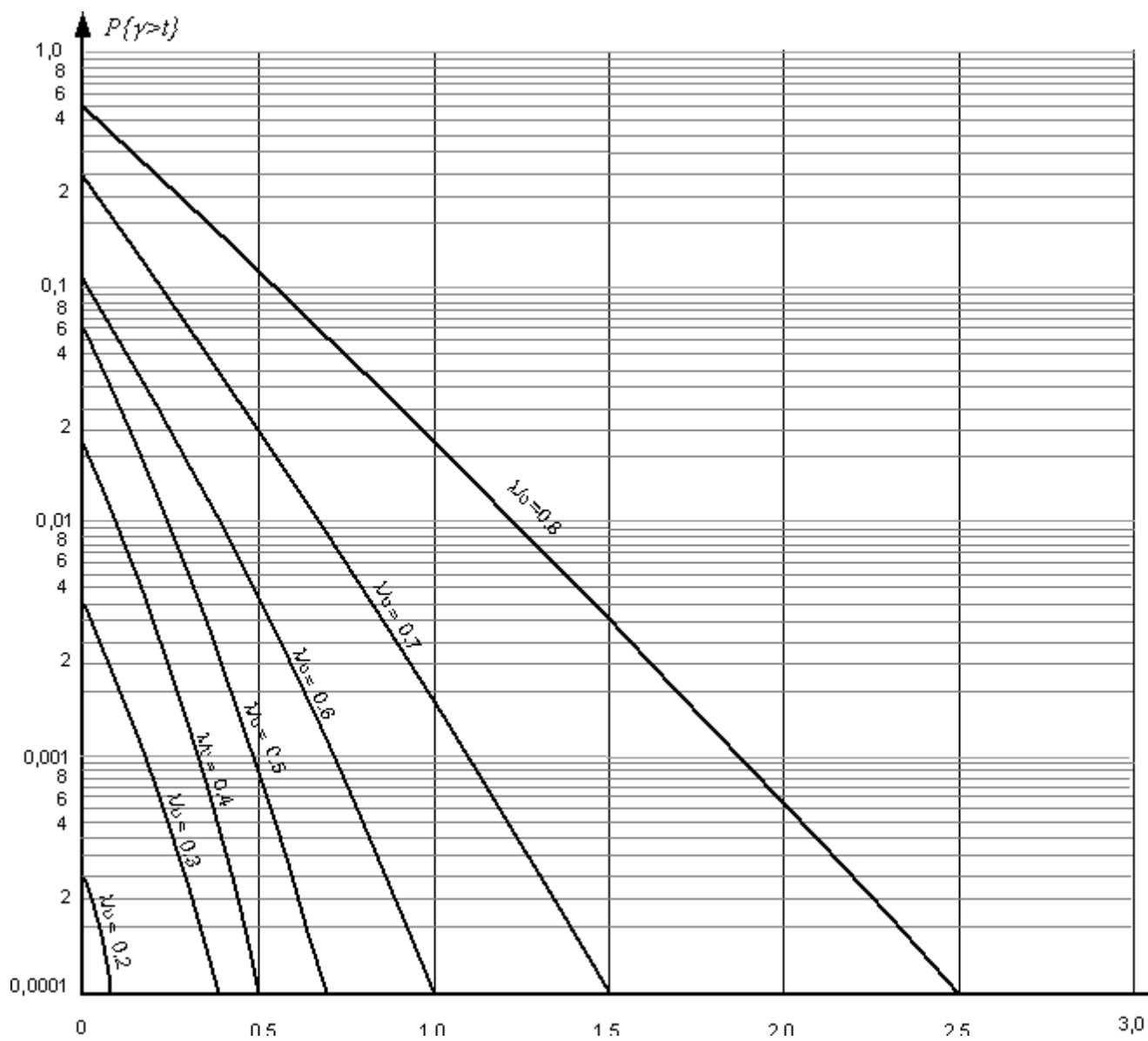
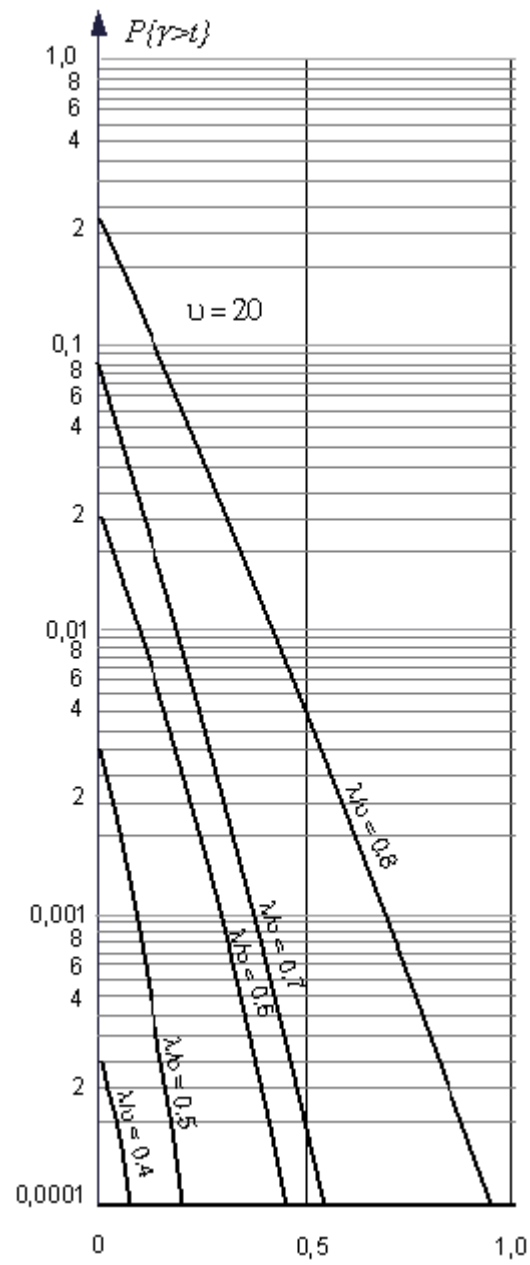


Рис. 5.6. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $\nu = 8$



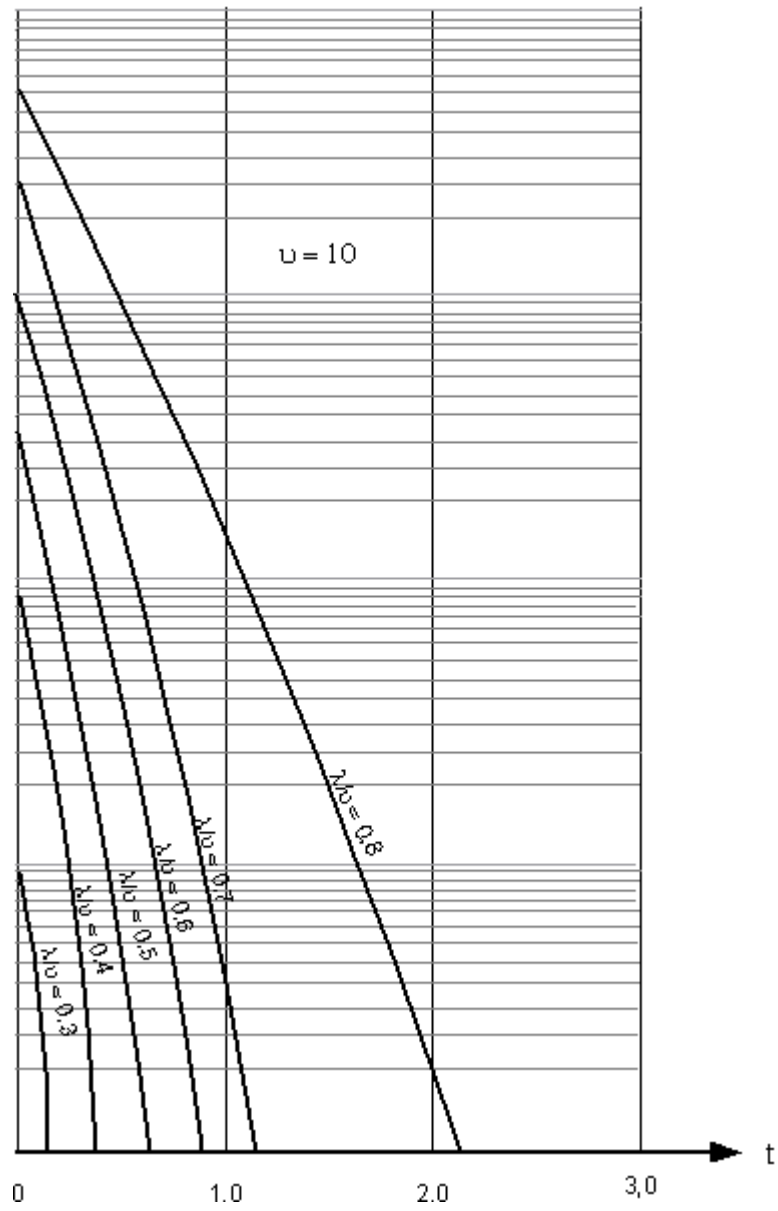


Рис. 5.7. $P\{\gamma > t\} = f(t)$ при $\nu = 10$, $\nu = 20$

Зависимости между математическим ожиданием нагрузки
и ее расчетным значением

Таблица 6.1

Зависимость между значениями y и y_p

y	y_p	y	y_p	y	y_p	y	y_p
0,1	0,313	2,2	3,200	14,0	16,523	80,0	86,029
0,2	0,50	2,4	3,444	16,0	18,697	85,0	91,216
0,3	10,670	2,6	3,687	18,0	20,861	90,0	96,396
0,4	0,826	2,8	3,928	20,0	23,015	95,0	101,571
0,5	0,977	3,0	4,168	25,0	28,371	100,0	106,742
0,6	1,122	3,5	4,761	30,0	33,693	120,0	127,386
0,7	1,264	4,0	5,348	35,0	38,989	150,0	158,257
0,8	1,408	4,5	5,930	40,0	44,263	200,0	209,535
0,9	1,540	5,0	6,508	45,0	49,521	250,0	260,660
1,0	1,674	6,0	7,650	50,0	54,767	300,0	311,681
1,2	1,938	7,0	8,784	55,0	59,999	400,0	413,484
1,4	2,199	8,0	9,906	60,0	65,221	500,0	515,076
1,6	2,433	9,0	11,023	65,0	70,434	600,0	616,515
1,8	2,705	10,0	12,132	70,0	75,541	700,0	717,838
2,0	2,953	12,0	14,385	75,0	80,838	1000,0	1021,320

Таблица 6.2

Зависимость между значениями y_p и y

y	y_p	y	y_p	y	y_p	y	y_p
0,1	0,016	2,2	1,408	14,0	11,694	80,0	74,193
0,2	0,050	2,4	1,556	16,0	13,521	85,0	79,007

0,3	0,094	2,6	1,717	18,0	15,358	90,0	83,827
0,4	0,144	2,8	1,876	20,0	17,204	95,0	88,652
0,5	0,199	3,0	2,038	25,0	21,849	100,0	93,481
0,6	0,258	3,5	2,446	30,0	26,527	120,0	112,838
0,7	0,319	4,0	2,860	35,0	31,232	150,0	141,864
0,8	0,383	4,5	3,278	40,0	35,957	200,0	190,690
0,9	0,448	5,0	3,703	45,0	40,699	250,0	239,565
1,0	0,516	6,0	4,559	50,0	45,454	300,0	288,548
1,2	0,655	7,0	5,429	55,0	50,222	400,0	386,741
1,4	0,798	8,0	6,307	60,0	55,000	500,0	485,150
1,6	0,945	9,0	7,192	65,0	59,787	600,0	583,711
1,8	1,095	10,0	8,083	70,0	64,583	700,0	682,388
2,0	1,247	12,0	9,881	75,0	69,384	1000,0	978,906

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика: учебник. М.: Связь, 1979.

Дополнительная

2. Корнышев Ю.Н., Фань Г.Л. Теория распределения информации: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1985.

3. Лившиц Б.С., Мамонтова Н.П. Теория телефонных сообщений: учеб. пособие / ЛЭИС. Л., 1970.

4. Мамонтова Н.П., Исаев В.И. и др. Применение ЭВМ для расчета систем распределения информации: учеб. пособие / ЛЭИС. Л., 1989.

5. Мамонтова Н.П. Методы расчета сетей связи: учеб. пособие

/ ЛЭИС. Л., 1981.

6. Мамонтова Н.П., Фань Г.Л. Статистическое моделирование коммутационных систем: учеб. пособие / ЛЭИС. Л., 1984.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. М.: Наука, 1969.