

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Транспортний зв'язок»

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ.
ЦИФРОВА КОМУТАЦІЯ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять і самостійної роботи
з дисциплін**

***«СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ В ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ»,
«АВТОМАТИЧНИЙ ТЕЛЕФОННИЙ ЗВ'ЯЗОК»***

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Транспортний зв'язок» 10 вересня 2011 р., протокол № 3.

У методичних вказівках пояснюється розв'язання типових задач, що розглядаються на практичних заняттях з навчальних дисциплін «Системи комутації в електрозв'язку» та «Автоматичний телефонний зв'язок». Також наведено варіанти завдань для самостійного розв'язання. Рекомендуються для студентів спеціалізації 7.092507.03 «Автоматизовані системи технологічного зв'язку на залізничному транспорті» та спеціальності 7.092401 «Телекомунікаційні системи та мережі» всіх форм навчання.

Укладачі:

проф. С.І. Приходько,
доценти О.С. Жученко, М.А. Штомпель,
асист. О.С. Волков

Рецензент

доц. К.С. Клименко

ОСНОВИ ТЕОРІЇ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ. ЦИФРОВА КОМУТАЦІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи
з дисциплін

*«СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ В ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ»,
«АВТОМАТИЧНИЙ ТЕЛЕФОННИЙ ЗВ'ЯЗОК»*

Відповідальний за випуск Жученко О.С.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 09.11.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Українська державна академія залізничного транспорту
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА
ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Транспортний зв'язок»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи з дисциплін

*«СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ В ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ»,
«АВТОМАТИЧНИЙ ТЕЛЕФОННИЙ ЗВ'ЯЗОК»*

з тем «Основи теорії розподілу інформації»,
«Цифрова комутація»

С.І. Приходько, О.С. Жученко, М.А. Штомпель, О.С. Волков

*Декан факультету АТЗ
Завідувач каф. ТЗ
Голова науково-метод. комісії*

*О.М. Прогонний
С.І. Приходько
О.В. Єлізаренко*

Автори:

С.І. Приходько
О.С. Жученко
М.А. Штомпель
О.С. Волков

Харків 2011

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Транспортний зв'язок» 10 вересня 2011 р., протокол № 3.

У методичних вказівках пояснюється розв'язання типових задач, що розглядаються на практичних заняттях з навчальних дисциплін «Системи комутації в електрозв'язку» та «Автоматичний телефонний зв'язок». Також наведено варіанти завдань для самостійного розв'язання. Рекомендуються для студентів спеціалізації 7.092507.03 «Автоматизовані системи технологічного зв'язку на залізничному транспорті» та спеціальності 7.092401 «Телекомунікаційні системи та мережі» всіх форм навчання.

Укладачі:

проф. С.І. Приходько,
доценти О.С. Жученко, М.А. Штомпель,
асист. О.С. Волков

Рецензент

доц. К.С. Клименко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Задачі з теми «Основи теорії розподілу інформації».....	5
2 Задачі з теми «Цифрова комутація».....	49
Список літератури.....	71
Додаток А. Табульована перша формула Ерланга.....	72
Додаток Б. Пропускна спроможність СМО типу М/М/Ν.....	76
Додаток В. Криві Кроммеліна (М/Д/1).....	77
Додаток Г. Таблиця коефіцієнтів для формули БПВ.....	78
Додаток Д. Табульована формула Енгсета.....	79
Додаток Е. Методика оцінки об'єму обладнання вузла комутації.....	80
Додаток Ж. Загальні принципи побудови вузла комутації.....	84
Додаток И. Узагальнений метод імовірнісних графів.....	87

ВСТУП

У методичних вказівках розглядається розв'язання типових задач, що розв'язуються на практичних заняттях і під час самостійної роботи з дисциплін «Системи комутації в електрозв'язку» та «Автоматичний телефонний зв'язок». Для кожної задачі додаються варіанти завдань, які повинні бути вирішені студентами під час самостійної роботи.

Слід зазначити, що вихідні дані варіанта № 0 використовуються у прикладах розв'язання задач.

Задачі, що приведені в методичних вказівках, також можуть бути використані при проведенні поточного контролю знань студентів, модульного контролю та на екзамені.

1 ЗАДАЧІ З ТЕМИ «ОСНОВИ ТЕОРІЇ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ»

Задача 1.1. Визначити ймовірність того, що не надійде ні один виклик та ймовірність того, що надійде більше одного виклику за τ хвилин при надходженні найпростішого потоку викликів з інтенсивністю λ викликів у годину (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	τ , хв	λ , виклик/год	Варіант	τ , хв	λ , виклик/год
0	12	10			
1	13	11	16	15	15
2	14	12	17	10	13
3	15	13	18	11	14
4	16	14	19	12	15
5	17	15	20	13	16
6	18	11	21	14	14
7	19	12	22	15	18
8	20	13	23	20	10
9	21	14	24	21	11
10	22	15	25	22	12
11	10	20	26	23	10
12	11	19	27	24	11
13	12	18	28	17	8
14	13	17	29	18	9
15	14	16	30	19	10

Приклад розв’язання для варіанта № 0.

1 Переводимо хвилини в години: $12 \text{ хв} = 12 / 60 = 1/5 \text{ год}$.

2 Визначаємо ймовірність того, що не надійде жодного виклику:

$$P_0(\tau/60) = \frac{(\lambda \cdot \tau / 60)^0}{0!};$$

$$P_0(1/5) = \frac{(10 \cdot 1/5)^0}{0!} e^{-(10 \cdot 1/5)} = e^{-(10 \cdot 1/5)} = e^{-2} = 0,14.$$

3 Визначаємо ймовірність надходження більше одного виклику:

$$P_{\geq 1}(1/5) = 1 - P_0(1/5) = 1 - P_0(1/5) = 1 - 0,14 = 0,86 .$$

Задача 1.2. На вузол комутації надходять λ викликів на хвилину. Яка ймовірність того, що m або більше викликів надійдуть у довільно обраний інтервал часу тривалістю τ секунд (таблиця 1.2)?

Таблиця 1.2 – Варіанти завдань для самостійного рішення

Варіант	τ , с	λ , виклик/хв	m , виклик	Варіант	τ , с	λ , виклик/хв	m , виклик
0	30	4	8				
1	20	4	5	16	36	10	12
2	25	5	6	17	41	12	11
3	30	6	7	18	44	15	18
4	35	7	8	19	12	20	5
5	40	8	9	20	16	15	5
6	20	5	3	21	22	11	6
7	25	6	4	22	26	10	4
8	30	7	5	23	32	17	12
9	35	8	6	24	36	20	12
10	40	9	7	25	41	2	6
11	12	3	4	26	44	11	6
12	16	10	6	27	20	30	18
13	22	14	13	28	25	24	15
14	26	11	13	29	30	8	10
15	32	15	12	30	35	13	10

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Визначаємо середню кількість викликів, що надійшли за інтервал часу тривалістю в τ секунд:

$$\bar{m} = \lambda\tau = 4 \cdot \frac{30}{60} = 2 .$$

2. Визначаємо ймовірність надходження m або більшої кількості викликів (при середньому числі викликів – \bar{m}):

$$P_{\geq m}(\bar{m}) = \sum_{i=m}^{\infty} P_i(\bar{m}) = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} P_i(\bar{m}) =$$

$$= 1 - e^{-\bar{m}} \left(1 + \frac{\bar{m}^1}{1!} + \frac{\bar{m}^2}{2!} + \frac{\bar{m}^3}{3!} + \dots + \frac{\bar{m}^7}{7!} \right);$$

$$P_{\geq 8}(2) = 1 - e^{-2} \left(1 + \frac{2^1}{1!} + \frac{2^2}{2!} + \frac{2^3}{3!} + \dots + \frac{2^7}{7!} \right) = 0,0011.$$

Задача 1.3. Вузол комутації має шість каналів. Час зайняття i -го каналу – τ_i . Знайти навантаження, яке було обслужено вузлом комутації (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	τ_1 , хв	τ_2 , хв	τ_3 , хв	τ_4 , хв	τ_5 , хв	τ_6 , хв
1	2	3	4	5	6	7
0	30	15	15			
1	10	15	15	20	0	0
2	12	13	15	0	0	0
3	20	20	5	10	0	0
4	8	12	9	10	5	0
5	5	5	15	8	8	4
6	4	4	10	10	5	0
7	20	10	5	0	0	0
8	2	2	10	20	0	0
9	10	10	4	5	16	0
10	7	7	6	15	10	4
11	12	12	8	20	0	0
12	25	10	5	0	0	0
13	5	8	8	15	0	0
14	3	3	14	10	16	0
15	9	8	6	7	10	10
16	12	13	15	10	5	0
17	25	10	10	0	0	0
18	13	15	10	18	0	0

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7
19	9	9	12	5	5	0
20	8	8	8	2	12	10
21	16	16	8	8	2	0

22	22	15	15	0	0	0
23	7	8	15	10	0	0
24	2	2	2	10	25	0
25	6	5	5	10	10	12
26	20	20	8	9	0	0
27	15	25	10	0	0	0
28	14	14	20	10	0	0
29	8	9	6	6	10	0
30	10	12	15	17	3	3

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Переводимо хвилини в години:

$$30 \text{ хв} = 0,5 \text{ год}; 15 \text{ хв} = 0,25 \text{ год}.$$

2 Знаходимо навантаження, яке було обслужено вузлом комутації:

$$Y(\Delta) = 1 \text{ заняття} \times 0,5 \text{ год} + 2 \text{ заняття} \times 0,25 \text{ год} = \\ = 1 \text{ год заняття}.$$

Задача 1.4. Визначити інтенсивність навантаження, що створюється телефонними апаратами, використовуючи дані з таблиці 1.4. Середнє число викликів у годину з одного телефонного апарата: квартирний – $k_{\text{кв}}$; таксофона – $k_{\text{такс}}$; відомчого – $k_{\text{від}}$. Середня тривалість розмови в секундах: квартирний – $\tau_{\text{кв}}$, таксофона – $\tau_{\text{такс}}$, відомчого – $\tau_{\text{від}}$.

Таблиця 1.4 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$k_{\text{КВ}}$, ВИКЛИК/ ГОД	$k_{\text{ТАКС}}$, ВИКЛИК/ГОД	$k_{\text{ВІД}}$, ВИКЛИК/ГОД	$\tau_{\text{КВ}}$, С	$\tau_{\text{ТАКС}}$, С	$\tau_{\text{ВІД}}$, С
0	2	15	5	200	120	150
1	3	10	5	300	120	150
2	4	11	6	300	120	150
3	5	5	6	300	120	150
4	9	4	2	300	120	150
5	3	14	2	300	120	150
6	3	10	5	110	160	200
7	4	11	6	110	160	200
8	5	5	6	110	160	200
9	9	4	2	110	160	200
10	3	4	12	110	160	200
11	4	9	11	100	130	170
12	5	8	10	100	130	170
13	6	7	9	100	130	170
14	7	6	8	100	130	170
15	8	5	10	100	130	170
16	5	4	8	250	100	130
17	5	6	9	250	100	130
18	7	5	9	250	100	130
19	8	3	2	250	100	130
20	2	10	12	250	100	130
21	4	7	11	160	80	200
22	3	10	11	160	80	200
23	3	7	5	160	80	200
24	3	8	10	160	80	200
25	6	2	11	160	80	200
26	16	2	8	90	140	180
27	13	3	9	90	140	180
28	11	6	9	90	140	180
29	8	15	3	90	140	180
30	7	12	4	90	140	180

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Визначаємо інтенсивність навантаження квартирною телефонною апарату:

$$Y_{\text{кв.}} = \frac{k_{\text{кв.}} \cdot \tau_{\text{кв.}}}{3600} = \frac{2 \cdot 200}{3600} = 0,11 \text{ Ерл.}$$

2 Визначаємо інтенсивність навантаження таксофона:

$$Y_{\text{такс.}} = \frac{k_{\text{такс.}} \cdot \tau_{\text{такс.}}}{3600} = \frac{15 \cdot 120}{3600} = 0,5 \text{ Ерл.}$$

3 Визначаємо інтенсивність навантаження відомчого телефонною апарату:

$$Y_{\text{від.}} = \frac{k_{\text{від.}} \cdot \tau_{\text{від.}}}{3600} = \frac{5 \cdot 150}{3600} = 0,21 \text{ Ерл.}$$

Задача 1.5. Ємність АТС складає M абонентів. Інтенсивність навантаження, що надходить від одного абонента, – Y_1 Ерл. Визначити інтенсивність навантаження, що надходить на АТС від усіх абонентів (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	M , абон.	Y_1 , Ерл	Варіант	M , абон.	Y_1 , Ерл
0	700	0,21			
1	650	0,3	16	460	0,38
2	600	0,35	17	490	0,78
3	550	0,42	18	530	0,63
4	500	0,46	19	560	0,39
5	450	0,53	20	590	0,71
6	400	0,5	21	630	0,56
7	350	0,67	22	670	0,74
8	300	0,71	23	690	0,29
9	250	0,58	24	720	0,32
10	700	0,6	25	740	0,8
11	750	0,71	26	220	0,76
12	270	0,43	27	340	0,69
13	310	0,67	28	470	0,57
14	360	0,49	29	510	0,87
15	420	0,59	30	620	0,49

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

$$Y_{\text{кв.}} = M \cdot Y_1 = 700 \cdot 0,21 = 147 \text{ Ерл.}$$

Задача 1.6. Інтенсивність навантаження, обслуженого з'єднувальною лінією, дорівнює $Y_{\text{зл}}$ Ерл. Інтенсивність надходження викликів складає $\lambda_{\text{зл}}$ викликів у годину. Визначити середню тривалість одного зайняття $\bar{T}_{\text{зайн.}}$ (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант т	$\lambda_{\text{зл}}$, виклик/год	$Y_{\text{зл}}$, Ерл	Варіант т	$\lambda_{\text{зл}}$, виклик/год	$Y_{\text{зл}}$, Ерл
0	35	0,7			
1	65	0,3	16	46	0,38
2	60	0,35	17	49	0,78
3	55	0,42	18	53	0,63
4	50	0,46	19	56	0,39
5	45	0,53	20	59	0,71
6	40	0,5	21	63	0,56
7	35	0,67	22	67	0,74
8	30	0,71	23	69	0,29
9	25	0,58	24	72	0,32
10	70	0,6	25	74	0,8
11	75	0,71	26	22	0,76
12	27	0,43	27	34	0,69
13	31	0,67	28	47	0,57
14	36	0,49	29	51	0,87
15	42	0,59	30	62	0,49

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

$$\bar{T}_{\text{зайн.}} = Y_{\text{зл}} / \lambda_{\text{зл}} = 0,7 / 35 = 0,02 \text{ год} = 72 \text{ с.}$$

Задача 1.7. На пучок каналів надходить найпростіший потік викликів з інтенсивністю λ викликів у хвилину, а середня тривалість зайняття дорівнює $\bar{T}_{\text{зайн.}}$ (таблиця 1.7). Припустимо, що кількості каналів у цьому пучку достатньо, щоб негайно обслужити все навантаження, що надходить (втрати відсутні).

Визначити, скільки відсотків загального навантаження буде обслужено першими m каналами і скільки відсотків загального

навантаження буде обслужено іншими каналами (припустити, що навантаження завжди розподіляється, починаючи з каналу з меншим номером).

Таблиця 1.7 – Варіанти завдань для самостійного рішення

Варіант	λ , виклик/х в	$T_{\text{зайн}}$, хв	m , кана л	Варіан т	λ , виклик/х в	$T_{\text{зайн}}$, хв	m , кана л
0	1	2	5				
1	2	3	4	16	2	3	9
2	2	2	4	17	1	7	9
3	1	4	3	18	5	3	9
4	5	2	6	19	5	2	7
5	4	2	5	20	3	2	7
6	4	3	5	21	1	6	7
7	3	3	7	22	2	4	5
8	3	5	8	23	3	4	5
9	2	5	3	24	1	3	5
10	7	2	8	25	1	8	4
11	1	3	8	26	2	5	4
12	2	4	6	27	3	4	9
13	3	5	8	28	4	2	6
14	3	2	8	29	1	7	6
15	4	1	3	30	2	4	8

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надходить на пучок каналів, $Y_{\text{надх}}$:

$$Y_{\text{надх}} = \lambda T_{\text{зайн}} = 1 \text{ виклик/хв} \cdot 2 \text{ хв} = 2 \text{ Ерл} .$$

2 Інтенсивність навантаження, що буде обслужено i каналами, дорівнює точно i Ерл. Отже, інтенсивність навантаження, що буде обслужено першими 5 каналами, визначається таким чином:

$$\begin{aligned}
Y_5 &= \sum_{i=1}^5 iP_i(Y_{\text{надх.}}) = 1P_1(Y_{\text{надх.}}) + 2P_2(Y_{\text{надх.}}) + \\
&+ 3P_3(Y_{\text{надх.}}) + 4P_4(Y_{\text{надх.}}) + 5P_5(Y_{\text{надх.}}) = \\
&= e^{-Y_{\text{надх.}}} \left(1 \cdot \frac{Y_{\text{надх.}}^1}{1!} + 2 \cdot \frac{Y_{\text{надх.}}^2}{2!} + 3 \cdot \frac{Y_{\text{надх.}}^3}{3!} + 4 \cdot \frac{Y_{\text{надх.}}^4}{4!} + 5 \cdot \frac{Y_{\text{надх.}}^5}{5!} \right); \\
Y_5 &= \sum_{i=1}^5 iP_i(Y_{\text{надх.}}) = 1P_1(2) + 2P_2(2) + 3P_3(2) + 4P_4(2) + 5P_5(2) = \\
&= e^{-2} \left(1 \cdot \frac{2^1}{1!} + 2 \cdot \frac{2^2}{2!} + 3 \cdot \frac{2^3}{3!} + 4 \cdot \frac{2^4}{4!} + 5 \cdot \frac{2^5}{5!} \right) = 1,89 \text{ Ерл.}
\end{aligned}$$

Всі канали, що залишилися, обслужать $Y_{\text{надх.}} - Y_5 = 2 \text{ Ерл} - 1,89 \text{ Ерл} = 0,11 \text{ Ерл}$. Таким чином, перші п'ять каналів обслуговують 94,5 % навантаження, у той час, як інші канали - тільки 5,5 %.

Задача 1.8. Розрахувати навантаження та інтенсивність навантаження, що надійшли на АТС, якщо за N_T годин на АТС надійшло $N_{\text{викл.}}$ викликів від абонентів з телефонними апаратами з імпульсним (час набору однієї цифри номера – $\bar{t}_{\text{наб. 1 зн.}} = 1,2 \text{ с}$) чи тональним (час набору однієї цифри телефонного номера – $\bar{t}_{\text{наб. 1 зн.}} = 0,4 \text{ с}$) способами набору номера та середньою довжиною розмови $\bar{T}_{\text{розм.}}$. На АТС використовуються номери з кількістю знаків – $N_{\text{зн.}}$. Також відомий середній час слухання відповіді станції $\bar{t}_{\text{сл. відп. станц.}}$ і середній час послілки сигналу виклику $\bar{t}_{\text{пос. викл.}}$ (таблиця 1.8). При розрахунках вважати, що розмова відбулася для кожного виклику.

Таблиця 1.8 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$\bar{t}_{\text{сл. відп. станц.}}$, с	$\bar{t}_{\text{наб. 1 зн.}}$, с	$\bar{t}_{\text{пос. викл.}}$, с	$\bar{T}_{\text{розм.}}$, с	N_T , го д	$N_{\text{викл.}}$, викли к	$N_{\text{зн.}}$ знак нумераці і
0	2	1,2	20	120	4	500	3
1	2	1,2	30	100	2	300	3
2	2	1,2	30	100	3	350	4
3	2	1,2	30	100	4	400	5
4	2	1,2	30	100	5	450	3

Варіант	$\bar{t}_{\text{сл. відп. станц.}}$, с	$\bar{t}_{\text{наб. 1 зн.}}$, с	$\bar{t}_{\text{пос. викл.}}$, с	$\bar{T}_{\text{розм.}}$ с	$N_{\text{Г,}}$ ГО Д	$N_{\text{викл.,}}$ ВИКЛИ К	$N_{\text{зн,}}$ знак нумераці ї
5	2	1,2	30	100	2	500	4
6	3	0,4	25	110	3	550	5
7	3	0,4	25	110	4	600	3
8	3	0,4	25	110	5	300	4
9	3	0,4	25	110	2	350	5
10	3	0,4	25	110	3	400	3
11	4	1,2	20	120	4	450	4
12	4	1,2	20	120	5	500	5
13	4	1,2	20	120	2	550	3
14	4	1,2	20	120	3	600	4
15	4	1,2	20	120	4	300	5
16	2	0,4	30	130	5	350	3
17	2	0,4	30	130	2	400	4
18	2	0,4	30	130	3	450	5
19	2	0,4	30	130	4	500	3
20	2	0,4	30	130	5	550	4
21	3	1,2	25	140	2	600	5
22	3	1,2	25	140	3	300	3
23	3	1,2	25	140	4	350	4
24	3	1,2	25	140	5	400	5
25	3	1,2	25	140	2	450	3
26	4	0,4	20	120	3	500	4
27	4	0,4	20	120	4	550	5
28	4	0,4	20	120	5	600	3
29	4	0,4	20	120	2	300	4
30	4	0,4	20	120	3	350	5

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Якщо розмова відбулася, то середній час зайняття можна знайти за такою формулою:

$$\bar{t}_p = \bar{t}_{\text{сл. відп. станц.}} + \bar{t}_{\text{вст. з'єдн.}} + \bar{t}_{\text{пос. викл.}} + \bar{T}_{\text{розм.}} + \bar{t}_{\text{звіл. пр. ком.}}$$

де $\bar{t}_{\text{вст. з'єдн.}}$ – середня тривалість встановлення з'єднання (залежить від часу набору цифри телефонного номера, їх кількості та середньої тривалості встановлення з'єднання крізь комутаційні пристрої АТС);

$\bar{t}_{\text{зв'їл. пр. ком.}}$ – середня тривалість повернення комутаційних пристроїв АТС у вихідний стан після відбою (звичайно близька до нуля, тому приймаємо, що $\bar{t}_{\text{зв'їл. пр. ком.}} \approx 0$).

2 Знаходимо середній час встановлення з'єднання та середній час зайняття:

$$\begin{aligned}\bar{t}_{\text{вст. з'єдн.}} &= \bar{t}_{\text{наб. л. зн.}} \cdot N_{\text{зн.}} = 1,2 \text{ с} \cdot 3 = 3,6 \text{ с}; \\ \bar{t}_{\text{р}} &= \bar{t}_{\text{сл. відп. станц.}} + \bar{t}_{\text{вст. з'єдн.}} + \bar{t}_{\text{пос. викл.}} + \bar{T}_{\text{розм.}} = \\ &= 2 \text{ с} + 3,6 \text{ с} + 20 \text{ с} + 120 \text{ с} = 145,6 \text{ с}.\end{aligned}$$

3 Знаходимо навантаження, що надійшло до АТС за $N_{\text{Г}}$ годин:

$$\begin{aligned}Y(N_{\text{Г}}) &= \frac{N_{\text{викл.}} \cdot \bar{t}_{\text{р}}}{3600 \text{ с}}; \\ Y(4 \text{ год}) &= 500 \text{ виклик} \cdot \frac{145,6 \text{ с}}{3600 \text{ с}} = 20,2 \text{ год зайняття}.\end{aligned}$$

4 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надійшло до АТС:

$$Y = \frac{Y(N_{\text{Г}})}{N_{\text{Г}}} = \frac{Y(4 \text{ год})}{4 \text{ год}} = \frac{20,2}{4} = 5,05 \text{ Ерл}.$$

Задача 1.9. Дві АТС з'єднані між собою пучком з V з'єднувальних ліній (таблиця 1.9). Чому дорівнює інтенсивність навантаження, обслуженого пучком з V з'єднувальних ліній, при ймовірності блокування $P_{\text{блок.}}$? Яка інтенсивність навантаження надходить до пучка з'єднувальних ліній при такому значенні ймовірності блокування?

Таблиця 1.9 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	V , канал	$P_{\text{блок.}}$	Варіант	V , канал	$P_{\text{блок.}}$
0	24	0,1			
1	10	0,1	16	82	0,1
2	16	0,02	17	90	0,2

Варіант	V , канал	$P_{\text{блок.}}$	Варіант	V , канал	$P_{\text{блок.}}$
3	20	0,001	18	94	0,4
4	26	0,00001	19	14	0,02
5	30	0,0001	20	12	0,001
6	36	0,002	21	18	0,00001
7	40	0,003	22	52	0,0001
8	44	0,004	23	22	0,002
9	50	0,005	24	24	0,003
10	54	0,006	25	26	0,004
11	60	0,007	26	28	0,005
12	62	0,009	27	32	0,006
13	70	0,02	28	38	0,007
14	72	0,03	29	48	0,009
15	80	0,05	30	46	0,05

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1. Знаходимо за допомогою табульованої першої формули Ерланга (таблиця А.1) інтенсивність навантаження $Y_{\text{надх}}$, що надійшло до пучка з $V = 24$ каналів при ймовірності блокування $P_{\text{блок.}} = 0,1$ — $Y_{\text{надх.}} = 21,78$ Ерл.

2 Знаходимо інтенсивність обслуженого навантаження:

$$Y_{\text{обсл.}} = Y_{\text{надх.}} (1 - P_{\text{блок.}}) = 21,78 \cdot (1 - 0,1) = 19,6 \text{ Ерл.}$$

Задача 1.10. Інтенсивність навантаження, що надходить на пучок каналів ємністю V , дорівнює $Y_{\text{надх}}$ (таблиця 1.10). Скільки відсотків інтенсивності навантаження буде обслужено першими m каналами? Чому дорівнює інтенсивність втраченого навантаження?

Таблиця 1.10 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	V , канал	$Y_{\text{надх}}$, Ерл	m , канал	Варіант	V , канал	$Y_{\text{надх}}$, Ерл	m , канал
0	10	2	5				
1	5	1	4	16	10	3	6
2	6	2	4	17	11	1	6

3	7	3	4	18	12	3	6
4	8	4	4	19	13	2	6
5	9	5	4	20	14	4	6
6	10	1	5	21	11	5	5
7	11	2	5	22	6	4	5
8	12	3	5	23	7	2	5
9	13	4	5	24	8	3	5
10	14	5	5	25	9	1	5
11	5	3	3	26	10	5	7
12	6	4	3	27	11	4	7
13	7	5	3	28	12	2	7
14	8	2	3	29	13	1	7
15	9	1	3	30	14	4	7

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знайдемо розподіл ймовірностей зайняття 10 каналів пучка:

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^V \frac{Y_{\text{надх}}^i}{i!} \right]^{-1} = \left(\frac{Y_{\text{надх}}^0}{0!} + \frac{Y_{\text{надх}}^1}{1!} + \frac{Y_{\text{надх}}^2}{2!} + \dots + \frac{Y_{\text{надх}}^{10}}{10!} \right)^{-1};$$

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{10} \frac{2^i}{i!} \right]^{-1} = \left(\frac{2^0}{0!} + \frac{2^1}{1!} + \frac{2^2}{2!} + \dots + \frac{2^{10}}{10!} \right)^{-1} \approx 0,135; P_1 = \frac{Y_{\text{надх}}^1}{1!} P_0 = \frac{2^1}{1!} P_0 \approx 0,27;$$

$$P_2 = \frac{Y_{\text{надх}}^2}{2!} P_0 = \frac{2^2}{2!} P_0 \approx 0,27; P_3 = \frac{Y_{\text{надх}}^3}{3!} P_0 = \frac{2^3}{3!} P_0 \approx 0,18;$$

$$P_4 = \frac{Y_{\text{надх}}^4}{4!} P_0 = \frac{2^4}{4!} P_0 \approx 0,09; P_5 = \frac{Y_{\text{надх}}^5}{5!} P_0 = \frac{2^5}{5!} P_0 \approx 0,036.$$

2 Інтенсивність навантаження, що обслужено i каналами, дорівнює точно i Ерл. Отже, середню інтенсивність навантаження, що обслужено першими m каналами, визначимо як

$$Y_m = \sum_{i=1}^m iP_i; Y_5 = \sum_{i=1}^5 iP_i = 1P_1(2) + 2P_2(2) + 3P_3(2) + 4P_4(2) + 5P_5(2) \approx 1,89 \text{ Ерл.}$$

Таким чином, перші п'ять каналів обслуговують 94,5 % значення інтенсивності навантаження, що надходить.

3 Знайдемо інтенсивність втраченого навантаження:

$$Y_{\text{втрач}} = Y_{\text{надх}} E_V(Y) = Y_{\text{надх}} P_{10};$$

$$P_{10} = \frac{Y_{\text{надх}}^{10}}{10!} P_0 = \frac{2^{10}}{10!} P_0 \approx 3,8 \cdot 10^{-5};$$

$$Y_{\text{втрач}} = Y_{\text{надх}} P_{10} = 2 \cdot 3,8 \cdot 10^{-5} = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ерл.}$$

4 Знайдемо інтенсивність навантаження, обслуженого пучком ліній:

$$Y_{\text{обсл}} = \bar{N}_{\text{зайн.}} = Y_{\text{надх}} (1 - E_V(Y)) = 2(1 - 3,8 \cdot 10^{-5}) \approx 1,999924 \text{ Ерл.}$$

Використання вихідних каналів складе

$$\rho = \frac{Y_{\text{надх}} (1 - E_V(Y))}{V} = \frac{Y_{\text{обсл}}}{V} = \frac{1,999924}{10} \approx 0,19999.$$

Примітка. У зв'язку з дуже низькою ймовірністю блокування ($3,8 \cdot 10^{-5}$) результати цієї задачі близькі до результатів, отриманих у ході розв'язання задачі 1.7.

Задача 1.11. Нехай $N_{\text{гр}}$ груп абонентських терміналів по $N_{\text{ат}}$ терміналів у кожній групі можуть бути з'єднані з комутатором так, як показано на рисунку 1.1. На рисунку 1.1, *а* навантаження від групи терміналів до комутатора надходить по декількох спільно використовуваних каналах – $N_{\text{кан. 1 гр.}}$. На рисунку 1.1, *б* навантаження від всіх терміналів концентрується й передається по одній загальній групі каналів до комутатора – $N_{\text{кан. заг. гр.}}$.

Визначити загальну кількість каналів $N_{\text{кан.}}$, необхідних в обох випадках, якщо ймовірність блокування не повинна перевищувати $P_{\text{блок.}}$, а інтенсивність навантаження, що надходить від кожного абонентського терміналу, становить $Y_{\text{надх}}$ Ерл (таблиця 1.11).

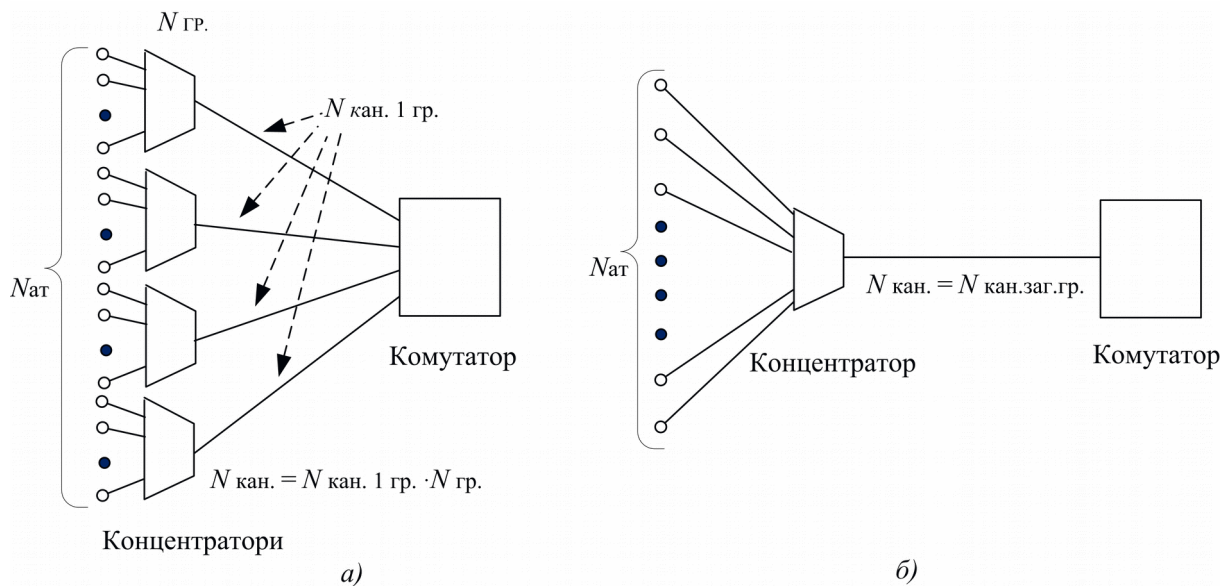


Рисунок 1.1 – Варіанти підключення абонентських терміналів до комутатора

Таблиця 1.11 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$N_{ат},$ термі- нал	$Y_{надх},$ Ерл	$N_{гр},$ груп а	$P_{блок.}$	Варіант	$N_{ат},$ термі- нал	$Y_{надх},$ Ерл	$N_{гр},$ груп а	$P_{блок.}$
0	22	0,1	4	0,05					
1	20	0,2	4	0,05	16	23	0,2	3	0,2
2	25	0,2	5	0,05	17	28	0,2	4	0,2
3	30	0,2	6	0,05	18	33	0,2	5	0,2
4	35	0,2	7	0,05	19	38	0,2	6	0,2

Варіант	$N_{ат, термінал}$	$Y_{надх, Ерл}$	$N_{гр, група}$	$P_{блок.}$	Варіант	$N_{ат, термінал}$	$Y_{надх, Ерл}$	$N_{гр, група}$	$P_{блок.}$
5	38	0,2	4	0,05	20	45	0,2	7	0,2
6	20	0,3	5	0,1	21	23	0,3	4	0,001
7	25	0,3	6	0,1	22	28	0,3	5	0,001
8	30	0,3	7	0,1	23	33	0,3	6	0,001
9	34	0,3	3	0,1	24	29	0,3	7	0,001
10	40	0,3	5	0,1	25	25	0,3	3	0,001
11	20	0,1	6	0,15	26	23	0,1	5	0,005
12	25	0,1	7	0,15	27	28	0,1	6	0,005
13	21	0,1	3	0,15	28	33	0,1	7	0,005
14	25	0,1	4	0,15	29	38	0,1	3	0,005
15	33	0,1	3	0,15	30	45	0,1	4	0,005

Приклад розв’язання для варіанта № 0 (рисунок 1.1, а).

1 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надходить від кожної групи з 22 терміналів: $Y'_{надх} = N_{ат} \cdot Y_{надх} = 22 \cdot 0,1 = 2,2$ Ерл.

2 Використовуючи табульовану першу формулу Ерланга (таблиця А.1), знаходимо таку кількість каналів, щоб при інтенсивності навантаження, що надходить, $Y_{надх.} = 2,2$ Ерл ймовірність блокування не перевищувала $P_{блок.} = 0,05$. Знайдена кількість каналів дорівнює $N_{кан.1 гр.} = 5$.

3 Знаходимо загальну кількість каналів для рисунка 1.1, а:

$$N_{кан.} = N_{кан.1 гр.} \cdot N_{гр.};$$

$$N_{кан.} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ канал.}$$

Таким чином, конфігурація, показана на рисунку 1.1, а, вимагає 20 каналів (по 5 каналів для кожної групи терміналів).

Приклад розв’язання для варіанта № 0 (рисунок 1.1, б).

1 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надходить на комутатор від $N_{гр}$ груп терміналів ($N_{гр} = 4$), як показано на рисунку 1.1, б:

$$Y''_{надх} = N_{ат} \cdot N_{гр} \cdot Y_{надх.} = 22 \cdot 4 \cdot 0,1 = 8,8 \text{ Ерл.}$$

2 Використовуючи табульовану першу формулу Ерланга (таблиця А.1), знаходимо, що для обслуговування такої інтенсивності навантаження потрібно $N_{\text{кан. заг. гр.}} = 13$ канал.

Таким чином, отримуємо, що $N_{\text{кан.}} = N_{\text{кан. заг. гр.}} = 13$ канал.

Задача 1.12. Як зміниться значення ймовірності блокування $P_{\text{блок.}}$ для умов задачі 1.11, якщо інтенсивність навантаження, що надходить від кожного абонентського терміналу, збільшиться на 50 %?

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (рисунок 1.1, а).

1 Знаходимо збільшене на 50 % значення інтенсивності навантаження від одного абонентського терміналу:

$$Y_{\text{надх.}}^{+50\%} = Y_{\text{надх.}} + \frac{Y_{\text{надх.}} \cdot 50\%}{100\%} = 0,1 + \frac{0,1 \cdot 50\%}{100\%} = 0,15 \text{ Ерл.}$$

2 Знаходимо інтенсивність навантаження від кожної групи терміналів $Y'_{\text{надх.}} = N_{\text{ат.}} \cdot Y_{\text{надх.}}^{+50\%} = 22 \cdot 0,15 = 3,3$ Ерл.

3 З огляду на те, що кожна група терміналів з'єднується 5 каналами з комутатором ($N_{\text{кан. 1 гр.}} = 5$), знаходимо ймовірність блокування за табульованою першою формулою Ерланга (таблиця А.1): $P_{\text{блок.}} = E_5(3,3) = 0,14$.

Таким чином, при збільшенні інтенсивності навантаження від абонентських терміналів на 50 % імовірність блокування у схемі на рисунку 1.1, а зросте в 2,8 рази.

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (рисунок 1.1, б).

1 Знайдемо інтенсивність навантаження, що надходить на комутатор від усіх терміналів усіх груп:

$$Y''_{\text{надх.}} = N_{\text{ат.}} \cdot N_{\text{гр.}} \cdot Y_{\text{надх.}}^{+50\%} = 22 \cdot 4 \cdot 0,15 = 13,2 \text{ Ерл.}$$

2 З огляду на те, що кількість каналів дорівнює 13 ($N_{\text{кан.}} = N_{\text{кан. заг. гр.}} = 13$), знаходимо ймовірність блокування за табульованою першою формулою Ерланга (таблиця А.1): $P_{\text{блок.}} = E_{13}(13,2) = 0,2$.

Таким чином, при збільшенні інтенсивності навантаження від абонентських терміналів на 50 % імовірність блокування у схемі на рисунку 1.1, б зросте в 4 рази.

Задача 1.13. Нехай пропускна спроможність вихідного порту комутатора пакетів дорівнює C кбіт/с. На вхідний порт комутатора надходить простіший потік пакетів з інтенсивністю λ пакетів на секунду, час обслуговування пакета має експоненційний розподіл, а середня довжина пакета складає L біт (таблиця 1.12). Знайти середній час обслуговування пакета та середній час перебування пакета в комутаторі (системі масового обслуговування) $\bar{T}_{\text{переб. в сист.}}$. Вважати, що об'єм буферної пам'яті портів комутатора є нескінченим.

Таблиця 1.12 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	C , кбіт/с	λ , пакет/с	L , біт	Варіант	C , кбіт/с	λ , пакет/с	L , біт
0	20	14	800				
1	21	14	400	16	23	15	300
2	25	14	500	17	28	15	400
3	30	14	600	18	33	15	500
4	35	14	700	19	38	15	600
5	40	16	400	20	45	17	700
6	20	16	500	21	23	17	400
7	25	16	600	22	28	17	500
8	30	16	700	23	33	17	600
9	35	16	300	24	38	17	700
10	40	18	500	25	45	19	600
11	20	18	600	26	23	19	500
12	25	18	700	27	28	19	600
13	30	18	300	28	33	19	700
14	35	18	400	29	38	19	300
15	40	18	500	30	45	19	800

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо максимально можливу інтенсивність потоку пакетів на виході комутатора, обмежену пропускною спроможністю порту – інтенсивність обслуговування, яка кількісно дорівнює параметру потоку обслуговування у випадку найпростішого потоку пакетів:

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{20\,000 \text{ біт/с}}{800 \text{ біт}} = 25 \text{ пакет/с}.$$

2 Знаходимо середній час обслуговування пакета:

$$\bar{T}_{\text{обсл.}} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{25} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 40 \text{ мс}.$$

3 Знаходимо середній час перебування пакета в комутаторі (системі масового обслуговування М/М/1):

$$\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{25 - 14} = 91 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 91 \text{ мс}.$$

Задача 1.14. Мультиплексор, що здійснює асинхронне мультиплексування пакетів від цифрових терміналів, має один вихідний порт з пропускною спроможністю C кбіт/с. Відомо, що кожен цифровий термінал породжує простіший потік пакетів з інтенсивністю λ пакетів на секунду, час обслуговування пакета має експоненційний розподіл, а довжина пакета складає L біт. Вважати, що об'єм буферної пам'яті портів мультиплексора є нескінченим (таблиця 1.13).

Визначити кількість цифрових терміналів $N_{\text{терм.}}$, які можуть бути підключені до мультиплексора, щоб виконувалися такі умови:

умова 1: мультиплексор не повинен бути перевантаженим, тобто коефіцієнт використання не повинен перевищувати одиниці ($\rho = \lambda / \mu < 1$). Також для цієї умови визначити середній час затримки пакета в мультиплексорі;

умова 2: середній час затримки пакета в мультиплексорі (системі масового обслуговування) $\bar{T}_{\text{переб. в сист.}}$ не повинен перевищувати значення $t_{\text{затр. зад. 1}}$ ($\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} \leq t_{\text{затр. зад. 1}}$);

умова 3: 90 % усіх пакетів не повинні затримуватись у комутаторі більше заданого часу $t_{\text{затр. зад. 2}}$.

Також для всіх трьох умов розрахувати середню кількість пакетів у черзі вихідного порту мультиплексора – $\bar{N}_{\text{черг.}}$.

Таблиця 1.13 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	C , кбіт/с	λ , пакет/с	L , байт	$t_{\text{затр. зад. 1}}$, с	$t_{\text{затр. зад. 2}}$, с
0	64	3	400	0,25	0,325
1	64	2	300	0,25	0,325
2	64	4	450	0,25	0,325
3	64	5	500	0,25	0,325
4	64	4	550	0,25	0,325
5	64	1	400	0,25	0,325

Варіант	C , кбіт/с	λ , пакет/с	L , байт	$t_{\text{загр. зад. 1}}$, с	$t_{\text{загр. зад. 2}}$, с
6	128	6	500	0,2	0,25
7	128	5	300	0,2	0,25
8	128	2	400	0,2	0,25
9	128	3	550	0,2	0,25
10	128	4	350	0,2	0,25
11	256	8	600	0,1	0,15
12	256	5	300	0,1	0,15
13	256	6	400	0,1	0,15
14	256	4	350	0,1	0,15
15	256	3	500	0,1	0,15
16	96	2	350	0,25	0,325
17	96	3	400	0,25	0,325
18	96	2	750	0,25	0,325
19	96	3	200	0,25	0,325
20	96	4	900	0,25	0,325
21	192	5	900	0,2	0,25
22	192	4	950	0,2	0,25
23	192	2	1100	0,2	0,25
24	192	4	1300	0,2	0,25
25	192	3	1200	0,2	0,25
26	288	4	500	0,1	0,15
27	288	2	600	0,1	0,15
28	288	3	700	0,1	0,15
29	288	6	850	0,1	0,15
30	288	5	950	0,1	0,15

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (умова 1).

1 Запишемо вираз для визначення коефіцієнта використання:

$$\rho = \frac{\lambda N_{\text{терм.}}}{\mu} < 1,$$

де λ – інтенсивність потоку пакетів від одного терміналу;

μ – інтенсивність обслуговування;

$N_{\text{терм.}}$ – кількість терміналів, підключених до мультиплексора.

2 Знаходимо інтенсивність обслуговування та час обслуговування пакета:

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{64\,000 \text{ біт/с}}{8 \cdot 400 \text{ байт}} = 20 \text{ пакет/с};$$

$$\bar{T}_{\text{обсл.}} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{20} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 50 \text{ мс}.$$

3 Знаходимо кількість цифрових терміналів, щоб виконувалася умова $\rho = \lambda / \mu < 1$, враховуючи, що $\lambda = 3$ пакети в секунду:

$$N_{\text{терм.}} \leq \frac{\mu}{\lambda};$$

$$N_{\text{терм.}} \leq \frac{20}{3} = 6 \text{ термінал.}$$

4 Знаходимо середній час затримки пакета в мультиплексорі (середній час перебування пакета в системі М/М/1) для випадку $N_{\text{терм.}} = 6$ термінал:

$$\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} = \frac{1}{\mu - \lambda N_{\text{терм.}}} = \frac{1}{20 - 3 \cdot 6} = 0,5 \text{ с}.$$

5 Знаходимо середню кількість пакетів у черзі вихідного порту мультиплексора:

$$\rho = \frac{\lambda N_{\text{терм.}}}{\mu} = \frac{3 \cdot 6}{20} = 0,9;$$

$$\bar{N}_{\text{черг.}} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,9^2}{1 - 0,9} = 8,1 \text{ пакет}.$$

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (умова 2).

1 Запишемо умову 2 для СМО типу М/М/1:

$$\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} = \frac{1}{\mu - \lambda N_{\text{терм.}}} \leq t_{\text{затр. зад.1}};$$

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{64\,000 \text{ біт/с}}{8 \cdot 400 \text{ байт}} = 20 \text{ пакет/с}.$$

2 Знаходимо кількість цифрових терміналів, щоб виконувалася умова 2 – $\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} \leq 0,25$ с:

$$\frac{1}{20 - 3N_{\text{терм.}}} \leq 0,25 \text{ с};$$

$$N_{\text{терм.}} \leq \frac{20 - \frac{1}{0,25}}{3} = 5 \text{ термінал.}$$

3 Знаходимо середній час затримки пакета в мультиплексорі (середній час перебування пакета в системі М/М/1) для випадку $N_{\text{терм.}} = 5$ термінал:

$$\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}} = \frac{1}{\mu - \lambda N_{\text{терм.}}} = \frac{1}{20 - 3 \cdot 5} = 0,2 \text{ с.}$$

Таким чином, введення обмеження на середнє значення затримки пакета в мультиплексорі зменшило кількість підтримуваних терміналів на один.

4 Знаходимо середню кількість пакетів у черзі вихідного порту мультиплексора:

$$\rho = \frac{\lambda N_{\text{терм.}}}{\mu} = \frac{3 \cdot 5}{20} = 0,75;$$

$$\bar{N}_{\text{черг.}} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,75^2}{1 - 0,75} = 2,25 \text{ пакет.}$$

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (умова 3).

1 У цьому випадку будемо вважати, що затримка пакетів у комутаторі є випадковою величиною з функцією розподілу:

$$F(t_{\text{затр. зад. 2}}) = P(T_{\text{пероб. в сист.}} < t_{\text{затр. зад. 2}}) = 1 - e^{-\frac{t_{\text{затр. зад. 2}}}{\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}}}}.$$

Умову, при якій 90 % пакетів повинні мати затримку в комутаторі не більше $t_{\text{затр. зад.}} = 0,325$ с, можна записати як

$$P(T_{\text{пероб. в сист.}} < 0,325 \text{ с}) = 1 - e^{-\frac{0,325}{\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}}}} = 0,9.$$

2 Знайдемо середній час знаходження пакета в мультиплексорі, при якому 90 % пакетів будуть мати затримку не більше 0,325 с:

$$\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}} = -\frac{t_{\text{затр. зад.}}}{\ln[1 - P(T_{\text{пероб. в сист.}} < t_{\text{затр. зад. 2}})]};$$

$$\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}} = -\frac{0,325}{\ln[1 - 0,9]} = 0,14 \text{ с.}$$

3 Далі з виразу для СМО типу М/М/1

$$\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}} = \frac{1}{\mu - \lambda N_{\text{терм.}}}$$

визначаємо максимальне значення інтенсивності потоку пакетів від одного цифрового терміналу:

$$N_{\text{терм.}} = \frac{\mu - \frac{1}{\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}}}}{\lambda} = \frac{20 - \frac{1}{0,14}}{3} = 4 \text{ термінал.}$$

Таким чином, для виконання умови 3 впливає, що тільки 4 термінали можуть бути підключені до мультиплексора.

4 Знаходимо середню кількість пакетів у черзі вихідного порту мультиплексора:

$$\rho = \frac{\lambda N_{\text{терм.}}}{\mu} = \frac{3 \cdot 4}{20} = 0,6;$$

$$\bar{N}_{\text{черг.}} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,6^2}{1 - 0,6} = 0,9 \text{ пакет.}$$

Задача 1.15. Нехай використовується один канал ($V = 1$) для передачі повідомлень між вузлами мережі. Інтенсивність надходження повідомлень дорівнює λ повідомлень на хвилину. Коефіцієнт використання каналу дорівнює ρ . Розподіл часу обслуговування повідомлення – експоненційний. Вважати, що кількість повідомлень в черзі може бути нескінченною (втрат повідомлень не має) (таблиця 1.14).

Визначити середній час очікування обслуговування $\bar{T}_{\text{очік. обсл.}}$ (знаходження в черзі повідомлення) та імовірність того, що час очікування обслуговування перевищить задане значення $t_{\text{очік. обсл. зад.}} - P(T_{\text{очік. обсл.}} > t_{\text{очік. обсл. зад.}})$.

Таблиця 1.14 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	λ , виклик/хв	ρ	$t_{\text{очік. обсл. зад.}}$, хв	Варіант	λ , виклик/хв	ρ	$t_{\text{очік. обсл. зад.}}$, хв
0	10	0,95	5				
1	14	0,9	2	16	5	0,85	3
2	8	0,9	3	17	8	0,85	2
3	6	0,9	3	18	3	0,85	5
4	12	0,9	2	19	7	0,85	1
5	10	0,9	4	20	4	0,85	4
6	7	0,85	3	21	10	0,9	2
7	11	0,85	2	22	12	0,9	3
8	5	0,85	4	23	6	0,9	5
9	9	0,85	1	24	9	0,9	4
10	3	0,85	3	25	5	0,9	6

11	8	0,95	6	26	3	0,8	2
12	10	0,95	4	27	7	0,8	1
13	13	0,95	3	28	2	0,8	4
14	16	0,95	2	29	4	0,8	3
15	7	0,95	5	30	5	0,8	2

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Для одного каналу завжди використовується один обслуговуючий пристрій, тому справедливе рівняння $\rho = Y = \lambda \bar{T}_{\text{обсл.}} = 0,95$ (якщо втрати повідомлень відсутні). Крім того, для цього випадку ймовірність того, що повідомлення буде очікувати в черзі, буде дорівнювати коефіцієнту використання: $P(T_{\text{очік. обсл.}} > 0) = \rho = 0,95$.

2 Знаходимо середній час обслуговування як

$$\bar{T}_{\text{обсл.}} = \frac{Y}{\lambda} = \frac{0,95}{10} = 0,095 \text{ хв.}$$

3 Знаходимо середній час очікування в черзі (без урахування часу обслуговування повідомлення):

$$\bar{T}_{\text{очік. обсл.}} = P(T_{\text{очік. обсл.}} > 0) \frac{\bar{T}_{\text{обсл.}}}{V - Y} = 0,95 \frac{0,095}{1 - 0,95} = 1,805 \text{ хв.}$$

4 Знаходимо ймовірність того, що час очікування перевищить задане значення $t_{\text{очік. обсл. зад.}} > 5 \text{ хв.}$:

$$P(T_{\text{очік. обсл.}} > t_{\text{очік. обсл. зад.}}) = P(T_{\text{очік. обсл.}} > 0) e^{-\frac{(V-Y)t}{\bar{T}_{\text{обсл.}}}};$$

$$P(T_{\text{очік. обсл.}} > 5 \text{ хв.}) = 0,95 e^{-\frac{(1-0,95) \cdot 5}{0,095}} = 0,068.$$

Таким чином, 6,8 % повідомлень будуть очікувати в черзі час, більший ніж 5 хв.

Задача 1.16. Визначити число приймачів цифр телефонного номера, що потрібні для обслуговування $N_{\text{аб.}}$ абонентів, із середньою інтенсивністю потоку викликів λ викликів на годину при використанні систем обслуговування з умовними та з явними втратами (таблиця 1.15). Після розв'язання задачі порівняти отримані результати для систем обслуговування з явними та умовними втратами.

Вважати, що час набору номера має експоненційний розподіл із середнім значенням $\bar{T}_{\text{наб. ном.}}$ с. Для системи обслуговування з умовними втратами акустичний сигнал «Відповідь станції» повинен з'явитися протягом часу $t < t_{\text{зад}}$ с з моменту зняття слухавки для 99 % викликів. Для випадку системи обслуговування з явними втратами вважати, що блокування не повинно виникати для 99 % викликів.

Таблиця 1.15 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$N_{\text{аб.}}, \text{ абон.}$	$\lambda, \text{ виклик/год}$	$\bar{T}_{\text{наб. ном.}}, \text{ с}$	$t_{\text{зад}}, \text{ с}$
0	1000	2	6	1
1	100	3	6	1
2	200	4	6	1
3	300	5	6	1
4	400	6	6	1
5	300	7	6	1
6	200	3	7	2
7	300	4	7	2
8	400	5	7	2
9	500	2	7	2
10	100	6	7	2
11	900	3	5	3
12	800	2	5	3
13	700	4	5	3
14	600	3	5	3
15	500	5	5	3
16	150	10	6	2
17	250	9	6	2
18	350	7	6	2
19	450	5	6	2
20	550	3	6	2
21	650	2	7	3
22	750	2	7	3
23	250	6	7	3
24	550	3	7	3
25	350	5	7	3
26	120	8	5	4

Варіант	$N_{\text{аб.}}$, абон.	λ , виклик/ГОД	$\bar{T}_{\text{наб. ном.}}$, с	$t_{\text{зад}}$, с
27	270	9	5	4
28	420	4	5	4
29	540	5	5	4
30	680	2	5	4

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо інтенсивність потоку викликів у секунду і інтенсивність навантаження, що надходить:

$$\lambda = \frac{2 \text{ виклик/ГОД}}{3600 \text{ с}} = 5,55 \cdot 10^{-4} \text{ виклик/с};$$

$$Y = \lambda \bar{T}_{\text{наб. ном.}} N_{\text{аб.}} = 5,55 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 1000 = 3,3 \text{ Ерл.}$$

2 Знаходимо кількість приймачів цифр телефонного номера для випадку використання системи обслуговування з умовними втратами з рисунка Б.1 додатка Б для випадку, коли

$$t_{\text{зад}} / \bar{T}_{\text{обсл.}} = 1 \text{ с} / 6 \text{ с} = 1/6;$$

$$P(T_{\text{очік. обсл.}} > 1 \text{ с}) = 0,01 \text{ (} B = 1 \text{ \%)}.$$

Знайдена кількість приймачів цифр телефонного номера дорівнює $V = 8$.

3 Знаходимо кількість приймачів цифр телефонного номера для випадку використання системи обслуговування з явними втратами з таблиці А.1 додатка А для випадку, коли ймовірність блокування не перевищує $P_{\text{блок.}} = 0,01$. Знайдена кількість приймачів цифр телефонного номера дорівнює $V = 9$.

Таким чином, у цьому випадку здатність системи обслуговувати з очікуванням дасть економію всього на один обслуговуючий пристрій.

Задача 1.17. Вузол мережі з комутацією пакетів працює з пакетами фіксованої довжиною в L біт, пропускна спроможність каналу дорівнює C біт/с, коефіцієнт використання дорівнює ρ (таблиця 1.16). Розрахувати середнє значення часу перебування пакета у вузлі комутації (у системі обслуговування) $\bar{T}_{\text{переб. в сист.}}$. Визначити відсоток пакетів, що будуть перебувати у вузлі комутації час, більший ніж $t_{\text{зад.}}$ с. Розрахувати середнє значення

часу очікування пакетів у черзі та середнє значення часу перебування пакета у вузлі комутації, якщо інтенсивність навантаження, що надходить, збільшиться на Δ %.

Таблиця 1.16 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	L , біт	C , біт/с	ρ	$t_{\text{зад.}}$, с	Δ , %	Варіант	L , біт	C , біт/с	ρ	$t_{\text{зад.}}$, с	Δ , %
0	300	9600	0,9	0,3 5	9						
1	350	9600	0,8 5	0,5	5	16	140 0	9600	0,9	1,3	8
2	400	9600	0,8	0,4	1 0	17	200 0	9600	0,9 3	2	5
3	550	9600	0,7 5	0,3	2 0	18	230 0	9600	0,8 7	2,2	9
4	600	9600	0,7	0,2	2 5	19	260 0	9600	0,8 5	1,8	12
5	650	9600	0,6 5	0,1	3 0	20	300 0	9600	0,9 2	3,1	2
6	100 0	1440 0	0,9	0,2 5	5	21	550 0	1440 0	0,9	4	9
7	900	1440 0	0,9 5	0,1 5	3	22	670 0	1440 0	0,9 2	3,7	7
8	800	1440 0	0,8 8	0,4 5	1 0	23	910 0	1440 0	0,9 1	2,5	8
9	110 0	1440 0	0,9 2	0,5 5	6	24	750 0	1440 0	0,8 8	5,3	11
10	120 0	1440 0	0,9 4	0,6	3	25	890 0	1440 0	0,9 6	6,7	3
11	50	2400	0,9	0,1 6	7	26	180	2400	0,9 4	1,9	5
12	150	2400	0,8 6	0,2 9	1 0	27	370	2400	0,9 1	1,1	8
13	110 0	2400	0,8	3,9	1 5	28	520	2400	0,8 9	2,2	10

Варіант	L, біт	C, біт/с	ρ	$t_{\text{зад.}}$, с	Δ , %	Варіант	L, біт	C, біт/с	ρ	$t_{\text{зад.}}$, с	Δ , %
14	970	2400	0,9 1	4,3	5	29	760	2400	0,8 4	2,9	15
15	540	2400	0,9 6	2,1	3	30	910	2400	0,8 8	3,8	11

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо середній час обслуговування пакета:

$$\bar{T}_{\text{обсл.}} = \frac{L}{C} = \frac{300 \text{ біт}}{9600 \text{ біт/с}} = 0,031 \text{ с.}$$

2 Знаходимо середній час очікування обслуговування:

$$\bar{T}_{\text{очік. обсл.}} = \frac{\rho \bar{T}_{\text{обсл.}}}{2(1-\rho)} = \frac{0,9 \cdot 0,031}{2(1-0,9)} = 0,14 \text{ с.}$$

3 Знаходимо середній час перебування пакета в системі:

$$\bar{T}_{\text{переб. в сист.}} = \bar{T}_{\text{очік. обсл.}} + \bar{T}_{\text{обсл.}} = 0,14 + 0,031 = 0,171 \text{ с.}$$

4 Знаходимо заданий середній час очікування обслуговування пакета в черзі вузла комутації $t_{\text{зад. очік. обсл.}}$ для випадку, коли пакет буде перебувати у вузлі комутації протягом $t_{\text{зад.}} = 0,35 \text{ с}$:

$$t_{\text{зад. очік. обсл.}} = t_{\text{зад.}} - \bar{T}_{\text{обсл.}} = 0,35 - 0,031 = 0,319 \text{ с.}$$

5 Користуючись графіками на рисунку В.1 додатка В визначаємо ймовірність очікування пакета в черзі більше ніж $t_{\text{зад. очік. обсл.}} = 0,319 \text{ с}$ для випадку $t_{\text{зад. очік. обсл.}} / \bar{T}_{\text{обсл.}} = 0,319 / 0,031 = 10$ та $\rho = 0,9$. У результаті знаходимо, що $P(T_{\text{очік. обсл.}} > 0,319 \text{ с}) \approx 0,12$. Таким чином, 12 % пакетів будуть очікувати час, більший ніж 0,35 с.

6 Збільшення інтенсивності навантаження на 9 % передбачає, що коефіцієнт використання збільшиться до значення $\rho = 0,99$. Знаходимо середній час очікування обслуговування пакета в черзі вузла комутації:

$$\bar{T}_{\text{очік. обсл.}} = \frac{\rho \bar{T}_{\text{обсл.}}}{2(1-\rho)} = \frac{0,99 \cdot 0,031}{2(1-0,99)} = 1,53 \text{ с.}$$

7 Знаходимо середній час знаходження пакета у вузлі комутації для випадку, коли $\rho = 0,99$:

$$\bar{T}_{\text{пероб. в сист.}} = \bar{T}_{\text{очік. обсл.}} + \bar{T}_{\text{обсл.}} = 1,53 + 0,031 = 1,56 \text{ с.}$$

Таким чином, коли коефіцієнт використання (інтенсивність навантаження) зростає тільки на 9 % (з 90 до 99 %), середній час знаходження пакета у вузлі комутації зростає більш ніж у дев'ять разів.

Задача 1.18. Розрахувати кількість ліній V у неповнодоступному пучку з доступністю D , необхідних для обслуговування інтенсивності навантаження, що надходить, $Y_{\text{надх.}}$ при ймовірності втрат P (таблиця 1.17). Розрахунок зробити за формулою Британського поштового відомства (БПВ), формулою Пальма-Якобеуса та формулою О'Делла.

Таблиця 1.17 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	D	$Y_{\text{надх.}}$, Ерл	P	Варіант	D	$Y_{\text{надх.}}$, Ерл	P
0	10	10	0,005				
1	5	10	0,001	16	20	14	0,005
2	6	11	0,001	17	21	15	0,005
3	7	12	0,001	18	22	16	0,005
4	8	13	0,001	19	23	17	0,005
5	9	14	0,001	20	24	5	0,01
6	10	15	0,001	21	25	6	0,01
7	11	5	0,003	22	5	7	0,01
8	12	6	0,003	23	6	8	0,01
9	13	7	0,003	24	7	9	0,01
10	14	8	0,003	25	8	10	0,01
11	15	9	0,003	26	9	18	0,005
12	16	10	0,003	27	10	19	0,005
13	17	11	0,005	28	11	20	0,005

Варіант	D	$Y_{\text{надх}}$, Ерл	P	Варіант	D	$Y_{\text{надх}}$, Ерл	P
14	18	12	0,005	29	12	21	0,005
15	19	13	0,005	30	13	22	0,005

Приклад розв’язання для варіанта № 0 (формула БПВ).

1 Запишемо формулу БПВ:

$$V = \alpha Y_{\text{надх}} + \beta,$$

де α і β – коефіцієнти, що при заданих D і P визначаються значеннями цих параметрів (таблиця Г.1).

2 З таблиці Г.1 знаходимо, що $\alpha = 1,7$, $\beta = 3,3$, тому кількість ліній у комутаційній схемі з неповнодоступним включенням знаходиться як (з округленням результату в більший бік)

$$V = \alpha Y_{\text{надх}} + \beta = 1,7 \cdot 10 + 3,3 \approx 21 \text{ лінія.}$$

Приклад розв’язання для варіанта № 0 (формула Пальма-Якобеуса).

1 Запишемо формулу Пальма-Якобеуса:

$$P_V = \frac{E_V(Y)}{E_{V-D}(Y)},$$

де $E_V(Y)$ і $E_{V-D}(Y)$ – імовірності втрат для V та $(V - D)$ ліній відповідно, що визначаються за допомогою табульованої першої формули Ерланга (таблиця А.1).

3 формули Пальма-Якобеуса кількість ліній у явному вигляді не виражається, а визначається методом послідовних наближень.

2 Довільно обираємо кількість ліній $V = 17$, тоді за таблицею А.1 знаходимо

$$E_V(Y) = E_{17}(10) = 0,015 \text{ (В} = 1,5 \text{ \%);}$$

$$E_{V-D}(Y) = E_7(10) = 0,4 \text{ (В} = 40 \text{ \%).}$$

3 Розраховуємо ймовірність втрат для кількості ліній $V = 17$:

$$P_{17} = \frac{E_{17}(10)}{E_{17-10}(10)} = \frac{0,015}{0,4} = 0,0316.$$

Оскільки ймовірність втрат перевищує припустиму норму ($P_{17} = 0,0316 > P = 0,005$), то кількість ліній необхідно збільшити.

4 При $V = 20$ отримаємо $P = 0,0087$; при $V = 21$ отримаємо $P = 0,0054 \approx 0,005$. Таким чином знаходимо, що $V = 21$ лінія.

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (формула О'Делла).

1 Запишемо формулу О'Делла:

$$Y_{\text{обсл.}} = Y_D + (V - D) \left[Y_D / D + K \left(\sqrt[D]{P} - Y_D / D \right) \right],$$

де Y_D – навантаження, що обслуговується всіма D лініями повнодоступної комутаційної схеми.

Коефіцієнт $K \leq 1$ визначає величину надбавки до пропускної спроможності ліній неповнодоступної комутаційної схеми порівняно з повнодоступною комутаційною схемою.

$$Y_{\text{обсл.}} = Y_D + (V - D) \left[Y_D / D + K \left(\sqrt[D]{P} - Y_D / D \right) \right].$$

2 Знаходимо інтенсивність навантаження, що повинне бути обслужено комутаційною схемою з неповнодоступним включенням:

$$Y_{\text{обсл.}} = Y_{\text{надх.}} (1 - P) = 10 \cdot (1 - 0,005) = 9,95 \text{ Ерл.}$$

3 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надходить на D ліній повнодоступного пучка ($D = 10$) при заданій нормі втрат $P = 0,005$, визначається за таблицею першої формули Ерланга (таблиця А.1): $Y_{\text{надх. } D} = 3,96 \text{ Ерл.}$

4 Знаходимо інтенсивність навантаження, обслуженого D лініями повнодоступного пучка при $P = 0,005$ (приймаємо $K = 1$):

$$Y_D = Y_{\text{надх. } D} (1 - P) = 3,96 \cdot (1 - 0,005) = 3,93 \text{ Ерл.}$$

5 Знаходимо потрібну кількість ліній:

$$V = D + \frac{Y_{\text{обсл.}} - Y_D}{\sqrt[D]{P}} = 10 + \frac{9,95 - 3,93}{\sqrt[10]{0,005}} \approx 21 \text{ лінія.}$$

Задача 1.19. Визначити методом ефективної доступності для координатної АТС (дволанкове комутаційне поле) кількість ліній у напрямку групового шукання, необхідних для обслуговування інтенсивності навантаження Y при ймовірності втрат $P_{\text{втр. ГШ}}$, якщо ступінь групового шукання координатної АТС має такі параметри: кількість блоків комутації першої ланки комутаційного поля – n_A , кількість блоків комутації другої ланки комутаційного поля – k_B , кількість вихідних ліній одного блока комутації другої ланки, що входять до пучка ліній у напрямку групового шукання, – q , зв'язність – f (таблиця 1.18). Вважати, що інтенсивність навантаження на одну проміжну лінію ланкової схеми дорівнює a Ерл. Емпіричний коефіцієнт θ може бути вибраний з діапазону від 0,7 до 0,9.

Таблиця 1.18 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	Y , Ерл	$P_{\text{втр. ГШ}}$	Варіант	Y , Ерл	$P_{\text{втр. ГШ}}$
0	28	0,005			
1	10	0,001	16	25	0,01
2	11	0,003	17	26	0,001
3	12	0,005	18	27	0,003
4	13	0,01	19	28	0,005
5	14	0,001	20	29	0,01
6	15	0,003	21	30	0,001
7	16	0,005	22	31	0,003
8	17	0,01	23	32	0,005
9	18	0,001	24	33	0,01
10	19	0,003	25	34	0,001
11	20	0,005	26	35	0,003
12	21	0,01	27	36	0,005
13	22	0,001	28	37	0,01
14	23	0,003	29	38	0,001
15	24	0,005	30	39	0,003

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо мінімальну доступність:

$$D_{\min} = (k_B - n_A + 1)q = (20 - 15 + 1) \cdot 1 = 6.$$

2 Визначаємо середню доступність:

$$\bar{D} = q(k_B - an_A) = 1 \cdot (20 - 0,4 \cdot 15) = 14.$$

3 Отримані значення D_{\min} , \bar{D} використовуємо для знаходження ефективної доступності:

$$D_{\text{эф.}} = D_{\min} + \theta(\bar{D} - D_{\min}) = 6 + 0,7(14 - 6) = 11,6.$$

4 Для розрахунку необхідної кількості ліній використаємо формулу

$$V = \alpha Y + \beta.$$

Для цього попередньо за таблицю Г.1 шляхом лінійної інтерполяції при заданому значенні $P_{\text{втр. ГШ}} = 0,005$ і доступності $D = D_{\text{эф.}} = 11,6$ визначаємо коефіцієнти α й β :

$$\alpha = \alpha' + \frac{D - D'}{D'' - D'}(\alpha'' - \alpha') = 1,62 + \frac{11,6 - 11}{12 - 11}(1,55 - 1,62) = 1,58;$$

$$\beta = \beta' + \frac{D - D'}{D'' - D'}(\beta'' - \beta') = 3,6 + \frac{11,6 - 11}{12 - 11}(3,9 - 3,6) = 3,78.$$

Підставивши знайдені значення $\alpha = 1,58$ й $\beta = 3,8$ у попередню формулу, отримає

$$V = 1,58 \cdot 28 + 3,78 \approx 48 \text{ ліній.}$$

Задача 1.20. Пучок ємністю ν ліній обслуговує виклики примітивного потоку від n джерел з питомою інтенсивністю навантаження y (таблиця 1.19). Визначити втрати за часом, викликами та навантаженням і порівняти їх.

Таблиця 1.19 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	ν , шт.	n , шт.	y , Ерл	Варіант	ν , шт.	n , шт.	y , Ерл
0	5	8	0,2				
1	7	10	0,3	16	7	19	0,4
2	8	13	0,3	17	11	15	0,4

Варіант	ν , шт.	n , шт.	y , Ерл	Варіант	ν , шт.	n , шт.	y , Ерл
3	10	16	0,3	18	14	27	0,4
4	17	33	0,3	19	17	30	0,4
5	13	35	0,3	20	20	37	0,4
6	9	15	0,2	21	2	9	0,25
7	14	40	0,2	22	10	46	0,25
8	3	30	0,2	23	5	32	0,25
9	19	44	0,2	24	11	29	0,25
10	15	31	0,2	25	6	18	0,25
11	8	26	0,1	26	13	40	0,15
12	4	14	0,1	27	19	70	0,15
13	6	21	0,1	28	8	51	0,15
14	10	39	0,1	29	11	34	0,15
15	15	58	0,1	30	7	28	0,15

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 За формулами Енгсета визначасмо втрати за часом, викликами та навантаженням відповідно:

$$P_t = \frac{C_n^v \left(\frac{y}{1-y} \right)^v}{\sum_{i=0}^v C_n^i \left(\frac{y}{1-y} \right)^i} = \frac{C_8^5 \cdot 0,25^5}{\sum_{i=0}^5 C_8^i \cdot 0,25^i} = 0,009.$$

$$P_b = \frac{C_{n-1}^v \left(\frac{y}{1-y} \right)^v}{\sum_{i=0}^v C_{n-1}^i \left(\frac{y}{1-y} \right)^i} = \frac{C_7^5 \cdot 0,25^5}{\sum_{i=0}^5 C_7^i \cdot 0,25^i} = 0,0043.$$

$$P_n = \left(1 - \frac{\nu}{n} \right) P_t = (1 - 5/8) \cdot 0,009 = 0,0034.$$

2 Проведемо порівняння розрахованих втрат.

При обслуговуванні примітивного потоку викликів повнодоступним пучком каналів втрати за навантаженням менше втрат за викликами, а останні менше втрат за часом, тобто має місце нерівність $P_t > P_b > P_n$.

Задача 1.21. Визначити необхідні ємності ν_i ($i=1...3$) повнодоступних пучків каналів при обслуговуванні примітивних потоків викликів, що породжуються i ($i=1...3$) групами джерел викликів з кількістю джерел n_i в кожній групі та з інтенсивністю

викликів ν_i ($i = 1...3$) від кожного джерела в групі (таблиця 1.20). При цьому ймовірність допустимих втрат викликів P_v не повинна перевищувати заданого значення $P_v \leq P_{v \text{ зад.}}$. Розрахунки проводити за допомогою формули Енгсета (яка визначає втрати викликів). Правильність розрахунків перевірити за допомогою табульованої формули Енгсета (таблиця Д.1).

Порівняти знайдені ємності пучків каналів ν_i ($i = 1...3$) з ємністю повнодоступного пучка ν_0 , що обслуговує найпростіший потік викликів з такою самою інтенсивністю навантаження. При проведенні порівняння прийняти, що втрати викликів при обслуговуванні найпростішого потоку викликів такі, що дорівнюють втратам викликів при обслуговування примітивного потоку викликів.

Таблиця 1.20 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	n_1 , ШТ	n_2 , ШТ	n_3 , ШТ	ν_1 , Ерл	ν_2 , Ерл	ν_3 , Ерл	P_v
0	96	48	24	0,1	0,2	0,4	0,005
1	256	128	64	0,1	0,2	0,4	0,005
2	32	16	8	0,1	0,2	0,4	0,005
3	64	32	16	0,1	0,2	0,4	0,005
4	128	64	32	0,1	0,2	0,4	0,005
5	192	96	48	0,1	0,2	0,4	0,005
6	32	64	16	0,2	0,1	0,4	0,001
7	64	128	32	0,2	0,1	0,4	0,001
8	128	256	64	0,2	0,1	0,4	0,001
9	16	32	8	0,2	0,1	0,4	0,001
10	48	96	24	0,2	0,1	0,4	0,001
11	48	96	192	0,4	0,2	0,1	0,01
12	16	32	64	0,4	0,2	0,1	0,01
13	8	16	32	0,4	0,2	0,1	0,01
14	32	64	128	0,4	0,2	0,1	0,01
15	64	128	256	0,4	0,2	0,1	0,01
16	32	64	16	0,2	0,1	0,4	0,003
17	64	128	32	0,2	0,1	0,4	0,003
18	128	256	64	0,2	0,1	0,4	0,003
19	16	32	8	0,2	0,1	0,4	0,003
20	48	96	24	0,2	0,1	0,4	0,003

Варіант Т	n_1 , ШТ	n_2 , ШТ	n_3 , ШТ	y_1 , Ерл	y_2 , Ерл	y_3 , Ерл	P_B
21	8	48	24	0,6	0,1	0,2	0,001
22	16	96	48	0,6	0,1	0,2	0,001
23	32	192	96	0,6	0,1	0,2	0,001
24	64	256	128	0,4	0,1	0,2	0,001
25	32	128	64	0,4	0,1	0,2	0,001
26	16	64	32	0,4	0,1	0,2	0,001
27	64	256	128	0,4	0,1	0,2	0,001
28	8	32	16	0,4	0,1	0,2	0,001
29	24	96	48	0,4	0,1	0,2	0,005
30	48	192	96	0,4	0,1	0,2	0,005

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 За допомогою формули Енгсета

$$P_B = \frac{C_{n-1}^v \left(\frac{y}{1-y} \right)^v}{\sum_{i=0}^v C_{n-1}^i \left(\frac{y}{1-y} \right)^i}$$

знаходимо необхідну ємність пучка каналів ν_1 , шляхом послідовного збільшення ν_1 , доки не буде виконуватися нерівність $P_B \leq P_{B \text{ зад.}}$ (для прикладу, почнемо розрахунок з $\nu_1 = 17$):

$$P_B = \frac{C_{96-1}^{17} \left(\frac{0,1}{1-0,1} \right)^{17}}{\sum_{i=0}^{17} C_{96-1}^i \left(\frac{0,1}{1-0,1} \right)^i} = \frac{C_{95}^{17} \cdot 0,111^{17}}{\sum_{i=0}^{18} C_{95}^i \cdot 0,111^i} = 0,006958;$$

$$P_B > P_{B \text{ зад.}} = 0,005 .$$

Оскільки нерівність $P_B \leq P_{B \text{ зад.}}$ при $\nu_1 = 17$ не виконується, то приймаємо $\nu_1 = \nu_1 + 1 = 17 + 1 = 18$ і повторюємо розрахунок:

$$P_B = \frac{C_{96-1}^{18} \left(\frac{0,1}{1-0,1} \right)^{18}}{\sum_{i=0}^{18} C_{96-1}^i \left(\frac{0,1}{1-0,1} \right)^i} = \frac{C_{95}^{18} \cdot 0,111^{18}}{\sum_{i=0}^{18} C_{95}^i \cdot 0,111^i} = 0,003339;$$

$$P_B < P_{B \text{ зад.}} = 0,005 .$$

Таким чином, при $\nu_1 = 18$ виконується нерівність $P_B \leq P_{B \text{ зад.}} = 0,005$, тому приймаємо $\nu_1 = 18$.

2 Аналогічні розрахунки проводимо для знаходження ν_2 та ν_3 . Отримаємо, що $\nu_2 = 17$, а $\nu_3 = 16$.

3 Тепер проводимо перевірку проведених розрахунків за допомогою табульованої формули Енгсета (таблиця Д.1). Розраховуємо значення інтенсивностей навантаження Y_i , що надходять від кожної групи з кількістю джерел викликів відповідно $n_1 = 96$, $n_2 = 48$, $n_3 = 24$ за формулою

$$Y_i = n_i y_i.$$

Отримуємо, що $Y_1 = 96 \cdot 0,1 = 9,6$ Ерл; $Y_2 = 48 \cdot 0,2 = 9,6$ Ерл; $Y_3 = 24 \cdot 0,4 = 9,6$ Ерл.

4 Знаходимо за допомогою табульованої формули Енгсета (таблиця Д.1) для груп джерел ємністю $n_1 = 96$, $n_2 = 48$, $n_3 = 24$ при ймовірності втрат $P_B = 0,005$ та навантаженні $Y_1 = Y_2 = Y_3 = 9,6$ Ерл необхідні ємності пучків: $\nu_1 = 18$, $\nu_2 = 18$, $\nu_3 = 16$. Таким чином, результати розрахунків, проведених безпосередньо за формулою Енгсета та отриманих за допомогою таблиці Д.1, однакові.

5 За допомогою табульованої формули Ерланга (таблиця А.1) знаходимо ємність пучка ν_0 для $Y_0 = 9,6$ Ерл та ймовірності втрат викликів $P_B = 0,005$ ($B = 0,5$ %) - $\nu_0 = 19$. Таким чином, порівняно з обслуговуванням найпростішого потоку викликів обслуговування примітивного потоку, що створюється $n_1 = 96$ та $n_2 = 48$ джерелами викликів, при високій якості обслуговування ($P_B = 0,005$) дозволяє зменшити ємність повнодоступного пучка на один канал (на 5 %), а при $n_3 = 24$ – на три канали (на 16 %).

Задача 1.22. Повнодоступний пучок ємністю ν ліній обслуговує виклики примітивного потоку від n джерел, що створюють інтенсивності навантаження y_i , $i = 1 \dots 3$ (таблиця 1.21). Визначити:

а) інтенсивність обслугованого навантаження $Y_{\text{обсл. } i}^{\text{прим.}}$ для кожного значення y_i , $i = 1 \dots 3$;

б) співвідношення між втратами за викликами $P_{B, i}$ та інтенсивністю обслугованого навантаження $Y_{\text{обсл. } i}^{\text{прим.}}$. Порівняти

отримані результати з аналогічними характеристиками повнодоступного пучка такої самої ємності при обслуговуванні ним викликів найпростішого потоку.

Таблиця 1.21 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	ν , шт.	n , шт.	y_1 , Ерл	y_2 , Ерл	y_3 , Ерл	Варіант	ν , шт.	n , шт.	y_1 , Ерл	y_2 , Ерл	y_3 , Ерл
0	8	30	0,1	0,3	0,5						
1	6	20	0,1	0,2	0,4	16	13	46	0,2	0,1	0,3
2	8	40	0,1	0,2	0,4	17	9	28	0,2	0,1	0,3
3	9	45	0,1	0,2	0,4	18	6	26	0,2	0,1	0,3
4	14	70	0,1	0,2	0,4	19	12	33	0,2	0,1	0,3
5	18	90	0,1	0,2	0,4	20	14	43	0,2	0,1	0,3
6	10	80	0,2	0,1	0,5	21	7	24	0,2	0,1	0,3
7	17	140	0,2	0,1	0,5	22	3	15	0,5	0,1	0,2
8	15	100	0,2	0,1	0,5	23	5	25	0,5	0,1	0,2
9	9	40	0,2	0,1	0,5	24	4	20	0,5	0,1	0,2
10	7	35	0,2	0,1	0,5	25	6	17	0,5	0,1	0,2
11	14	48	0,4	0,2	0,1	26	3	13	0,5	0,1	0,2
12	5	10	0,4	0,2	0,1	27	14	60	0,3	0,2	0,1
13	7	14	0,4	0,2	0,1	28	6	14	0,3	0,2	0,1
14	8	16	0,4	0,2	0,1	29	11	45	0,3	0,2	0,1
15	11	32	0,4	0,2	0,1	30	13	42	0,3	0,2	0,1

Приклад розв’язання для варіанта № 0.

1 За формулами Енгсета знаходимо значення втрат за викликами $P_{B,i} = P(n; y_i; \nu)$ і втрат за часом $P_{t,i} = P(n+1; y_i; \nu)$:

$$P_{B,i} = \frac{C_{n-1}^{\nu} \left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)^{\nu}}{\sum_{j=0}^{\nu} C_{n-1}^j \left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)^j};$$

$$P_{B,1} = P(n; y_1; \nu) = P(30; 0,1; 8) = 0,0047;$$

$$P_{B,2} = P(n; y_2; \nu) = P(30; 0,3; 8) = 0,3286;$$

$$P_{B,3} = P(n; y_3; \nu) = P(30; 0,5; 8) = 0,6629;$$

$$P_{t,i} = \frac{C_n^v \left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)^v}{\sum_{j=0}^v C_n^j \left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)^j};$$

$$P_{t,1} = P(n+1; y_1; v) = P(31; 0,1; 8) = 0,0058;$$

$$P_{t,2} = P(n+1; y_2; v) = P(31; 0,3; 8) = 0,3479;$$

$$P_{t,3} = P(n+1; y_3; v) = P(31; 0,5; 8) = 0,6761.$$

2 Розраховуємо втрати за навантаженням $P_{n,i}$ і значення обслужених навантажень $Y_{\text{обсл.}i}^{\text{прим.}}$:

$$P_{n,1} = (1 - v/n) P_t^1 = 0,0043;$$

$$Y_{\text{обсл.}1}^{\text{прим.}} = n y_1 (1 - P_n^1) = 30 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,0043) = 2,99 \text{ Ерл};$$

$$P_{n,2} = (1 - v/n) P_t^2 = 0,2551;$$

$$Y_{\text{обсл.}2}^{\text{прим.}} = n y_2 (1 - P_n^2) = 30 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,2551) = 6,7 \text{ Ерл};$$

$$P_{n,3} = (1 - v/n) P_t^3 = 0,4958;$$

$$Y_{\text{обсл.}3}^{\text{прим.}} = n y_3 (1 - P_n^3) = 30 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,4958) = 7,56 \text{ Ерл.}$$

3 Розраховуємо інтенсивності навантажень $Y_{\text{надх.}i}^{\text{прост.}}$, що створюються викликами найпростішого потоку, і за формулою Ерланга знаходимо значення втрат $P_v(Y_{\text{надх.}i}^{\text{прост.}})$ і значення інтенсивності обслужених навантажень $Y_{\text{обсл.}i}^{\text{прост.}}$:

$$Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}} = n y_1 = 30 \cdot 0,1 = 3 \text{ Ерл};$$

$$P_v(Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}}) = P_8(3) = \frac{(Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}})^v}{v!} \left[\sum_{i=0}^v \frac{(Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}})^i}{i!} \right]^{-1} =$$

$$= \frac{3^8}{8!} \left[\sum_{i=0}^8 \frac{3^i}{i!} \right]^{-1} = 0,0081;$$

$$Y_{\text{обсл.}1}^{\text{прост.}} = Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}} (1 - P_v(Y_{\text{надх.}1}^{\text{прост.}})) = 3 \cdot (1 - 0,0081) = 2,98 \text{ Ерл};$$

$$Y_{\text{надх.}2}^{\text{прост.}} = n y_2 = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ Ерл};$$

$$P_v(Y_{\text{надх.}2}^{\text{прост.}}) = P_8(9) = 0,2892;$$

$$Y_{\text{обсл.}2}^{\text{прост.}} = Y_{\text{надх.}2}^{\text{прост.}} (1 - P_v(Y_{\text{надх.}2}^{\text{прост.}})) = 9 \cdot (1 - 0,2892) = 6,4 \text{ Ерл};$$

$$Y_{\text{надх.}3}^{\text{прост.}} = n y_3 = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ Ерл};$$

$$P_v(Y_{\text{надх. 3}}^{\text{прост.}}) = P_8(15) = 0,5193;$$

$$Y_{\text{обсл. 3}}^{\text{прост.}} = Y_{\text{надх. 3}}^{\text{прост.}} (1 - P_v(Y_{\text{надх. 3}}^{\text{прост.}})) = 15 \cdot (1 - 0,5193) = 7,21 \text{ Ерл.}$$

4 Знаходимо співвідношення між втратами за викликами та інтенсивністю обслуженого навантаження для примітивного та простішого потоків викликів:

$$P_{v,1} / Y_{\text{обсл. 1}}^{\text{прим.}} = 0,0047 / 2,99 = 0,0016;$$

$$P_v(Y_{\text{надх. 1}}^{\text{прост.}}) / Y_{\text{обсл. 1}}^{\text{прост.}} = 0,0081 / 2,98 = 0,0027;$$

$$P_{v,2} / Y_{\text{обсл. 2}}^{\text{прим.}} = 0,3286 / 6,7 = 0,049;$$

$$P_v(Y_{\text{надх. 2}}^{\text{прост.}}) / Y_{\text{обсл. 2}}^{\text{прост.}} = 0,2892 / 6,4 = 0,045;$$

$$P_{v,3} / Y_{\text{обсл. 3}}^{\text{прим.}} = 0,6629 / 7,56 = 0,088;$$

$$P_v(Y_{\text{надх. 3}}^{\text{прост.}}) / Y_{\text{обсл. 3}}^{\text{прост.}} = 0,5193 / 7,21 = 0,072.$$

Дана задача ілюструє такі закономірності:

1) при будь-яких втратах за викликами інтенсивність обслуженого навантаження вище, якщо на пучок каналів надходять виклики примітивного потоку, порівняно з випадком надходження викликів найпростішого потоку;

2) при малих втратах за викликами виклики примітивного потоку обслуговуються з більш високою якістю (чим менше значення втрат за викликами та більше значення інтенсивності обслуженого навантаження, тим вище якість обслуговування) порівняно з викликами найпростішого потоку ($P_{v,1} / Y_{\text{обсл. 1}}^{\text{прим.}} < P_v(Y_{\text{надх. 1}}^{\text{прост.}}) / Y_{\text{обсл. 1}}^{\text{прост.}}$), а при великих втратах за викликами, навпаки, виклики примітивного потоку обслуговуються з меншою якістю, ніж виклики найпростішого потоку ($P_{v,3} / Y_{\text{обсл. 3}}^{\text{прим.}} > P_v(Y_{\text{надх. 3}}^{\text{прост.}}) / Y_{\text{обсл. 3}}^{\text{прост.}}$).

Задача 1.23. Розрахувати об'єм обладнання вузла комутації ємністю M абонентів і навести його загальну будову. Вихідні дані для розрахунків подані в таблицях 1.22, Е.1 – Е.3.

Примітка. Загальні принципи побудови вузла комутації подані у додатку Ж. Методика оцінки обсягу обладнання вузла комутації наведена в додатку Е. Усі варіанти завдань для самостійного розв'язання відрізняються один від одного абонентською ємністю M та часткою інтенсивності зовнішнього

навантаження $\gamma_{\text{зовн.}}$ (таблиця 1.22), від яких залежать інші вихідні дані, подані в таблицях Е.1 – Е.3.

Таблиця 1.22 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	M , абон.	$\gamma_{\text{зовн.}}$	Варіант	M , абон.	$\gamma_{\text{зовн.}}$
0	200	0,3			
1	300	0,4	16	220	0,3
2	250	0,4	17	260	0,3
3	200	0,4	18	180	0,3
4	150	0,4	19	160	0,3
5	100	0,4	20	140	0,3
6	50	0,5	21	120	0,3
7	80	0,5	22	320	0,2
8	120	0,5	23	280	0,2
9	160	0,5	24	240	0,2
10	190	0,5	25	300	0,2
11	38	0,6	26	170	0,2
12	30	0,6	27	60	0,6
13	25	0,6	28	90	0,6
14	20	0,6	29	110	0,6
15	10	0,6	30	150	0,6

Приклад розв’язання для варіанта № 0.

1 Використовуючи значення частки інтенсивності зовнішнього навантаження $\gamma_{\text{зовн.}}$, формулу (Е.2) і дані з таблиці Е.1, знаходимо частки інтенсивності місцевого навантаження та інтенсивності навантаження пристрою керування:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{зовн.}} + \gamma_{\text{місц.}} + \gamma_{\text{пристр. кер.}} &= 1; \\ \gamma_{\text{місц.}} + \gamma_{\text{пристр. кер.}} &= 1 - \gamma_{\text{зовн.}} = 1 - 0,3 = 0,7; \\ \gamma_{\text{місц.}} &= (\gamma_{\text{місц.}} + \gamma_{\text{пристр. кер.}}) \cdot 0,934 = 0,7 \cdot 0,934 = 0,654; \\ \gamma_{\text{пристр. кер.}} &= (\gamma_{\text{місц.}} + \gamma_{\text{пристр. кер.}}) \cdot 0,066 = 0,7 \cdot 0,066 = 0,046. \end{aligned}$$

2 Згідно з таблицею Е.2 знаходимо, що для заданої ємності вузла комутації ($M = 200$ абонентів) інтенсивність вхідного навантаження від одного абонента дорівнює $y_{\text{вх.}} = 0,065$ Ерл, тому загальна інтенсивність вхідного навантаження дорівнює

$$Y_{\text{вх.}} = y_{\text{вх.}} \cdot M = 0,065 \cdot 200 = 13 \text{ Ерл.}$$

3 Розраховуємо значення інтенсивностей місцевого й зовнішнього навантаження та інтенсивності навантаження пристрою керування за формулами (Е.3):

$$Y_{\text{місц.}} = \gamma_{\text{місц.}} \cdot Y_{\text{вх.}} = 0,654 \cdot 13 = 8,5 \text{ Ерл;}$$

$$Y_{\text{зовн.}} = \gamma_{\text{зовн.}} \cdot Y_{\text{вх.}} = 0,3 \cdot 13 = 3,9 \text{ Ерл;}$$

$$Y_{\text{пристр. кер.}} = \gamma_{\text{пристр. кер.}} \cdot Y_{\text{вх.}} = 0,046 \cdot 13 = 0,6 \text{ Ерл.}$$

4 Згідно з таблицею Е.3 знаходимо, що для заданої ємності вузла комутації ($M = 200$ абонентів) відповідні ймовірності втрат викликів дорівнюють

$$P_{\text{місц.}} = P_{\text{пристр. кер.}} = 0,03;$$

$$P_{\text{зовн.}} = 0,05.$$

5 З урахуванням отриманих у пунктах 3 та 4 значень за табульованою першою формулою Ерланга (таблиця А.1) знаходимо необхідну кількість відповідних комплектів:

$$n_{\text{місц.}} = 13 \text{ комплект;}$$

$$n_{\text{зовн.}} = 7 \text{ комплект;}$$

$$n_{\text{пристр. кер.}} = 3 \text{ комплект.}$$

6 За результатами проведених розрахунків запишемо склад вузла комутації:

- 200 абонентських комплектів (АК);
- 13 станційних комплектів місцевого зв'язку (СКМ);
- 7 станційних комплектів зовнішнього зв'язку (СКЗ);
- 7 лінійних комплектів зовнішнього зв'язку (ЛК);
- 3 пристрої керування (ПК).

7 Наведемо будову вузла комутації для 200 абонентів на рисунку 1.2.

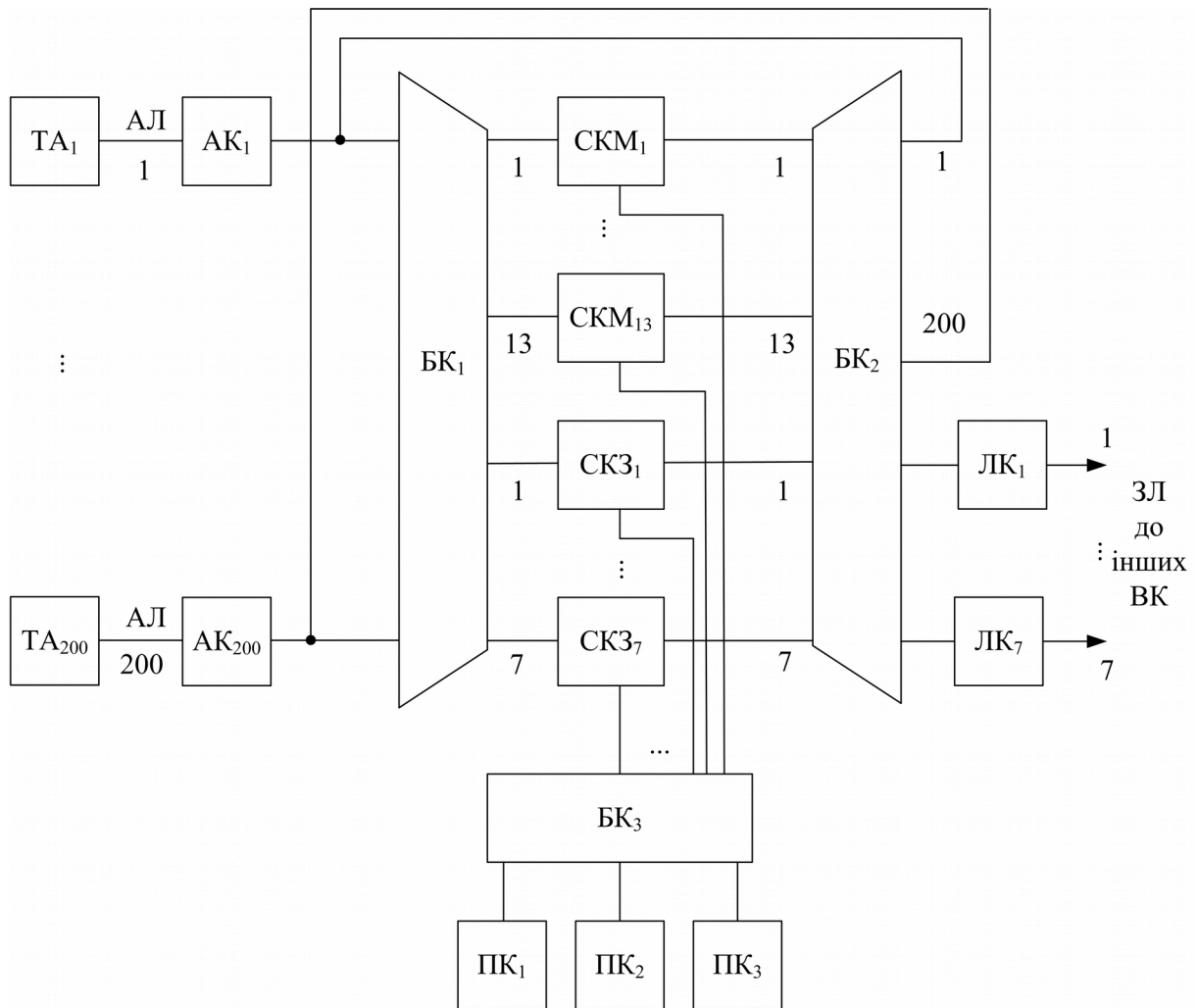


Рисунок 1.2 – Будова вузла комутації для 200 абонентів
 ($n_{\text{зовн.}} = 7$; $n_{\text{місц.}} = 13$, $n_{\text{пристр. кер.}} = 3$)

2 ЗАДАЧІ З ТЕМИ «ЦИФРОВА КОМУТАЦІЯ»

Задача 2.1. Побудувати дволанкову комутаційну схему з кількістю входів N , кількістю виходів M із блоків комутації $n \times n$ (n входів і n виходів) (таблиця 2.1). Визначити необхідну кількість блоків комутації.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	N	M	$n \times n$	Варіант	N	M	$n \times n$
0	128	64	8×8				
1	32	16	4×4	16	128	32	4×4
2	32	32	4×4	17	128	128	4×4
3	16	32	4×4	18	32	128	4×4
4	32	16	8×8	19	128	128	8×8
5	32	32	8×8	20	32	128	8×8
6	16	32	8×8	21	64	128	8×8
7	64	32	4×4	22	128	64	16×16
8	64	64	4×4	23	128	128	16×16
9	32	64	4×4	24	64	128	16×16
10	64	32	8×8	25	256	64	8×8
11	64	64	8×8	26	256	256	8×8
12	32	64	8×8	27	64	256	8×8
13	64	32	16×16	28	256	128	16×16
14	64	64	16×16	29	256	256	16×16
15	32	64	16×16	30	128	256	16×16

Приклад розв’язання для варіанта № 0.

1 Оскільки параметри блоків комутації задані, то спочатку визначимо необхідну кількість блоків комутації для другої ланки виходячи з необхідної кількості виходів M :

$$k_B = M / n = 64 / 8 = 8.$$

2 Тепер виходячи з кількості входів N знайдемо необхідну кількість блоків комутації ємністю 8×8 для першої ланки:

$$k_A = N / n = 128 / 8 = 16.$$

З У першій ланці об'єднаємо однойменні виходи кожної пари блоків комутації ємністю 8 x 8 (рисунок 2.1), для того щоб вони утворили один блок комутації ємністю 16 x 8, що дозволить виконати умови, справедливі для однозв'язної дволанкової комутаційної схеми: $m_A = k_B$, $n_B = k_A$.

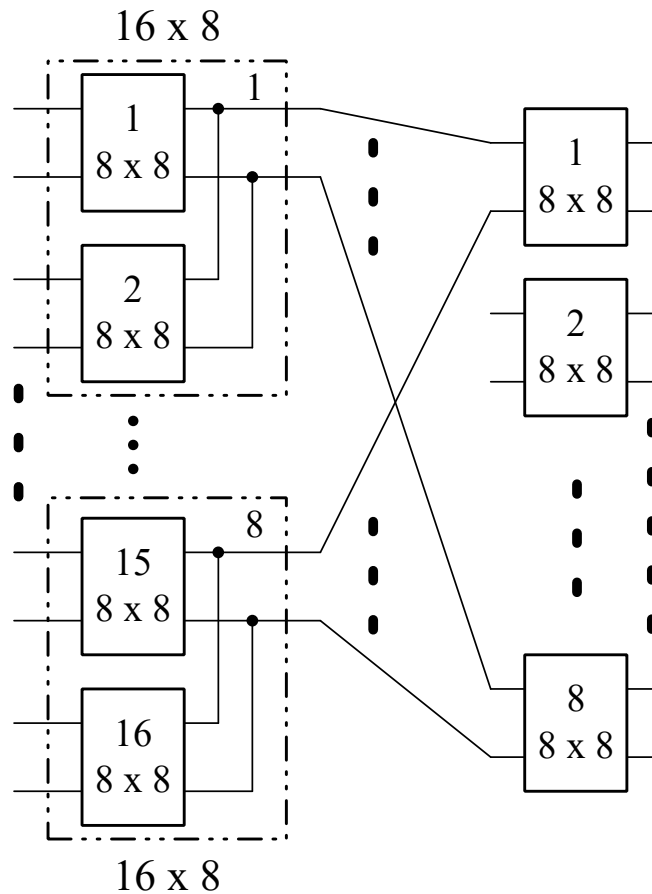


Рисунок 2.1 – Дволанкова комутаційна схема побудована з блоків комутації ємністю 8 x 8

Задача 2.2. Визначити мінімальну зв'язність f між блоками комутації у дволанковій комутаційній схемі, що не блокується, з параметрами $n_A = k_A = m_B = k_B$ (таблиця 2.2). Знайти для неї кількість точок комутації й порівняти з одноланковою комутаційною схемою.

Таблиця 2.2 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$n_A = k_A = m_B = k_B$	Варіант	$n_A = k_A = m_B = k_B$
0	3		
1	4	16	19
2	5	17	20
3	6	18	21
4	7	19	22
5	8	20	23
6	9	21	24
7	10	22	25
8	11	23	26
9	12	24	27
10	13	25	28
11	14	26	29
12	15	27	30
13	16	28	31
14	17	29	32
15	18	30	33

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо параметри дволанкової комутаційної схеми. Дволанкова комутаційна схема буде такою, що не блокується, якщо всі входи одного блока комутації першої ланки можуть бути з'єднані з усіма виходами одного блока комутації другої ланки. Для дволанкової комутаційної схеми це можливо, якщо кількість проміжних ліній (ПЛ) між кожним із блоків комутації першої ланки буде дорівнювати кількості входів блока комутації 1-ї ланки – n_A або кількості виходів блока комутації 2-ї ланки – m_B . Тому необхідне значення зв'язності можна знайти як $f = n_A = m_B = 3$. Тепер можна визначити інші параметри дволанкової комутаційної схеми: $m_A = n_B = f \cdot k_B = 3 \cdot 3 = 9$.

2 Знаходимо кількість точок комутації дволанкової комутаційної схеми як

$$S = n_A m_A k_A + n_B m_B k_B = 3 \cdot 9 \cdot 3 + 3 \cdot 9 \cdot 3 = 162.$$

3 Знаходимо кількість точок комутації еквівалентної за числом входів і виходів одноланкової комутаційної схеми:

$$S = NM = n_A k_A m_B k_B = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 81.$$

Задача 2.3. Розрахувати параметри триланкової комутаційної схеми, що не блокується, з кількістю входів і виходів $N = M$ (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	$N = M$	Варіант	$N = M$	Варіант	$N = M$
0	131072				
1	32768	11	32768	21	32768
2	8192	12	8192	22	8192
3	2048	13	2048	23	2048
4	512	14	512	24	512
5	128	15	128	25	128
6	32	16	32	26	32
7	8	17	8	27	8
8	254288	18	254288	28	254288
9	2097152	19	2097152	29	2097152
10	8388608	20	8388608	30	8388608

Приклад розв’язання для варіанта № 0.

1 Визначаємо оптимальне за критерієм мінімуму точок комутації значення $n = n_1 = m_3$ (рисунок 2.2):

$$n = n_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{N}{2}} = \sqrt{\frac{131072}{2}} = 256.$$

2 Використовуючи умову неблокованості для триланкової комутаційної схеми, визначаємо кількість блоків комутації 2-ї ланки комутаційної схеми k_2 , та кількість виходів блоків комутації 1-ї ланки m_1 і кількість входів блоків комутації 3-ї ланки n_3 :

$$k_2 = m_1 = n_3 = k = 2n - 1 = 2 \cdot 256 - 1 = 511.$$

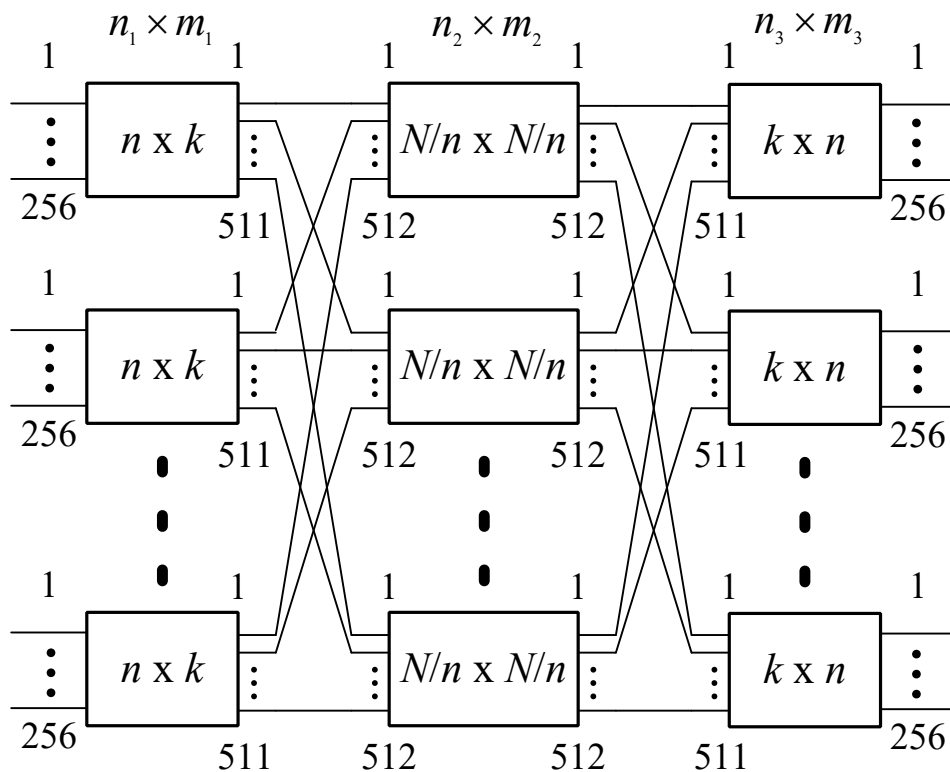
3 Знаходимо кількість блоків комутації 1-ї та 3-ї ланок:

$$k_1 = k_3 = \frac{N}{n} = \frac{131072}{256} = 512.$$

4 Знаходимо кількість входів n_2 та виходів m_2 комутаторів 2-ї ланки як

$$n_2 = m_2 = k_1 = k_3 = \frac{N}{n} = \frac{131072}{256} = 512.$$

5 Складаємо комутаційну схему з розрахованими параметрами (рисунок 2.2).



$$k_1 = \frac{N}{n} = 512 \quad k_2 = k = 2n - 1 = 511 \quad k_3 = \frac{N}{n} = 512$$

Рисунок 2.2 – Триланкова комутаційна схема, що не блокується, з 131 072 входами та виходами

Задача 2.4. Використовуючи ітераційний спосіб побудови багатоланкових комутаційних схем, побудувати п'ятиланкову комутаційну схему, що не блокується, з триланкової, розглянутої в задачі 2.3 (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$N_2 = M_2$	Варіант	$N_2 = M_2$	Варіант	$N_2 = M_2$

0	512				
1	256	11	256	21	256
2	128	12	128	22	128
3	64	13	64	23	64
4	512	14	512	24	512
5	128	15	128	25	128
6	8	16	8	26	8
7	4	17	4	27	4
8	1024	18	1024	28	1024
9	2048	19	2048	29	2048
10	8192	20	8192	30	8192

Приклад розв'язання для варіанта № 0. Для побудови ітераційним способом неблокованої п'ятиланкової комутаційної схеми необхідно замінити кожний одноланковий блок комутації 2-ї ланки неблокованого триланкового комутатора, розрахованого в задачі 2.3 (рисунок 2.2), неблокованим триланковим блоком комутації ємністю 512 x 512.

1 Визначаємо оптимальне за критерієм мінімуму точок комутації значення n_2 :

$$n_2 = n_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{N}{2}} = \sqrt{\frac{512}{2}} = 16.$$

2 Використовуючи умову неблокуємості для триланкової комутаційної схеми, визначаємо параметр m_2 :

$$m_2 = 2n_2 - 1 = 2 \cdot 16 - 1 = 31.$$

3 Складаємо комутаційну схему з розрахованими параметрами (рисунок 2.3).

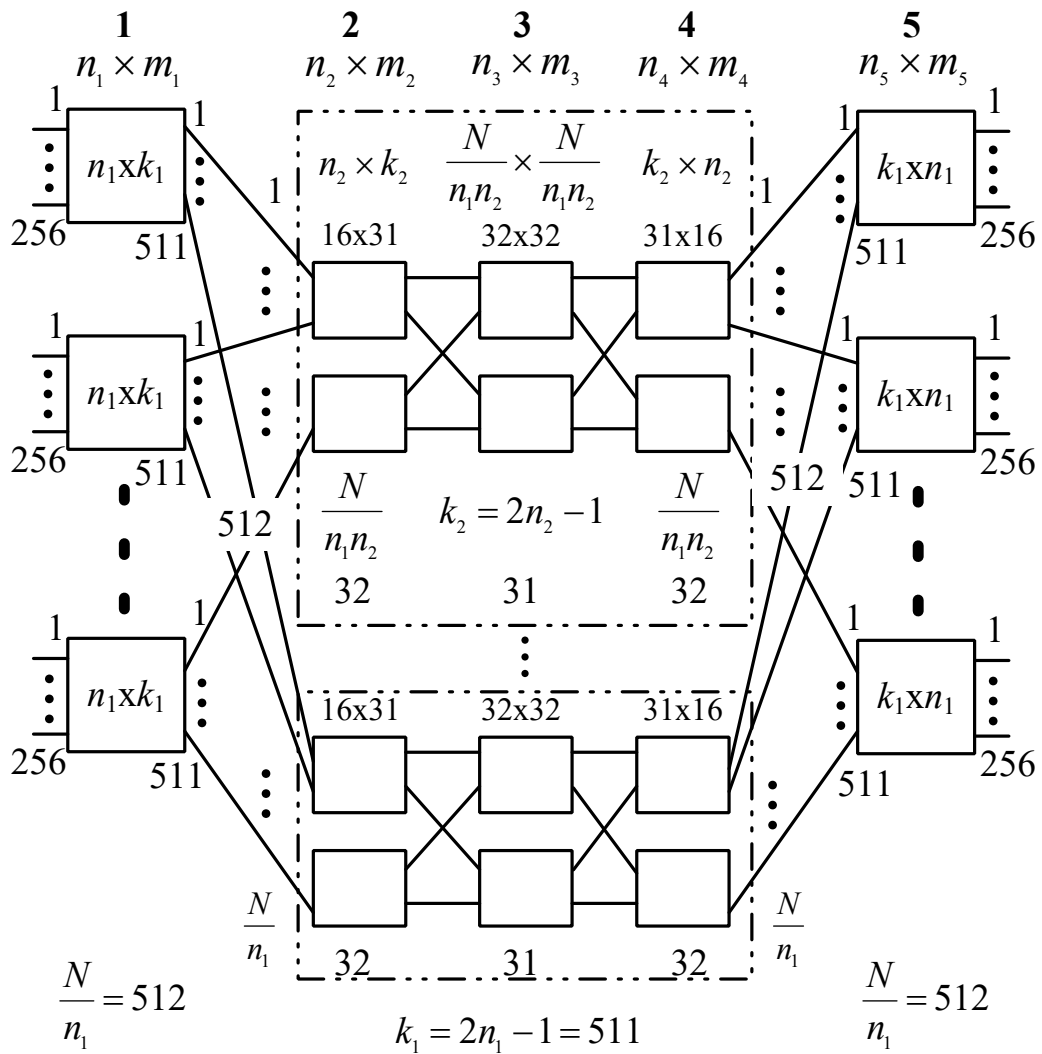


Рисунок 2.3 – П'ятиланкова комутаційна схема, що не блокується, з 131 072 входами та виходами

Задача 2.5. Вивести вираз для розрахунку ймовірності втрат у режимі лінійного шукання для триланкової комутаційної схеми з такими параметрами: $n_1, m_1, k_1, n_2, m_2, k_2, n_3, m_3, k_3, f_1 = f_2 = 1$ (таблиця 2,5). Вважати, що інтенсивність навантаження, обслуженого всією комутаційною схемою, дорівнює Y_{Σ} . За допомогою виведеного виразу розрахувати ймовірність втрат для конкретного варіанта вихідних даних. Для виведення виразу використовувати узагальнений метод імовірнісних графів, поданий у додатку II.

Таблиця 2.5 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	Y_{Σ} , Ерл	$n_1 = m_1 =$ $=n_3 = m_3$	$k_1 = k_3$	$n_2 = m_2$	k_2
0	10	8	4	8	8
1	12	8	8	4	8
2	14	16	8	4	8
3	11	16	8	4	4
4	7	4	8	4	8
5	10	4	8	16	8
6	16	4	16	16	8
7	15	4	16	16	16
8	25	8	8	16	16
9	28	8	8	8	16
10	22	8	8	16	4
11	19	8	4	16	16
12	24	8	8	4	16
13	30	16	4	4	16
14	11	16	4	4	4
15	21	16	4	8	4
16	32	16	4	8	8
17	26	8	8	32	4
18	29	8	8	4	32
19	9	4	8	4	32
20	16	4	32	4	32
21	20	4	32	8	32
22	26	4	16	8	32
23	28	32	4	8	4
24	25	32	4	4	8
25	14	32	4	4	4
26	12	32	8	4	4
27	37	16	8	32	2
28	5	4	32	4	4
29	8	4	4	32	4
30	6	4	4	32	8

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Визначаємо інтенсивність навантаження, обслуженого ПЛ між 1-ю і 2-ю ланками:

$$a_1 = \frac{Y_{\Sigma}}{m_1 k_1} = \frac{10}{8 \cdot 4} = 0,313$$

та між 2-ю і 3-ю ланками:

$$a_2 = \frac{Y_{\Sigma}}{m_2 k_2} = \frac{10}{8 \cdot 8} = 0,156.$$

2 Знаходимо ймовірність втрат:

$$\begin{aligned} L(2) &= a_2 = 0,156; \\ P_{\text{втр. ЛШ}} &= L(1) = [1 - (1 - a_1)(1 - a_2)]^{m_1} = \\ &= [1 - (1 - 0,313)(1 - 0,156)]^8 = 9,67 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Задача 2.6. Розрахувати ймовірність втрат у режимі групового шукання дволанкової комутаційної схеми з такими параметрами: $n_1 = n_2 = m_2 = k_1$, $m_1 = k_2$, h , q_1 , q_2 . Інтенсивність навантаження, обслужене 1-м напрямком, – Y_{21} , а другим – Y_{22} (таблиця 2.6). Розрахунок проводити з використанням узагальненого методу імовірнісних графів, поданому в додатку И.

Таблиця 2.6 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$n_1 = n_2 = m_2 = k_1$	$m_1 = k_2$	h	q_1	q_2	Y_{21} , Ерл	Y_{22} , Ерл
1	2	3	4	5	6	7	8
0	10	7	2	6	4	25,2	14
1	15	8	2	4	6	30	12
2	16	6	2	4	6	10	25
3	9	10	2	4	6	28	31
4	7	9	2	4	6	16	23
5	12	8	2	4	6	24	11
6	11	10	2	6	4	33	29
7	13	6	2	6	4	25	12
8	9	5	2	6	4	14	9

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8
9	14	8	2	6	4	28	23
10	8	9	2	6	4	17	29
11	10	7	2	3	5	15	22
12	15	8	2	3	5	19	16
13	16	6	2	3	5	9	20
14	9	10	2	3	5	25	18
15	7	9	2	3	5	23	13
16	12	8	2	5	3	35	15
17	11	10	2	5	3	30	27
18	13	6	2	5	3	21	16
19	9	5	2	5	3	23	11
20	14	8	2	5	3	29	22
21	8	9	2	5	3	24	19
22	10	7	2	3	6	11	28
23	15	8	2	3	6	22	30
24	16	6	2	3	6	16	29
25	9	10	2	3	6	19	32
26	7	9	2	3	6	17	23
27	12	8	2	6	3	26	17
28	11	10	2	6	3	38	20
29	13	6	2	6	3	28	10
30	9	5	2	6	3	25	9

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Знаходимо інтенсивність навантаження, обслуженого однією лінією на виході 2-ї ланки в 1-му напрямку:

$$a_{21} = \frac{Y_{21}}{q_1 k_2} = \frac{25,2}{6 \cdot 7} = 0,6 \text{ Ерл.}$$

2 Знаходимо інтенсивність навантаження, обслуженого однією лінією на виході 2-ї ланки в 2-му напрямку:

$$a_{22} = \frac{Y_{22}}{q_2 k_2} = \frac{14}{4 \cdot 7} = 0,5 \text{ Ерл.}$$

3 Знаходимо інтенсивність навантаження, обслуженого однією ПЛ лінією між 1-ю і 2-ю ланками:

$$a_1 = \frac{Y_{\Sigma}}{m_1 k_1} = \frac{Y_{21} + Y_{22}}{m_1 k_1} = \frac{25,2 + 14}{7 \cdot 10} = 0,56 \text{ Ерл.}$$

4 Обчислюємо ймовірність втрат для 1-го напрямку:

$$L_1(2) = a_{21}^{q_1} = 0,6^6 = 0,05;$$

$$P_{\text{втр.ГШ1}} = L_1(1) = [1 - (1 - a_1)(1 - L_1(2))]^{m_1} = 0,02.$$

5 Обчислюємо ймовірність втрат для 2-го напрямку:

$$L_2(2) = a_{22}^{q_2} = 0,5^4 = 0,06;$$

$$P_{\text{втр.ГШ1}} = L_1(1) = [1 - (1 - a_1)(1 - L_2(2))]^{m_1} = 0,02.$$

6 Знаходимо інтенсивність навантаження, що надходить у 1-й та 2-й напрямки:

$$Y_{\text{надх.1}} = \frac{Y_{21}}{1 - L_1(1)} = \frac{25,2}{1 - 0,02} = 25,7 \text{ Ерл};$$

$$Y_{\text{надх.2}} = \frac{Y_{22}}{1 - L_2(1)} = \frac{14}{1 - 0,02} = 14,3 \text{ Ерл.}$$

7 Знаходимо сумарну інтенсивність навантаження, що надходить на комутаційну схему:

$$Y_{\text{надх.}} = Y_{\text{надх.1}} + Y_{\text{надх.2}} = 25,7 + 14,3 = 40 \text{ Ерл.}$$

Задача 2.7. Нехай використовується запам'ятовувальний пристрій з тривалістю звернення до нього $t_{\text{зв.}}$. Визначити максимальну кількість каналних інтервалів (каналів) C , які можуть бути обслужені блоком часової комутації на основі цього запам'ятовувального пристрою. При розрахунках прийняти тривалість циклу $T_{\text{ц}} = 125 \text{ мкс}$, кількість бітів у каналному інтервалі $B = 8$.

Таблиця 2.7 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	$t_{\text{зв.}}$, нс	Варіант	$t_{\text{зв.}}$, нс
0	15,2		

Варіант	$t_{зв}, \text{нс}$	Варіант	$t_{зв}, \text{нс}$
1	17	16	10
2	14	17	12
3	11	18	19
4	8	19	22
5	16	20	25
6	13	21	28
7	9	22	31
8	20	23	34
9	23	24	37
10	26	25	40
11	29	26	33
12	18	27	36
13	21	28	39
14	24	29	32
15	27	30	35

Приклад розв'язання для варіанта № 0.

1 Визначаємо максимальну кількість каналів (двопроводових) з урахуванням округлення в менший бік до значення кратного 2^i , де i – ціле число:

$$C' = \frac{T_{ц}}{2t_{зв.}} = \frac{125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 15,2 \cdot 10^{-9}} = 4112 \text{ канал}; \quad C'' = 2^i = 2^{13} = 8192 \text{ канал.}$$

З урахуванням вимоги на чотирипроводове з'єднання кількість каналів буде дорівнювати $C = C''/2 = 8192/2 = 4096$.

2 Визначаємо об'єм пам'яті мовного запам'ятовувального пристрою:

$$MEM_{МЗП} = C \times B = 4096 \times 8 \text{ біт.}$$

3 Визначаємо об'єм пам'яті керуючого запам'ятовувального пристрою

$$MEM_{ТКЗП} = C \times \log_2 C = 4096 \times \log_2 4096 = 4096 \times 12 \text{ біт.}$$

Задача 2.8. Визначити складність реалізації схеми просторово-часової комутації (рисунок 2.4) з такими параметрами: $N/M \times N/M$, кількість бітів у каналному інтервалі -

$C_1 = C_2 = C$. Вважати, що схема просторової комутації одноланкова.

Таблиця 2.8 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	N	M	C_1	C_2	Варіант	N	M	C_1	C_2
0	64	64	32	32					
1	32	32	32	32	16	128	128	128	128
2	32	32	16	16	17	128	128	64	64
3	32	32	8	8	18	128	128	32	32
4	32	32	4	4	19	128	128	16	16
5	64	64	64	64	20	128	128	8	8
6	64	64	16	16	21	128	128	4	4
7	64	64	8	8	22	64	64	128	128
8	64	64	4	4	23	32	32	128	128
9	4	4	32	32	24	16	16	128	128
10	8	8	32	32	25	8	8	128	128
11	16	16	32	32	26	4	4	128	128
12	32	32	64	64	27	256	256	256	256
13	16	16	64	64	28	256	256	128	128
14	8	8	64	64	29	256	256	64	64
15	4	4	64	64	30	32	32	256	256

Приклад розв'язання для варіанта № 0. З умовного позначення такої комутаційної схеми $(N/C_1) \times (M/C_2)$ випливає, що кількість вхідних трактів з часовим розділенням дорівнює кількості вихідних трактів: $N = M$, кількість каналних інтервалів вхідних трактів дорівнює кількості каналних інтервалів вихідних трактів: $C_1 = C_2 = C$.

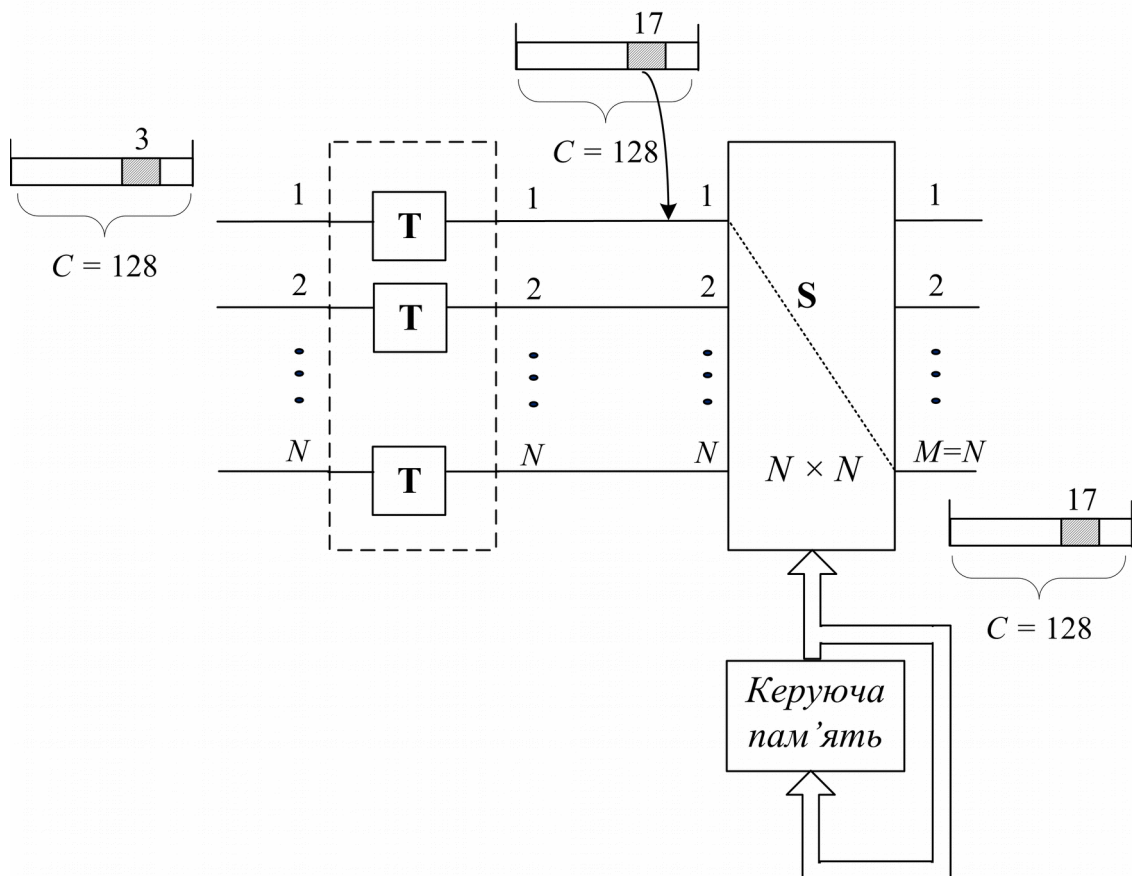


Рисунок 2.4 – Схема просторово-часової комутації

1 Визначаємо кількість точок комутації схеми просторової комутації:

$$T_s = N^2 = 4\,096.$$

2 Визначаємо об'єм керуючої пам'яті схеми просторової комутації $MEM_{TKЗП}$ (оскільки кількість входів дорівнює кількості виходів, то об'єм керуючої пам'яті не залежить від способу керування):

$$MEM_{TKЗП} = C \log_2 N = 32 \cdot 64 \cdot \log_2 64 = 12\,288 \text{ біт.}$$

3 Визначаємо об'єм пам'яті мовного запам'ятовувального пристрою $MEM_{МЗП}$:

$$MEM_{МЗП} = C \times B = 32 \times 8 = 256 \text{ біт.}$$

4 Визначаємо об'єм пам'яті керуючого запам'ятовувального пристрою схеми часової комутації $MEM_{TKЗП}$:

$$MEM_{ТКЗП} = C \times \log_2 C = 32 \times \log_2 32 = 32 \times 5 = 160 \text{ біт.}$$

5 Визначаємо складність реалізації комутаційної схеми:

$$Q = T_s + \frac{MEM}{100} = T_s + \frac{MEM_{СКЗП} + MEM_{МЗП} + MEM_{ТКЗП}}{100} =$$

$$= 4\,096 + \frac{12\,288 + 256 + 160}{100} = 4\,096 + 127 = 4\,223$$

екв. точ. комут.

Задача 2.9. Побудувати схему ЦКП ємністю $N \times C$ каналів 1 класу типу $S-T-S$ для N вхідних і N вихідних трактів з C каналами з часовим розділенням кожний (таблиця 2.3). Вважати, що в першій ланці використовується керування по виходу, а в третій - керування по входу. Визначити складність реалізації ЦКП для таких випадків:

- 1) ЦКП, що блокується з імовірністю блокування не більше $P_{\text{бл.лпш}}$ при ймовірності заняття одного каналу ω ;
- 2) ЦКП, що не блокується.

Таблиця 2.9 – Варіанти завдань для самостійного розв’язання

Варіант	ω	$P_{\text{бл.лпш}}$	N	C	$N \times C$	Варіант	ω	$P_{\text{бл.лпш}}$	N	C	$N \times C$
0	0,1	0,002	16	128	2048						
1	0,12	0,002	16	128	2048	16	0,12	0,001	32	128	4096
2	0,14	0,002	16	128	2048	17	0,14	0,003	32	128	4096
3	0,16	0,002	16	128	2048	18	0,16	0,003	32	128	4096
4	0,18	0,002	16	128	2048	19	0,18	0,003	32	128	4096
5	0,2	0,002	16	128	2048	20	0,2	0,003	32	128	4096
6	0,12	0,008	16	128	2048	21	0,12	0,008	64	128	8192
7	0,14	0,008	16	128	2048	22	0,14	0,006	64	128	8192
8	0,16	0,007	16	128	2048	23	0,16	0,005	64	128	8192
9	0,18	0,004	16	128	2048	24	0,18	0,004	64	128	8192
10	0,2	0,003	16	128	2048	25	0,2	0,003	64	128	8192
11	0,12	0,009	32	128	4096	26	0,12	0,002	32	256	4096
12	0,14	0,009	32	128	4096	27	0,14	0,003	32	256	4096
13	0,16	0,009	32	128	4096	28	0,16	0,002	32	256	4096
14	0,18	0,009	32	128	4096	29	0,18	0,004	32	256	4096
15	0,2	0,008	32	128	4096	30	0,2	0,003	32	256	4096

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (випадок 1). Визначимо мінімальну кількість блоків часової комутації центральної ланки, необхідну для забезпечення заданого значення ймовірності блокування. Для цього використовуємо наведений нижче вираз, у якому шляхом зміни k домагаємося того, щоб $P_{\text{бл.лш}} \leq 0,002$. Таким чином, одержуємо, що при значенні $k = 7$

$$P_{\text{бл.лш}} = \left[1 - \left(1 - \omega \frac{N}{k} \right)^2 \right]^k = \left[1 - \left(1 - 0,1 \cdot \frac{16}{7} \right)^2 \right]^7 = 0,0017 \leq 0,002.$$

Схема ЦКП показана на рисунку 2.5.

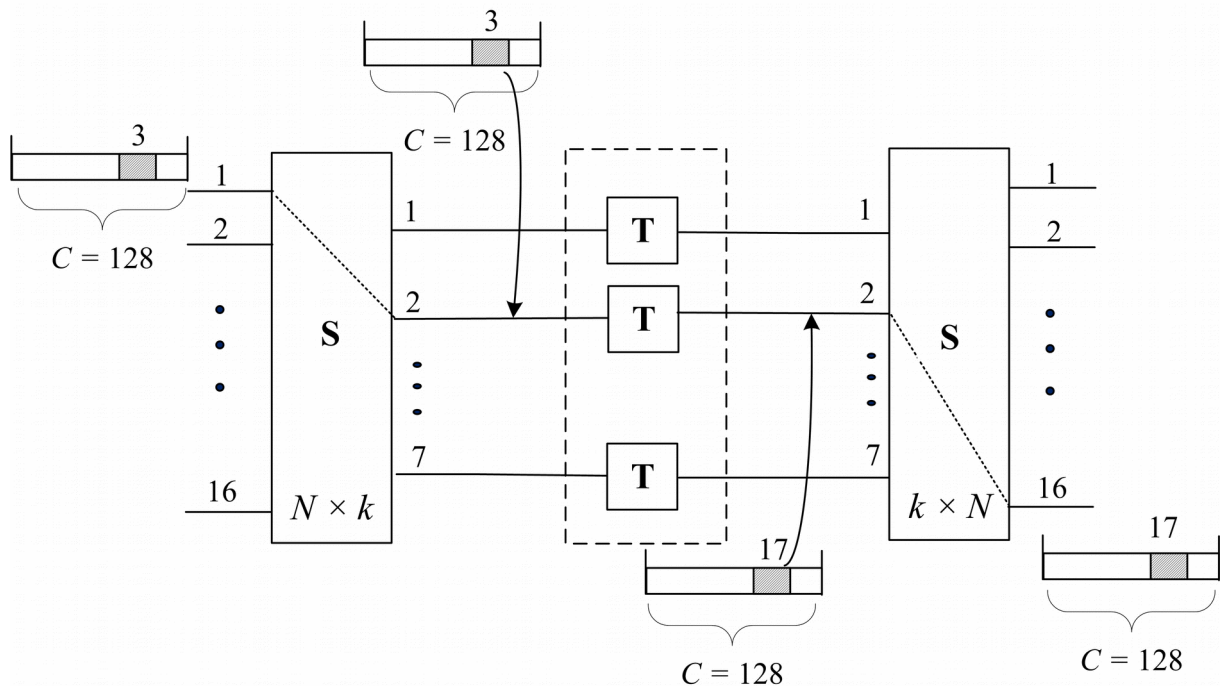


Рисунок 2.5 – Схема ЦКП 1 класу типу $S-T-S$ для $P_{\text{бл.лш}} = 0,0017$ при $\omega = 0,1$

Використовуючи знайдене значення $k = 7$, можна визначити складність реалізації ЦКП із виразу

$$\begin{aligned} Q &= 2kN + \frac{2kC \log_2 N + 8kC + kC \log_2 C}{100} = \\ &= 2 \cdot 7 \cdot 16 + \frac{2 \cdot 7 \cdot 128 \cdot \log_2 16 + 8 \cdot 7 \cdot 128 + 7 \cdot 128 \cdot \log_2 128}{100} = \\ &= 224 + \frac{20\,608}{100} = 430 \end{aligned}$$

Приклад розв'язання екв. точ. комут. № 0 (випадок 2). ЦКП буде таким, що повністю перекриває, якщо кількість блоків

комутації другої ланки буде задовольняти умову Клоза:
 $k = 2N - 1 = 2 \cdot 16 - 1 = 31$. Визначаємо складність ЦКП:

$$\begin{aligned}
 Q &= 2kN + \frac{2kC \log_2 N + 8kC + kC \log_2 C}{100} = \\
 &= 2 \cdot 31 \cdot 16 + \frac{2 \cdot 31 \cdot 128 \cdot \log_2 16 + 8 \cdot 31 \cdot 128 + 31 \cdot 128 \cdot \log_2 128}{100} = \\
 &= 992 + \frac{91264}{100} = 1905
 \end{aligned}$$

екв. точ. комут.

Задача 2.10. Побудувати схему ЦКП з мноністю $N \times C$ каналів 2 класу типу $T-S-T$ для N вхідних і N вихідних трактів з C каналами з часовим поділом кожний. Визначити складність реалізації ЦКП для таких випадків:

- 1) ЦКП, що блокується з імовірністю блокування не більше $P_{\text{бл. лш}}$ при ймовірності заняття одного каналу ω ;
- 2) ЦКП, що не блокується.

При розрахунках використовувати вихідні дані з таблиці 2.9.

Приклад розв'язання для варіанта № 0 (випадок 1). Визначимо мінімальну кількість каналних інтервалів центральної ланки, необхідну для забезпечення заданого значення ймовірності блокування. Для цього використовуємо вираз, наведений нижче, у якому шляхом зміни кількості каналів з часовим поділом L у блоці просторової комутації S домагаємося того, щоб $P_{\text{бл. лш}} \leq 0,002$. Таким чином, отримуємо, що при значенні $L = 25$

$$P_{\text{бл. лш}} = \left[1 - \left(1 - \omega \frac{C}{L} \right)^2 \right]^L = \left[1 - \left(1 - 0,1 \frac{128}{25} \right)^2 \right]^{25} = 0,0011 \leq 0,002.$$

Схема ЦКП показана на рисунку 2.6.

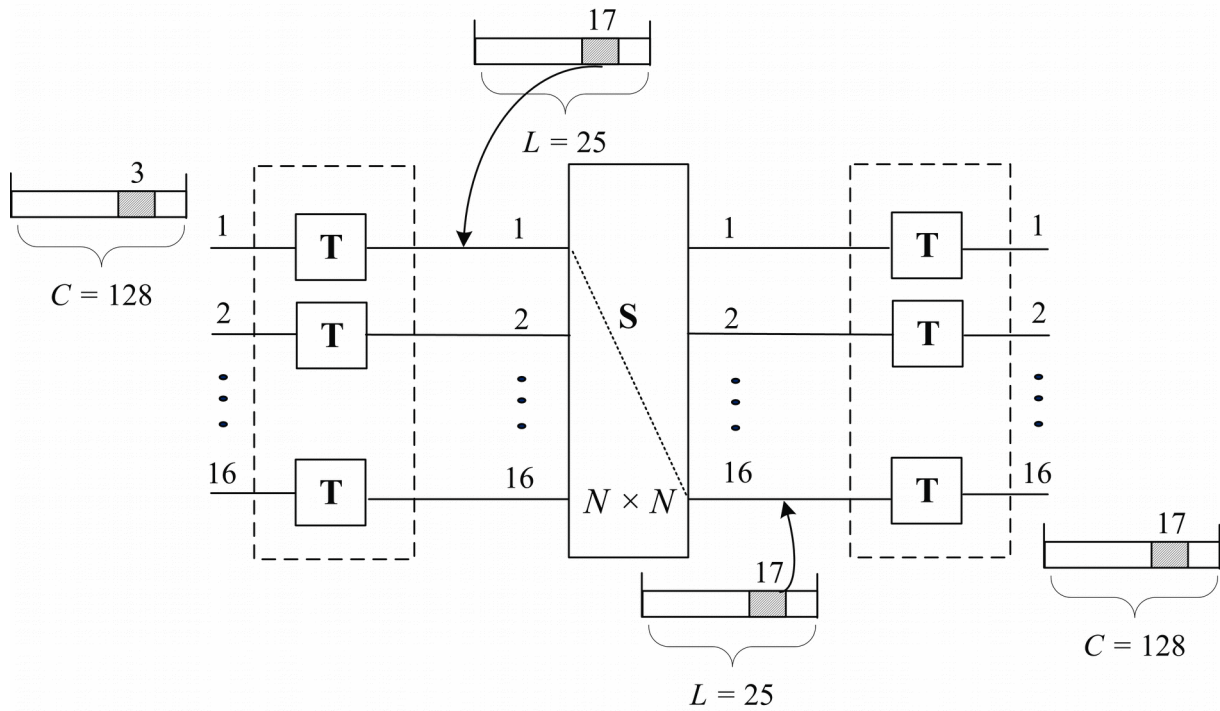


Рисунок 2.6 – Схема ЦКП 2 класу типу $T-S-T$ для $P_{\text{бл.лш}} = 0,0011$ при $\omega = 0,1$

Використовуючи знайдене значення $L = 25$, визначимо складність реалізації ЦКП із виразу

$$\begin{aligned}
 Q &= T_S^{\text{II}} + \frac{MEM_{\text{СКЗП}}^{\text{II}} + MEM_{\text{МЗП}}^{\text{I}} + MEM_{\text{МЗП}}^{\text{III}} + MEM_{\text{ТКЗП}}^{\text{I}} + MEM_{\text{ТКЗП}}^{\text{III}}}{100} = \\
 &= N^2 + \frac{NL \log_2 N + 2 \cdot 8NC + 2NL \log_2 C}{100} = \\
 &= 16^2 + \frac{16 \cdot 25 \cdot \log_2 16 + 2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 128 + 2 \cdot 16 \cdot 25 \cdot \log_2 128}{100} = \\
 &= 656 \text{ экв.точок комут.}
 \end{aligned}$$

II экв. точ. комут. **ня для варіанта № 0 (випадок 2).** ЦКП буде таким, що повністю не блокується, якщо $L = 2C - 1 = 2 \cdot 128 - 1 = 255$.

Тепер визначимо складність ЦКП:

$$\begin{aligned}
 Q &= T_S^{\text{II}} + \frac{MEM_{\text{СКЗП}}^{\text{II}} + MEM_{\text{МЗП}}^{\text{I}} + MEM_{\text{МЗП}}^{\text{III}} + MEM_{\text{ТКЗП}}^{\text{I}} + MEM_{\text{ТКЗП}}^{\text{III}}}{100} = \\
 &= 16^2 + \frac{16 \cdot 255 \cdot \log_2 16 + 2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 128 + 2 \cdot 16 \cdot 255 \cdot \log_2 128}{100} = \\
 &= 1319 \text{ экв.точок комут.}
 \end{aligned}$$

екв. точ. комут.

Задати на бл. визначити складність реалізації ЦКП 2 класу типу $T-S-S-S-T$ ємністю $N \times C$ каналних інтервалів з імовірністю

блокування не більше $P_{\text{бл.лш}}$ при середній імовірності зайняття одного каналу ω . Вважати, що ЦКП має N вхідних трактів з часовим розділенням каналів по C каналних інтервалах у кожному тракті (таблиця 2.10). Крім того, прийняти, що кількість каналних інтервалів ланки просторової комутації L дорівнює кількості каналних інтервалів вхідних трактів.

Таблиця 2.10 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	ω	$P_{\text{бл.лш}}$	N	C	Варіант	ω	$P_{\text{бл.лш}}$	N	C
0	0,7	0,002	1024	128					
1	0,72	0,005	1024	128	16	0,72	0,0015	2048	128
2	0,74	0,004	1024	128	17	0,74	0,0025	2048	128
3	0,76	0,003	1024	128	18	0,76	0,0035	2048	128
4	0,78	0,002	1024	128	19	0,78	0,0045	2048	128
5	0,8	0,006	1024	128	20	0,8	0,0055	2048	128
6	0,72	0,001	1024	256	21	0,72	0,006	2048	256
7	0,74	0,002	1024	256	22	0,74	0,007	2048	256
8	0,76	0,003	1024	256	23	0,76	0,008	2048	256
9	0,78	0,004	1024	256	24	0,78	0,009	2048	256
10	0,8	0,005	1024	256	25	0,68	0,01	2048	256
11	0,72	0,0055	1024	512	26	0,72	0,01	2048	512
12	0,74	0,0045	1024	512	27	0,74	0,009	2048	512
13	0,76	0,0035	1024	512	28	0,76	0,008	2048	512
14	0,78	0,0025	1024	512	29	0,78	0,007	2048	512
15	0,8	0,0015	1024	512	30	0,68	0,006	2048	512

Приклад розв'язання для варіанта № 0

1 Визначаємо кількість трактів з часовим розділенням, які включаються в кожний блок комутації першої ланки триланкового блока просторової комутації: $n = \sqrt{N/2} = \sqrt{1024/2} \approx 23$. Однак виберемо найближче число, кратне степеню числа два – $n = 32$.

2 З наведеного нижче виразу визначаємо, що ймовірності блокування 0,0015 відповідає кількості комутаторів центральної ланки триланкового блока просторової комутації $k = 27$:

$$\begin{aligned}
P_{\text{бл.лш}} &= \left\{ 1 - q_1^2 \left[1 - (1 - q_2^2)^k \right] \right\}^L = \\
&= \left\{ 1 - \left(1 - \omega \frac{C}{L} \right)^2 \left[1 - \left(1 - \left(1 - \omega \frac{Cn}{Lk} \right)^2 \right)^k \right] \right\}^L = \\
&= \left\{ 1 - \left(1 - 0,7 \frac{128}{128} \right)^2 \left[1 - \left(1 - \left(1 - 0,7 \frac{128 \cdot 32}{128 \cdot 27} \right)^2 \right)^{27} \right] \right\}^{128} \approx \\
&\approx 0,0015 \leq 0,002.
\end{aligned}$$

3 Розраховуємо складність ЦКП:

$$\begin{aligned}
Q &= 2Nk + k(N/n)^2 + \\
&+ \frac{2k(N/n)L \log_2 n + k(N/n)L \log_2(N/n) + 2 \cdot 8NC + 2NL \log_2 C}{100} = \\
&= 2 \cdot 1024 \cdot 27 + 27 \cdot (1024/32)^2 + \\
&+ \frac{2 \cdot 27 \cdot (1024/32) \cdot 128 \cdot \log_2 32 + 27 \cdot (1024/32) \cdot 128 \cdot \log_2(1024/32)}{100} + \\
&+ \frac{2 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 128 + 2 \cdot 1024 \cdot 128 \cdot \log_2 128}{100} = 138\,854 \text{ екв. точок комут.}
\end{aligned}$$

Задача 2.12. Побудувати схему триланкового ЦКП 3 класу типу S/T-S-S/T з N вхідними та N вихідними т] екв. точ. комут. розділенням по C каналних інтервалу кожний. для цього використовувати блоки просторово-часової комутації S/T з параметрами S/T: $(n_1 \times C) \times (m_3 \times C)$, а в ланці просторової комутації кількість внутрішніх каналних інтервалів дорівнює $L = C$ (таблиця 2.11). Відповідно до умови Клоза визначити, чи виникають у даному ЦКП внутрішні блокування.

Таблиця 2.12 – Варіанти завдань для самостійного розв'язання

Варіант	ω	N	C	n_1	m_3	Варіант	ω	N	C	n_1	m_3
0	0,8	256	32	4	4						
1	0,78	256	32	4	4	16	0,8	512	32	4	4
2	0,76	256	32	4	4	17	0,82	512	32	4	4
3	0,74	256	32	4	4	18	0,78	512	32	4	4
4	0,72	256	32	4	4	19	0,76	512	32	4	4
5	0,7	256	32	4	4	20	0,74	512	32	4	4
6	0,8	256	32	8	8	21	0,9	512	32	8	8
7	0,82	256	32	8	8	22	0,87	512	32	8	8
8	0,84	256	32	8	8	23	0,85	512	32	8	8

9	0,86	256	32	8	8	24	0,83	512	32	8	8
10	0,88	256	32	8	8	25	0,81	512	32	8	8
11	0,9	256	32	16	16	26	0,91	512	32	16	16
12	0,92	256	32	16	16	27	0,93	512	32	16	16
13	0,88	256	32	16	16	28	0,89	512	32	16	16
14	0,86	256	32	16	16	29	0,87	512	32	16	16
15	0,94	256	32	16	16	30	0,9	512	32	16	16

Приклад розв’язання для варіанта № 0. Загальна схема ЦКП 3 класу показана на рисунку 2.7.

1 Знаходимо кількість блоків S/T у першій і третій ланках ЦКП:

$$k_1 = \frac{N}{n_1} = \frac{256}{4} = 64; \quad k_3 = \frac{N}{m_3} = \frac{256}{4} = 64.$$

2 Визначаємо кількість входів і виходів блоків просторової комутації другої ланки, а також їх кількість:

$$n_2 = m_2 = \frac{N}{n} = 64; \quad k_2 = k = 4.$$

Таким чином, у першій і третій ланках ЦКП буде по 64 блоків просторово-часової комутації S/T: $(4 \times 32) \times (4 \times 32)$, а в центральній ланці ЦКП буде 4 блоки просторової комутації S: $64 \times 64, 32$.

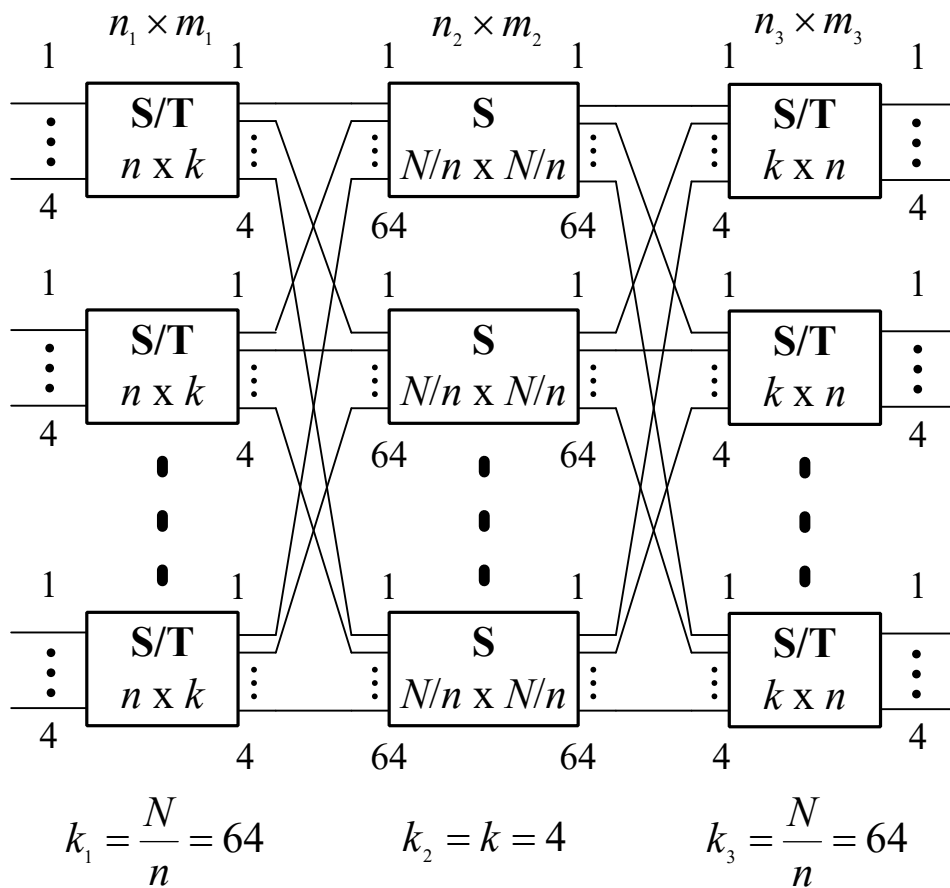


Рисунок 2.7 – Схема ЦКП 3 класу типу S/T-S-S/T ($n_1 = m_3 = n = m_1 = n_3 = k = 4$)

3 Перевіримо, чи буде ЦКП таким, що не блокується. Для цього розрахуємо умову Клоза за такою формулою:

$$kL = 2nC - 1,$$

де для нашого завдання

$$L = C = 32, n = 4.$$

Таким чином отримуємо, що $4 \cdot 32 \neq 2 \cdot 4 \cdot 32 - 1$, тобто умова Клоза не виконується, а це свідчить про те, що розглянуте ЦКП буде працювати з блокуванням.

4 Визначимо імовірність блокування для випадку, коли середня імовірність зайняття одному каналу дорівнює ω :

$$P_{\text{бл. лш}} = \left[1 - \left(1 - \omega \frac{nC}{kL} \right)^2 \right]^{mL} = \left[1 - \left(1 - 0,8 \frac{4 \cdot 32}{4 \cdot 32} \right)^2 \right]^{4 \cdot 32} = 0,005.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Баркун М.А., Ходасевич О.Р. Цифровые системы синхронной коммутации. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 186 с.
- 2 Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.
- 3 Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учеб. для вузов. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
- 4 Автоматическая телефонная связь на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.М. Волков, А.К. Лебединский, А.А. Павловский, Ю.В. Юркин; Под ред. В.М. Волкова. – М.: Транспорт, 1996. – 342 с.
- 5 ВБН В.2.2-33-2007 Споруди станційні місцевих телефонних мереж. – К., 2007. – 98 с.
- 6 Аваков Р.А, Шилов О.С., Исаев В.И. Основы автоматической коммутации. – М.: Радио и связь, 1981. – 420 с.
- 7 Берлин А.Н. Коммутация в системах и сетях связи. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 344 с.
- 8 Кожанов Ю.Ф. Основы автоматической коммутации. – СПб.: SIMENS, 1999. – 147 с.
- 9 Городская телефонная связь: Справочник / Б.З. Берлин, А.С. Брискер, Л.С. Васильева и др.; Под ред. А.С. Брискера и К.П. Мельникова. – М.: Радио и связь, 1987. – 280 с.
- 10 Теория телетрафика: Учеб. для вузов / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
- 11 Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
- 12 Телефонные сети и аппараты / С.Л. Корякин-Черняк, Л.Я. Котенко Под ред. А.А. Пономаренко – С.Пб.: НИЦ «Наука и техника», 1998. – 184 с.
- 13 Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Теорія і синтез систем комутації» та «Системи комутації в електровз'язку» для студентів усіх форм навчання спеціальностей напрямку «Телекомунікації» / Упоряд. А.В. Омельченко, О.В. Федоров, С.В. Омельченко, О.П. Статівка, О.О. Колесніков. – Харків: ХНУРЕ, 2004. – 100 с.

14 Ирвин Дж., Харль. Д Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.

Додаток А
Табульована перша формула Ерланга

Таблиця А.1 – Табульована перша формула Ерланга

Канал <i>N</i>	Навантаження <i>Y</i> , Ерл, при ймовірності втрат <i>P</i>							
	0.00001	0.0001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
1	.00001	.00010	.00100	.00200	.00301	.00402	.00503	.00604
2	.00448	.01425	.04576	.06534	.08064	.09373	.10540	.11608
3	.03980	.08683	.19384	.24872	.28851	.32099	.34900	.37395
4	.12855	.23471	.43927	.53503	.60209	.65568	.70120	.74124
5	.27584	.45195	.76212	.89986	.99446	1.0692	1.1320	1.1870
6	.47596	.72826	1.1459	1.3252	1.4468	1.5421	1.6218	1.6912
7	.72378	1.0541	1.5786	1.7984	1.9463	2.0614	2.1575	2.2408
8	1.0133	1.4219	2.0513	2.3106	2.4837	2.6181	2.7299	2.8266
9	1.3391	1.8256	2.5575	2.8549	3.0526	3.2057	3.3326	3.4422
10	1.6970	2.2601	3.0920	3.4265	3.6480	3.8190	3.9607	4.0829
12	2.4958	3.2072	4.2314	4.6368	4.9038	5.1092	5.2789	5.4250
14	3.3834	4.2388	5.4464	5.9190	6.2291	6.4670	6.6632	6.8320
16	4.3453	5.3390	6.7215	7.2582	7.6091	7.8780	8.0995	8.2898
18	5.3693	6.4959	8.0459	8.6437	9.0339	9.3324	9.5780	9.7889
20	6.4460	7.7005	9.4115	10.068	10.496	10.823	11.092	11.322
22	7.5680	8.9462	10.812	11.525	11.989	12.344	12.635	12.885
24	8.7298	10.227	12.243	13.011	13.510	13.891	14.204	14.472
26	9.9265	11.540	13.701	14.522	15.054	15.461	15.795	16.081
28	11.154	12.880	15.182	16.054	16.620	17.051	17.406	17.709
30	12.417	14.246	16.684	17.606	18.204	18.660	19.034	19.355
32	13.697	15.633	18.205	19.176	19.805	20.284	20.678	21.015
34	15.001	17.041	19.743	20.761	21.421	21.923	22.336	22.689
36	16.325	18.468	21.296	22.361	23.050	23.575	24.006	24.376
38	17.669	19.911	22.864	23.974	24.692	25.240	25.689	26.074
40	19.031	21.372	24.444	25.599	26.346	26.915	27.382	27.782
42	20.409	22.846	26.037	27.235	28.010	28.600	29.085	29.500
44	21.803	24.333	27.641	28.882	29.684	30.295	30.797	31.227
45	22.505	25.081	28.447	29.708	30.525	31.146	31.656	32.093
46	23.211	25.833	29.255	30.538	31.367	31.999	32.517	32.962
47	23.921	26.587	30.066	31.369	32.212	32.854	33.381	33.832
48	24.633	27.344	30.879	32.203	33.059	33.711	34.246	34.704
49	25.349	28.104	31.694	33.039	33.908	34.570	35.113	35.578
50	26.067	28.867	32.512	33.876	34.759	35.431	35.982	36.454

Продовження таблиці А.1

Канал <i>N</i>	Навантаження <i>У</i> , Ерл, при ймовірності втрат <i>P</i>							
	0.007	0.009	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4
1	.00705	00908	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667
2	.12600	.14416	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000
3	.39664	.43711	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798
4	.77729	.84085	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210
5	1.2362	1.3223	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955
6	1.7531	1.8610	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907
7	2.3149	2.4437	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998
8	2.9125	3.0615	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419
9	3.5395	3.7080	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045
10	4.1911	4.3784	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677
12	5.5543	5.7774	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954
14	6.9811	7.2382	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243
16	8.4579	8.7474	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541
18	9.9751	10.296	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844
20	11.526	11.876	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152
22	13.105	13.484	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464
24	14.709	15.116	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779
26	16.334	16.768	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096
28	17.977	18.438	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414
30	19.637	20.123	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735
32	21.312	21.823	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056
34	23.001	23.536	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379
35	23.849	24.397	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041
36	24.701	25.261	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703
37	25.556	26.127	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365
38	26.413	26.996	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028
39	27.272	27.867	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690
40	28.134	28.741	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353
41	28.999	29.616	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016
42	29.866	30.494	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679
43	30.734	31.374	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851	69.342
44	31.605	32.256	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006
45	32.478	33.140	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669
46	33.353	34.026	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333
47	34.230	34.913	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997
48	35.108	35.803	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660
49	35.988	36.694	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324
50	36.870	37.586	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988

Продовження таблиці А.1

Канал <i>N</i>	Навантаження <i>Y</i> , Ерл, при ймовірності втрат <i>P</i>							
	0.00001	0.0001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
51	26.789	29.632	33.332	34.716	35.611	36.293	36.852	37.331
52	27.513	30.400	34.153	35.558	36.466	37.157	37.724	38.211
53	28.241	31.170	34.977	36.401	37.322	38.023	38.598	39.091
54	28.971	31.942	35.803	37.247	38.180	38.891	39.474	39.973
55	29.703	32.717	36.631	38.094	39.040	39.760	40.351	40.857
56	30.438	33.494	37.460	38.942	39.901	40.630	41.229	41.742
57	31.176	34.273	38.291	39.793	40.763	41.502	42.109	42.629
58	31.916	35.055	39.124	40.645	41.628	42.376	42.990	43.516
59	32.659	35.838	39.959	41.498	42.493	43.251	43.873	44.406
60	33.404	36.623	40.795	42.353	43.360	44.127	44.757	45.296
62	34.900	38.200	42.472	44.068	45.099	45.884	46.528	47.081
64	36.405	39.784	44.156	45.788	46.843	47.646	48.305	48.870
66	37.918	41.375	45.845	47.513	48.591	49.412	50.086	50.664
68	39.439	42.973	47.540	49.243	50.345	51.183	51.872	52.462
70	40.967	44.578	49.239	50.979	52.103	52.959	53.662	54.264
72	42.502	46.188	50.944	52.718	53.865	54.739	55.455	56.070
74	44.045	47.805	52.654	54.463	55.632	56.522	57.253	57.880
76	45.593	49.427	54.369	56.211	57.402	58.310	59.054	59.693
78	47.149	51.054	56.087	57.964	59.177	60.101	60.859	61.510
80	48.710	52.687	57.810	59.720	60.955	61.895	62.668	63.330
82	50.277	54.325	59.537	61.480	62.737	63.693	64.479	65.153
84	51.849	55.968	61.269	63.244	64.522	65.495	66.294	66.979
85	52.637	56.791	62.135	64.127	65.415	66.396	67.202	67.893
86	53.427	57.615	63.003	65.011	66.310	67.299	68.111	68.808
87	54.218	58.441	63.872	65.897	67.205	68.202	69.021	69.724
88	55.010	59.267	64.742	66.782	68.101	69.106	69.932	70.640
89	55.804	60.095	65.612	67.669	68.998	70.011	70.843	71.557
90	56.598	60.923	66.484	68.556	69.896	70.917	71.755	72.474
91	57.394	61.753	67.356	69.444	70.794	71.823	72.668	73.393
92	58.192	62.584	68.229	70.333	71.693	72.730	73.581	74.311
93	58.990	63.416	69.103	71.222	72.593	73.637	74.495	75.231
94	59.789	64.248	69.978	72.113	73.493	74.545	75.410	76.151
95	60.590	65.082	70.853	73.004	74.394	75.454	76.325	77.072
96	61.392	65.917	71.729	73.896	75.296	76.364	77.241	77.993
97	62.194	66.752	72.606	74.788	76.199	77.274	78.157	78.915
98	62.998	67.589	73.484	75.681	77.102	78.185	79.074	79.837
99	63.803	68.426	74.363	76.575	78.006	79.096	79.992	80.760
100	64.609	69.265	75.242	77.469	78.910	80.008	80.910	81.684
101	65.416	70.104	76.122	78.364	79.815	80.920	81.829	82.608

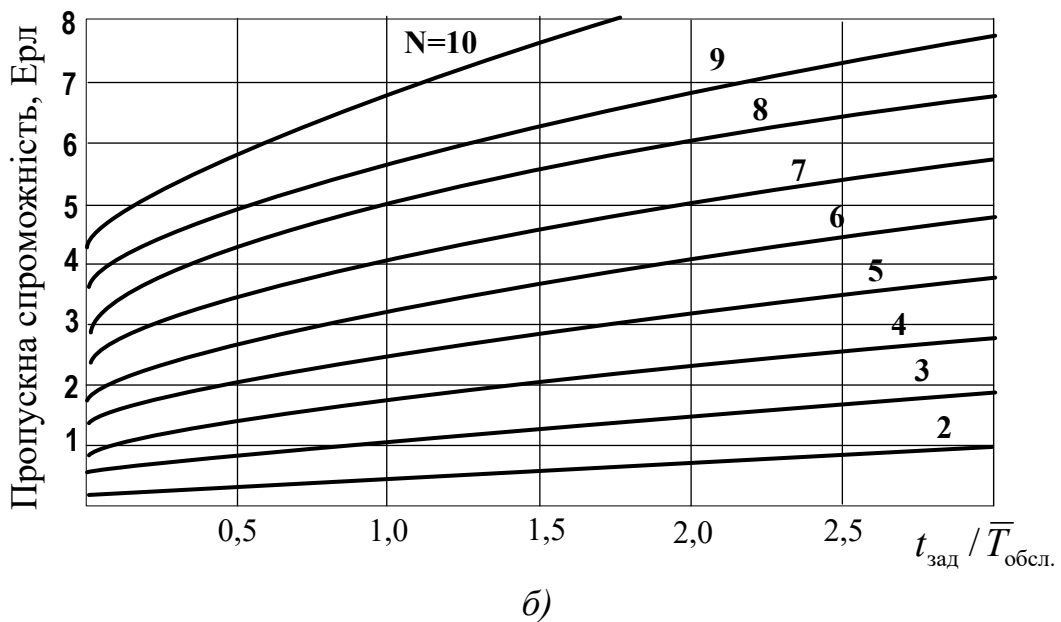
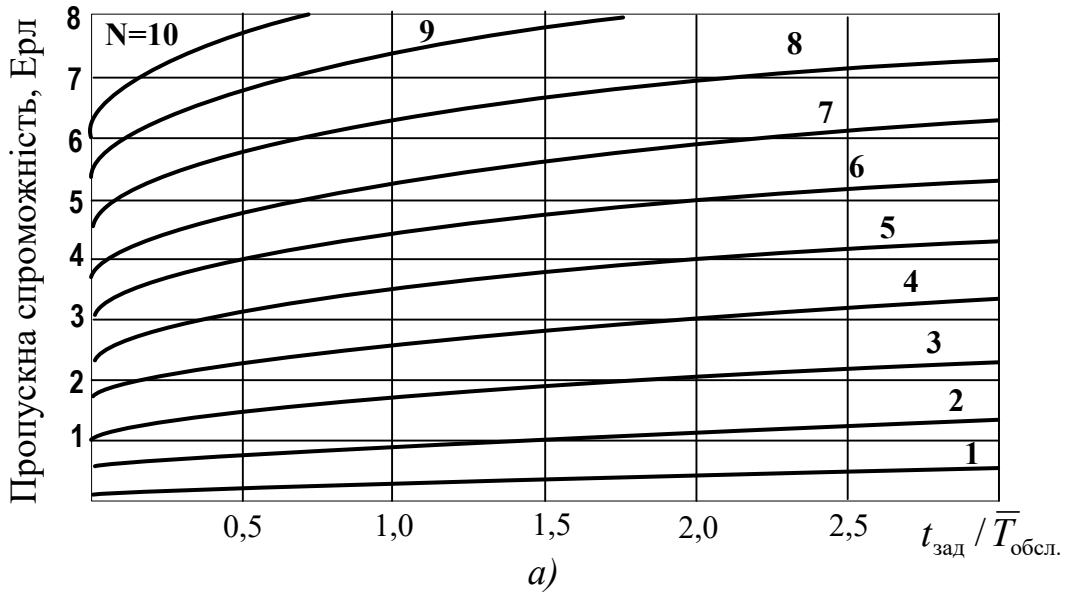
Продовження таблиці А.1

Канал <i>N</i>	Навантаження <i>Y</i> , Ерл, при ймовірності втрат <i>P</i>							
	0.007	0.009	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4
51	37.754	38.48 0	41.18 9	42.89 2	45.53 3	50.64 4	59.74 6	82.65 2
52	38.639	39.37 6	42.12 4	43.85 2	46.53 3	51.72 6	60.98 5	84.31 7
53	39.526	40.27 3	43.06 0	44.81 3	47.53 4	52.80 8	62.22 4	85.98 1
54	40.414	41.17 1	43.99 7	45.77 6	48.53 6	53.89 1	63.46 3	87.64 5
55	41.303	42.07 1	44.93 6	46.73 9	49.53 9	54.97 5	64.70 2	89.31 0
56	42.194	42.97 2	45.87 5	47.70 3	50.54 3	56.05 9	65.94 2	90.97 4
57	43.087	43.87 5	46.81 6	48.66 9	51.54 8	57.14 4	67.18 1	92.63 9
58	43.980	44.77 8	47.75 8	49.63 5	52.55 3	58.22 9	68.42 1	94.30 3
59	44.875	45.68 3	48.70 0	50.60 2	53.55 9	59.31 5	69.66 2	95.96 8
60	45.771	46.58 9	49.64 4	51.57 0	54.56 6	60.40 1	70.90 2	97.63 3
62	47.567	48.40 5	51.53 4	53.50 8	56.58 1	62.57 5	73.38 4	100.9 6
64	49.368	50.22 5	53.42 8	55.45 0	58.59 9	64.75 0	75.86 6	104.2 9
66	51.173	52.04 9	55.32 5	57.39 4	60.61 9	66.92 7	78.35 0	107.6 2
68	52.982	53.87 7	57.22 6	59.34 1	62.64 2	69.10 6	80.83 4	110.9 5
70	54.795	55.70 9	59.12 9	61.29 1	64.66 7	71.28 6	83.31 8	114.2 8
72	56.612	57.54 5	61.03 6	63.24 4	66.69 4	73.46 7	85.80 3	117.6 1
74	58.432	59.38 4	62.94 5	65.19 9	68.72 3	75.64 9	88.28 9	120.9 4
76	60.256	61.22 6	64.85 7	67.15 6	70.75 3	77.83 3	90.77 6	124.2 7
78	62.083	63.07 1	66.77 1	69.11 6	72.78 6	80.01 8	93.26 2	127.6 1
80	63.914	64.91 9	68.68 8	71.07 7	74.82 0	82.20 3	95.75 0	130.9 4
82	65.747	66.77	70.60	73.04	76.85	84.39	98.23	134.2

		1	7	1	6	0	7	7
84	67.583	68.62 5	72.52 9	75.00 7	78.89 3	86.57 8	100.7 3	137.6 0
85	68.503	69.55 3	73.49 0	75.99 0	79.91 2	87.67 2	101.9 7	139.2 6
86	69.423	70.48 1	74.45 2	76.97 4	80.93 2	88.76 7	103.2 1	140.9 3
87	70.343	71.41 0	75.41 5	77.95 9	81.95 2	89.86 1	104.4 6	142.6 0
88	71.264	72.34 0	76.37 8	78.94 4	82.97 2	90.95 6	105.7 0	144.2 6
89	72.186	73.27 1	77.34 2	79.92 9	83.99 3	92.05 1	106.9 5	145.9 3
90	73.109	74.20 2	78.30 6	80.91 5	85.01 4	93.14 6	108.1 9	147.5 9
91	74.032	75.13 4	79.27 1	81.90 1	86.03 5	94.24 2	109.4 4	149.2 6
92	74.956	76.06 6	80.23 6	82.88 8	87.05 7	95.33 8	110.6 8	150.9 2
93	75.880	76.99 9	81.20 1	83.87 5	88.07 9	96.43 4	111.9 3	152.5 9
94	76.805	77.93 2	82.16 7	84.86 2	89.10 1	97.53 0	113.1 7	154.2 6
95	77.731	78.86 6	83.13 4	85.85 0	90.12 3	98.62 6	114.4 2	155.9 2
96	78.657	79.80 1	84.10 0	86.83 8	91.14 6	99.72 2	115.6 6	157.5 9
97	79.584	80.73 6	85.06 8	87.82 6	92.16 9	100.8 2	116.9 1	159.2 5
98	80.511	81.67 2	86.03 5	88.81 5	93.19 3	101.9 2	118.1 5	160.9 2
99	81.439	82.60 8	87.00 3	89.80 4	94.21 6	103.0 1	119.4 0	162.5 9
100	82.367	83.54 5	87.97 2	90.79 4	95.24 0	104.1 1	120.6 4	164.2 5
101	83.296	84.48 2	88.94 1	91.78 4	96.26 5	105.2 1	121.8 9	165.9 2

Додаток Б

Пропускна спроможність СМО типу М/М/Н



а) $P(T_{\text{очік.обсл.}} > t) = 0,1$; б) $P(T_{\text{очік.обсл.}} > t) = 0,01$

Рисунок Б.1 – Залежність пропускної спроможності СМО типу М/М/Н від відносного значення часу очікування $t / \bar{T}_{\text{обсл.}}$ для ймовірності очікування вище часу t

Додаток В Криві Кроммеліна (M/D/1)

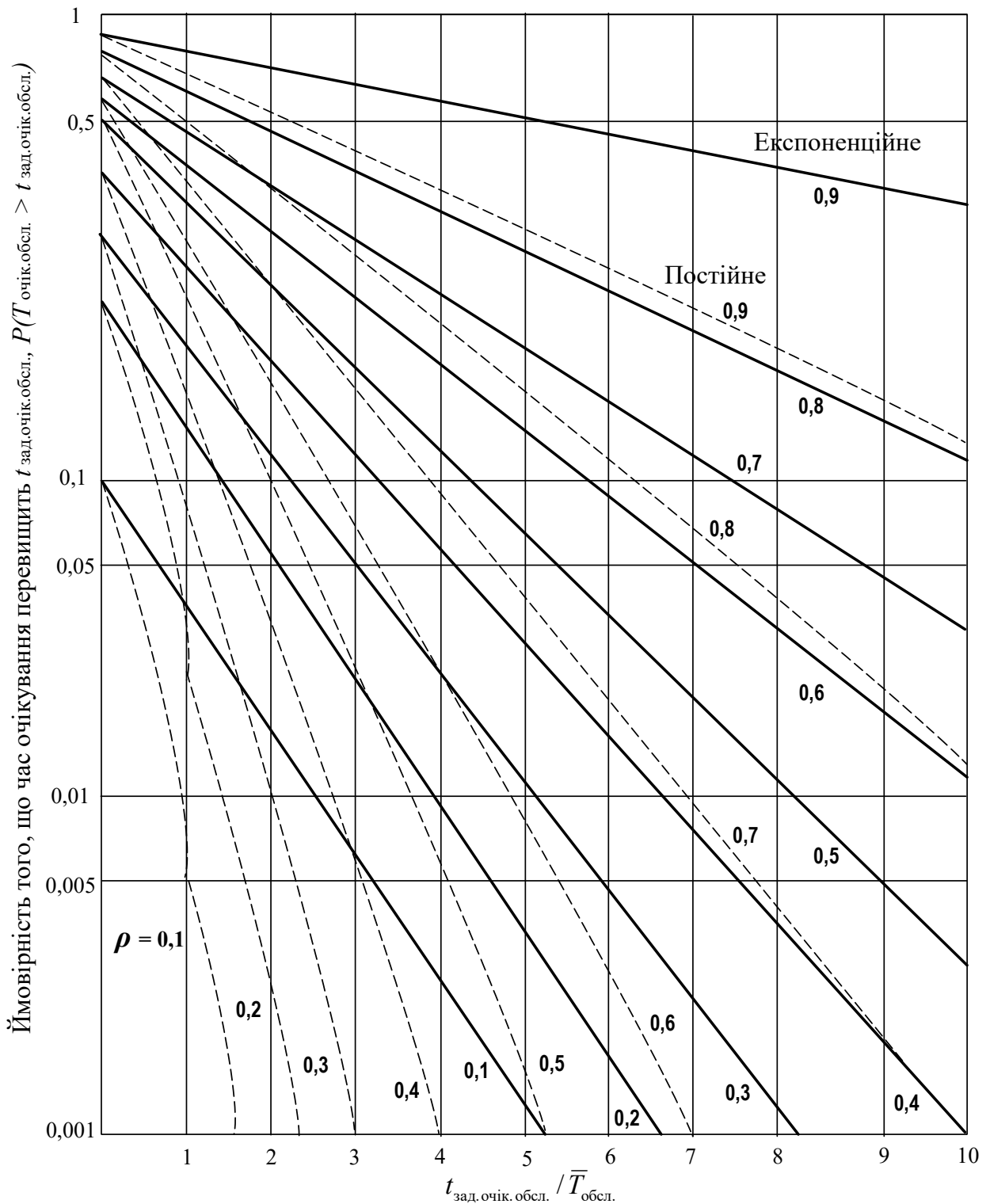


Рисунок В.1 – Розподіл часу очікування в черзі для системи масового обслуговування M/D/1

Додаток Г
Таблиця коефіцієнтів для формули БПВ

Таблиця Г.1 – Значення коефіцієнтів α і β

<i>D</i>	<i>P=0,001</i>		<i>P=0,003</i>		<i>P=0,005</i>		<i>P=0,01</i>	
	α	β	α	β	α	β	α	β
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	3.80	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	1.36	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

Додаток Д

Табульована формула Енгсета

Таблиця Д.1 – Інтенсивність навантаження Y , обслуженого ν -каналним повнодоступним пучком при втратах P та числі джерел навантаження n

ν	Y в Ерл при втратах P				ν	Y в Ерл при втратах P				ν	Y в Ерл при втратах P			
	0,001	0,003	0,005	0,010		0,001	0,003	0,005	0,010		0,001	0,003	0,005	0,010
$n = 8$					30	19,79	21,16	21,78	22,75	38	24,31	25,99	26,87	28,15
3	0,26	0,38	0,45	0,57	32	21,92	23,20	23,89	24,76	40	26,04	27,77	28,66	30,00
4	0,63	0,84	0,96	1,15	34	23,99	25,24	26,00	26,77	45	30,45	32,31	33,26	34,66
5	1,16	1,48	1,65	1,93	$n = 64$					50	34,97	36,92	37,92	39,39
6	1,92	2,32	2,54	2,87	12	4,60	5,20	5,54	6,12	55	39,58	41,62	42,66	44,19
7	2,97	3,47	3,74	4,10	14	5,85	6,61	7,07	7,68	60	44,29	46,40	47,48	49,05
$n = 16$					16	7,23	8,17	8,63	9,26	$n = 192$				
5	0,91	1,18	1,34	1,58	18	8,84	9,74	10,24	11,01	26	14,13	15,45	16,14	17,19
6	1,52	1,74	1,93	2,25	20	10,33	11,40	11,92	12,76	28	15,68	17,07	17,80	18,90
7	1,99	2,39	2,61	2,97	22	11,99	13,09	13,64	14,48	30	17,26	18,72	19,48	20,64
8	2,62	3,13	3,39	3,78	24	13,59	14,81	15,37	16,26	32	18,85	20,38	21,19	22,39
9	3,40	3,91	4,22	4,64	26	15,28	16,51	17,10	18,06	34	20,48	22,07	22,91	24,15
10	4,19	4,87	5,11	5,60	28	17,01	18,30	19,00	19,89	36	22,11	23,77	24,64	25,93
12	6,08	6,82	7,18	7,69	30	18,93	20,34	21,05	21,83	38	23,77	25,48	26,38	27,73
$n = 24$					32	20,66	22,04	22,77	23,85	40	25,44	27,21	28,15	29,53
7	1,86	2,23	2,45	2,80	34	22,58	23,70	24,44	25,70	45	29,69	31,61	32,60	34,09
8	2,40	2,86	3,11	3,52	36	24,43	25,71	26,61	27,81	50	34,03	36,07	37,13	38,69
9	3,05	3,57	3,84	4,27	38	26,42	27,92	28,66	29,66	55	38,43	40,59	41,71	43,36
10	3,72	4,29	4,61	5,05	40	28,46	29,87	30,67	31,79	60	42,91	45,17	46,34	48,06
12	5,23	5,89	6,26	6,78	$n = 96$					65	47,46	49,81	51,02	52,81
14	6,82	7,52	8,09	8,70	16	7,06	7,95	8,42	9,13	70	52,06	54,50	55,75	57,59
16	8,75	9,58	10,05	10,70	18	8,54	9,38	10,03	10,75	75	56,72	59,23	60,52	62,41
18	10,79	11,74	12,05	12,80	20	10,07	11,01	11,52	12,47	80	61,42	64,01	65,33	67,26
$n = 32$					22	11,51	12,64	13,19	14,09	$n = 256$				
8	2,29	2,74	3,00	3,39	24	13,14	14,27	14,91	15,80	30	17,10	18,57	19,34	20,51
9	2,88	3,41	3,68	4,12	26	14,68	15,94	16,63	17,61	32	18,67	20,22	21,03	22,24
10	3,52	4,09	4,43	4,89	28	16,35	17,67	18,36	19,38	34	20,27	21,88	22,72	23,99
12	4,89	5,59	5,96	6,51	30	18,03	19,39	20,13	21,19	36	21,88	23,56	24,44	25,76
14	6,39	7,18	7,60	8,23	32	19,66	21,17	21,90	23,01	38	23,52	25,26	26,16	27,53
16	8,06	8,92	9,30	10,11	34	21,39	22,94	23,72	24,92	40	25,16	26,97	27,90	29,31
18	9,85	10,73	11,21	11,86	36	23,17	24,71	25,54	26,78	45	29,34	31,29	32,31	33,82
20	11,67	12,68	13,18	13,90	38	24,94	26,58	27,31	28,60	50	33,59	35,68	36,77	38,38
22	13,69	14,70	15,22	16,00	40	26,67	28,45	29,23	30,51	55	37,92	40,14	41,28	42,99
24	15,74	16,80	17,37	18,20	45	31,37	33,05	33,97	35,15	80	60,35	63,07	64,47	66
$n = 48$					50	36,07	38,04	38,76	40,28	85	64,98	67,78	69,21	65
10	3,36	3,93	4,23	4,71	$n = 128$					70	51,24	53,78	55,08	57,02
12	4,70	5,31	5,69	6,28	20	9,81	10,87	11,44	12,91	75	55,78	58,41	59,77	61,76
14	6,02	6,80	7,22	7,85	22	11,30	12,45	13,05	13,97	80	60,35	63,07	64,47	66,53
16	7,53	8,38	8,84	9,57	24	12,85	14,05	14,70	15,67	85	64,98	67,78	69,21	71,32
18	9,02	10,03	10,54	11,29	26	14,38	15,70	16,37	17,40	90	69,63	72,50	73,98	76,14
20	10,67	11,78	12,27	13,08	28	15,99	17,35	18,07	19,15	95	74,33	77,26	78,77	80,98
22	12,33	13,67	14,21	14,82	30	17,61	19,04	19,79	20,92	100	79,06	82,05	83,59	85,83
24	14,25	15,31	15,91	16,74	32	19,24	20,75	21,53	22,70					
26	16,07	17,20	17,80	18,74	34	20,91	22,47	23,29	24,50					
28	17,84	19,17	19,77	20,74	36	22,60	24,23	25,07	26,32					

Додаток Е

Методика оцінки кількості обладнання вузла комутації

Створення з'єднання через вузол комутації (ВК) відбувається з використанням групового обладнання, що складається зі станційних комплектів місцевого зв'язку (СКМ), станційних комплектів зовнішнього зв'язку (СКЗ) і пристроїв керування (ПК). Дані пристрої виконують різні функції, що веде до розподілу інтенсивності навантаження, що надходить на вузол комутації, на окремі її складові з різними інтенсивностями. Таким чином, є різною й частка інтенсивності навантаження, що надходить на окремі пристрої вузла комутації. Для оцінки величини інтенсивності навантаження, що надходить на окремий пристрій, введемо ваговий коефіцієнт γ_i , що характеризує частку інтенсивності навантаження Y_i , яка надходить на i -й пристрій:

$$Y_i = \gamma_i \cdot Y_{\text{вк}}, \quad (\text{E.1})$$

де $Y_{\text{вк}}$ – величина інтенсивності навантаження, що надходить на ВК.

У цьому випадку справедливим є обмеження вигляду

$$\sum_{i=1}^s \gamma_i = 1, \quad (\text{E.2})$$

де s – кількість пристроїв вузла комутації.

Величина коефіцієнта γ_i визначається відносною тривалістю t_i використання i -го пристрою в процесі обслуговування вимоги, що має тривалість T :

$$\gamma_i = t_i / T.$$

Нехай для деякого ВК середня тривалість використання окремого пристрою має значення, наведені в таблиці Е.1.

З аналізу даних таблиці Е.1 випливає, що різна середня тривалість використання окремого пристрою призводить до різних часток інтенсивності навантажень Y_i , що надходять на даний пристрій. Тобто при середній тривалості вимоги (телефонної розмови) $T = 139$ с (див. таблицю Е.1) у процесі зайняття ВК до лінії абонента підключаються пристрої, що забезпечують приймання адресної частини повідомлення

(працюють протягом $(0,066 \cdot T)$ с), а потім у роботу включаються інші елементи тракту передачі (працюють протягом $(0,934 \cdot T)$ с).

Таблиця Е.1 – Тривалість зайняття пристроїв вузла комутації

Складова частина вимоги	комутації вузла Зайняття	Передача адреси	Виклик абонента	Передача розмовного сигналу	Руйнування з'єднання
Середня тривалість складової частини	3,7 с	5,5 с	9,1 с	120 с	0,4 с
Відносна середня тривалість складової частини	0,027	0,039	0,065	0,863	0,006
Обслуговуючі пристрої	Пристрій управління		Станційні комплекти		
Відносна тривалість роботи обслуговуючих пристроїв	0,066		0,934		
Середня тривалість вимоги	139 с				

У загальному випадку для ВК найбільш характерне розділення інтенсивності вхідного навантаження на три окремі складові (рисунок Е.1):

- інтенсивність місцевого навантаження, що обслуговується СКМ, $Y_{\text{міст.}}$;
- інтенсивність зовнішнього навантаження, що обслуговується СКЗ, $Y_{\text{зовн.}}$;
- інтенсивність навантаження ПК $Y_{\text{пристр.кер.}}$.

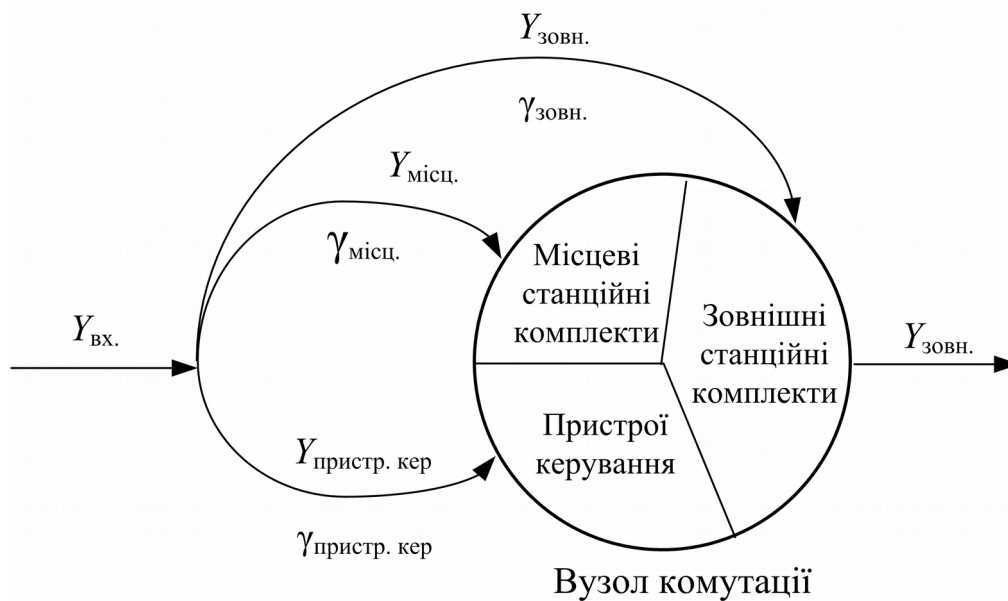


Рисунок Е.1 – Розподіл інтенсивності навантаження на вузлі комутації

Статистичні дослідження показали, що частка інтенсивності зовнішнього навантаження ВК коливається в межах від 0,3 до 0,7 величини інтенсивності вхідного навантаження $Y_{вх.}$:

$$\gamma_{зовн.} = 0,3 \dots 0,7.$$

Тоді частка інтенсивності місцевого навантаження та інтенсивності навантаження пристроїв керування буде дорівнювати:

$$\gamma_{місц.} + \gamma_{пристр. кер.} = 1 - \gamma_{зовн.}$$

Оскільки інтенсивність навантаження пропорційна тривалості вимог, що поступають, то частка інтенсивності навантаження окремого пристрою вузла комутації пропорційна тривалості обслуговування вимог цим пристроєм. Тому коефіцієнти $\gamma_{місц.}$ та $\gamma_{пристр. кер.}$ з урахуванням даних, наведених у таблиці Е.1, мають такі значення:

$$\gamma_{місц.} = (\gamma_{місц.} + \gamma_{пристр. кер.}) \cdot 0,934;$$

$$\gamma_{пристр. кер.} = (\gamma_{місц.} + \gamma_{пристр. кер.}) \cdot 0,066.$$

На підставі значень коефіцієнтів γ_i визначимо за формулою (Е.1) значення окремих інтенсивностей навантажень:

$$\begin{aligned}
Y_{\text{місц.}} &= \gamma_{\text{місц.}} \cdot Y_{\text{вх.}}; \\
Y_{\text{зовн.}} &= \gamma_{\text{зовн.}} \cdot Y_{\text{вх.}}; \\
Y_{\text{пристр. кер.}} &= \gamma_{\text{пристр. кер.}} \cdot Y_{\text{вх.}}.
\end{aligned}
\tag{E.3}$$

Отримані значення окремих величин інтенсивностей навантажень Y_i дозволяють оцінити обсяг обладнання ВК.

Таким чином, оцінка кількості обладнання ВК проводиться в такій послідовності:

1 Визначається величина інтенсивності навантаження, яка породжується окремими абонентами мережі, з урахуванням значень, наведених у таблиці Е.2.

Таблиця М.2 – Залежність інтенсивності вхідного навантаження, що надходить від одного абонента, від ємності вузла комутації

Ємність вузла комутації M , абон.	≤ 40	40 – 200	> 200
Вхідне навантаження від одного абонента $Y_{\text{вх.}}$, Ерл	0,045-0,055	0,055-0,065	0,065-0,075

2 Визначаються величини окремих інтенсивностей навантажень $Y_{\text{місц.}}$, $Y_{\text{пристр. кер.}}$, $Y_{\text{зовн.}}$ за формулами (Е.3).

3 З урахуванням норм втрат для окремого пристрою (таблиця Е.3) і величин інтенсивностей навантажень визначається необхідна кількість обладнання ВК – станційних комплектів місцевого та зовнішнього зв'язку, пристроїв керування.

Норми втрат за навантаженням для різних ємностей вузла комутації наведено в таблиці Е.3.

Таблиця Е.3 – Залежність ймовірності втрат від ємності вузла комутації

Ємність вузла комутації, абон.	50	100	150	200	300
$P_{\text{місц.}} = P_{\text{пристр. кер.}}$	0,1	0,009	0,02	0,03	0,05
$P_{\text{зовн.}}$	0,05	0,02	0,03	0,05	0,1

Для обчислення необхідної кількості станційних комплектів місцевого $n_{\text{місц.}}$ та зовнішнього $n_{\text{зовн.}}$ зв'язку, пристроїв керування $n_{\text{пристр. кер.}}$ використовується табульована перша формула Ерланга (таблиця А.1).

Якщо ВК містить універсальні станційні комплекти, що обслуговують інтенсивності місцевого $Y_{\text{місц.}}$ та зовнішнього навантажень $Y_{\text{зовн.}}$, що зазвичай виконується на ВК малої ємності, то отримані результати дають такий склад структурної схеми ВК:

- M абонентських комплектів (за числом абонентських ліній M);
- $n_{\text{місц.}}$ станційних комплектів, що обслуговують інтенсивність місцевого навантаження $Y_{\text{місц.}}$;
- $n_{\text{зовн.}}$ станційних комплектів, що обслуговують інтенсивність зовнішнього навантаження $Y_{\text{зовн.}}$;
- $n_{\text{зовн.}}$ лінійних комплектів, що забезпечують зовнішній зв'язок з іншими ВК;
- $n_{\text{пристр. кер.}}$ пристроїв керування, що керують встановленням з'єднання.

Додаток Ж

Загальні принципи побудови вузла комутації

Вузол комутації (ВК) складається з абонентських комплектів (АК), лінійних комплектів (ЛК), блоків комутації (БК), станційних комплектів місцевого зв'язку (СКМ), станційних комплектів зовнішнього зв'язку (СКЗ) і пристроїв керування (ПК). Загальна будова ВК показана на рисунку Ж.1.

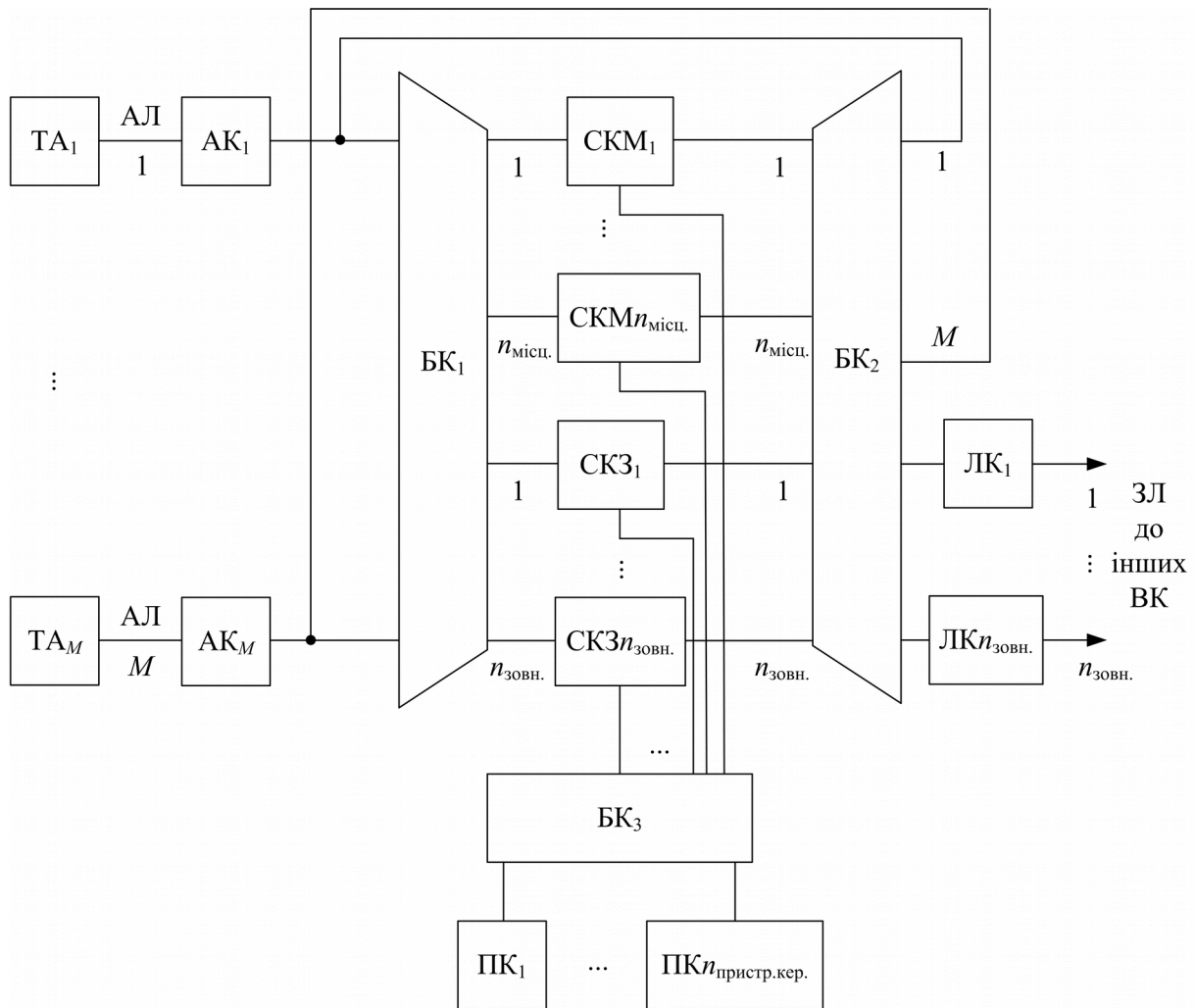


Рисунок Ж.1 – Загальна будова вузла комутації для M абонентів

Абонентські комплекти (АК) та лінійні комплекти (ЛК) призначені для з'єднання абонентських (АЛ) та з'єднувальних ліній (ЗЛ) з пристроями керування та блоками комутації. Дані комплекти відіграють роль інтерфейсів, в яких відбувається приймання лінійних і керуючих сигналів, а також формування акустичних сигналів, що передаються абонентам. АК також забезпечують електроживлення телефонних апаратів постійним током. У цифрових вузлах комутації АК і ЛК можуть містити аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі мовних сигналів.

Станційні комплекти (СКМ та СКЗ) є груповим обладнанням, що обслуговує декілька АЛ і ЗЛ та складається з генераторів тональних сигналів і сигналу посилки виклику, сигнальних пристроїв, пристрою тактової синхронізації цифрових вузлів комутації та інших пристроїв.

ПК формують сигнали керування обладнанням ВК при обслуговуванні вимог.

Комутаційне поле вузла комутації, як правило, складається з окремих блоків комутації (на рисунку Ж.1 це блоки комутації БК₁ та БК₂), які у процесі встановлення з'єднань забезпечують комутацію розмовних каналів. Блоки комутації БК₁ та БК₂ забезпечують концентрацію та розширення абонентського навантаження відповідно. Це дозволяє істотно знизити складність комутаційного обладнання ВК за рахунок зменшення кількості станційних комплектів порівняно з кількістю абонентів ВК.

Ступінь концентрації (БК₁) – це ступінь, при якому відбувається з'єднання деякої кількості вхідних ліній з меншою кількістю вихідних ліній ($M > n_{\text{зовн.}} + n_{\text{місц.}}$).

Ступінь розширення (БК₂) забезпечує з'єднання вхідних ліній з великою кількістю вихідних ліній ($n_{\text{зовн.}} + n_{\text{місц.}} > M + n_{\text{зовн.}}$).

Величина концентрації враховується коефіцієнтом концентрації

$$k = M / (n_{\text{зовн.}} + n_{\text{місц.}}) \quad (k > 0). \quad (\text{Ж.1})$$

У реальних системах величина коефіцієнта k коливається в межах від 5 до 30 залежно від необхідної якості обслуговування вимог. Зазначимо, що при збільшенні коефіцієнта концентрації складність комутаційного обладнання зменшується. Дійсно, у системі обслуговування з явними втратами з імовірністю

$$P_k = \frac{y^k}{\sum_{k=0}^M \frac{y^k}{k!}}$$

знаходиться k вимог з M можливих вимог (y – інтенсивність навантаження, що надходить на ВК). Для їх обслуговування потрібно не менше k СКМ та СКЗ.

Припустимо, що кількість вимог у системі прямує до нескінченності ($M \rightarrow \infty$), тоді ймовірність знаходження в системі $k = M$ вимог дорівнює

$$P_M = \frac{y^M}{\sum_{k=0}^M \frac{y^k}{k!}} = 0,$$

а ймовірність знаходження в системі однієї вимоги ($k = 1$)

$$P_1 = \frac{\frac{y^1}{1!}}{\sum_{k=0}^1 \frac{y^k}{k!}} = 1.$$

Отже, кінцевій величині ймовірності відповідає $0 < k < M$ вимог, тобто кількість СКМ та СКЗ може бути значно менше M .

Дійсно, до M абонентських комплектів (АК) повинні мати доступ лише k станційних комплектів ($n_{\text{зовн.}} + n_{\text{місц.}} < M$). Функцію їх з'єднання виконує БК₁ з коефіцієнтом концентрації k , що розраховується за формулою (Ж.1). Ступінь розширення має забезпечувати з'єднання виходів СКМ і СКЗ з АЛ і ЗЛ (всього $M + n_{\text{зовн.}}$ виходів).

У процесі обслуговування викликів БК₃ підключає до ліній, що з'єднують БК₁ та БК₂, пристрої керування (ПК).

Додаток II Узагальнений метод імовірнісних графів

Розглянемо узагальнений алгоритм знаходження ймовірності втрат багатоланкової комутаційної схеми з довільною кількістю ланок, що показана на рисунку II.1. На цьому рисунку прийняті такі позначення:

- S – кількість ланок комутації;
- k_g – кількість блоків комутації в g -й ланці;
- n_g – кількість входів блока комутації g -ї ланки;
- m_g – кількість виходів блока комутації g -ї ланки;
- $n_g \times m_g$ – ємність блока комутації g -ї ланки;
- f_g – зв'язність між g -ю та $(g + 1)$ -ю ланками;
- $r_g = m_g / f_g$ – кількість пучків проміжних ліній (ПЛ).

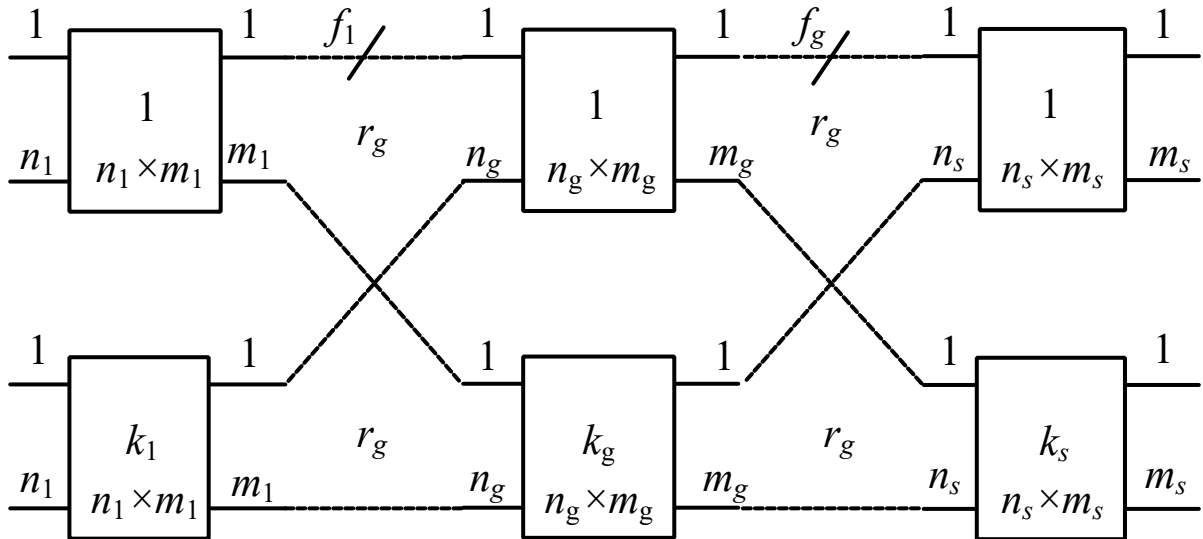


Рисунок И.1 – Багатоланкова комутаційна схема з довільною кількістю ланок

У режимі групового шукання кількість ліній V_j кожного J -го напрямку ($j = 1, \dots, h$) рівномірно розподіляється між комутаторами S -ї ланки, при цьому кількість виходів у напрямку j з одного блока комутації останньої ланки

$$q_j = \frac{V_j}{k_s}.$$

Вихідними даними для розрахунку є інтенсивності навантажень, Y_{sj} , що обслуговуються кожним J -м напрямом.

У відповідності з режимом шукання складається ймовірнісний граф, в якому кожна з r_g гілок, що складається з f_g ПЛ, зайнята з імовірністю

$$b_g = a_g^{f_g}$$

та вільна з імовірністю $(1 - b_g)$, причому

$$a_g = \frac{Y_\Sigma}{k_g m_g}; \quad a_{sj} = \frac{Y_{sj}}{q_j k_s} = \frac{Y_{sj}}{V_j}; \quad r_g = \frac{m_g}{f_g}; \quad Y_\Sigma = \sum_{j=1}^h Y_{sj},$$

де a_g – інтенсивність навантаження, що обслуговується однією ПЛ;

Y_Σ – інтенсивність навантаження, що обслуговується всією комутаційною схемою;

V_j – кількість ліній J -го напрямку ($j = 1, \dots, h$);

a_{sj} – інтенсивність навантаження, що обслуговується однією вихідною лінією s -го блока комутації в j -му напрямку ($j = 1, \dots, h$);

Y_{sj} – інтенсивність навантаження, що обслуговується j -м напрямком;

r_g – кількість пучків ПЛ між g -ю та $(g + 1)$ -ю ланками;

q_j – кількість виходів в j -му напрямку з одного блока комутації останньої ланки.

Втрати обчислюються як імовірність відсутності вільних з'єднувальних шляхів до потрібного виходу (або виходів). Розрахунок проводиться рекурентно від s -ї ланки до першої ланки.

При обчисленні втрат для багатоланкової схеми в режимі групового шукання виконують такі дії.

1 Обчислюють імовірність зайняття всіх виходів одного комутатора s -ї ланки для j -го напрямку:

$$L_j(s) = a_{sj}^{q_j}.$$

2 Обчислюють імовірність втрат у напрямку від входу комутатора $(s - 1)$ -ї ланки до виходу комутаційної схеми:

$$L_j(s - 1) = [1 - (1 - b_{s-1})(1 - L_j(s))]^{r_{s-1}}.$$

3 Обчислюють ймовірність втрат у напрямку від входу $(s - 1)$ -ї ланки до виходу комутаційної схеми:

$$L_j(s - 2) = [1 - (1 - b_{s-2})(1 - L_j(s - 1))]^{r_{s-2}}.$$

... ..

4 Обчислюють імовірність втрат у напрямку від входу 1-ї ланки до виходу комутаційної схеми, вона ж – шукана ймовірність втрат багатоланкової комутаційної схеми для j -го напрямку:

$$P_{\text{втр. ГШ } j} = L_j(1) = [1 - (1 - b_1)(1 - L_j(2))]^{r_1}. \quad (\text{И.1})$$

Інтенсивність навантаження, що надходить у j -й напрям, знаходиться з рівності

$$Y_{\text{надх. } j} = \frac{Y_{sj}}{1 - L_j(1)}, \quad (\text{И.2})$$

а загальна інтенсивність навантаження, що надходить на комутаційну схему, знаходиться як

$$Y_{\text{надх.}} = \sum_{j=1}^h Y_{\text{надх.}j} .$$

Примітки: 1 У режимі вільного шукання приймається $L_j(s) = a_s^{m_s}$, та далі відбувається згідно з процедурою обчислення втрат у режимі групового шукання.

У режимі лінійного шукання приймається $L_j(s-1) = b_{s-1}$, та далі відбувається згідно з процедурою обчислення втрат в режимі групового шукання.

2 Якщо задано не обслужені інтенсивності навантажень Y_{sj} для кожного напрямку, а інтенсивності навантажень, що надходять, $Y_{\text{надх.}j}$, то ймовірність втрат у j -му напрямку обчислюється ітераційно:

а) на першій ітерації приймають інтенсивність обслуженого навантаження $Y_{sj[1]} = Y_{\text{надх.}j}$;

б) за формулою (И.1) знаходять ймовірність втрат $L_j(1)_{[1]}$;

в) за формулою (И.2) обчислюють значення навантаження, що надходить, $Y_{\text{надх.}j[1]}$;

г) оцінюють похибку обчислення:

$$|Y_{\text{надх.}j[1]} - Y_{\text{надх.}j}| \leq \varepsilon ,$$

де ε – необхідна точність обчислень.

При виконанні нерівності процес обчислення ймовірності втрат закінчують.

При невиконанні нерівності процес обчислення ймовірності втрат продовжують з пункту б), але для нового значення інтенсивності обслугованого навантаження:

$$Y_{sj[2]} = Y_{sj[1]}(1 - L_j(1)_{[1]}) .$$

Відмітимо основний недолік методу ймовірнісних графів – його невисоку точність. Дійсно, можна одразу помітити, що ймовірність втрат не дорівнює нулю навіть при виконанні умови

неблокованості Клоза, що говорить про наявність похибки в результатах, отриманих за допомогою методу ймовірнісних графів. Однак даний метод забезпечує прийнятну похибку для значень $\beta \approx 0,5 \div 1,5$, що виконуються в більшості практичних випадків.