

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЛАНКОВИХ КОМУТАЦІЙНИХ ПОЛІВ СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КОМУТАЦІЇ

© Чабан К.О., 2011

Проведено розрахунок ефективності багатоланкових структур комутаційних полів різної ємності, які є основою для синтезу комутаційних систем сучасних цифрових систем комутації.

Ключові слова: багатоланкове комутаційне поле, ЦСК.

Efficiency of digital switching fields variable capacity which is most widespread at the construction of all without the exception of the switching systems of modern digital telephone exchanges is examined.

Key words: switching fields, DSS.

Аналіз стану цифрових систем комутації з багатоланковими комутаційними полями

На телефонних мережах України експлуатується велика кількість цифрових систем комутації (ЦСК) як державного, так і зарубіжного виробництва (SESS, MT-20/25, EATC 200, EWSD, SI2000, Alcatel 1000, "Квант-Е", С-32, Дніпро, ЄС-11 та ін) [1, 3]. Розглянемо сучасні цифрові телефонні станції (АТСЕ), комутаційні системи яких мають структури комутаційних полів, що досліджуються у цій статті.

Цифрова телефонна станція БЭТО-01 (Росія) – аналог станції MT-20/25 (Франція).

Станцію випускають таких ємностей: великої – 32000–64000 АЛ (16000–64000 каналів); середньої – 8000–32000 АЛ (4000–16000 каналів) і малої – 2000–8000 АЛ (1000–4000 каналів). Просторовий еквівалент цифрового комутаційного поля (ЦКП) великої ємності показаний на рис. 1.

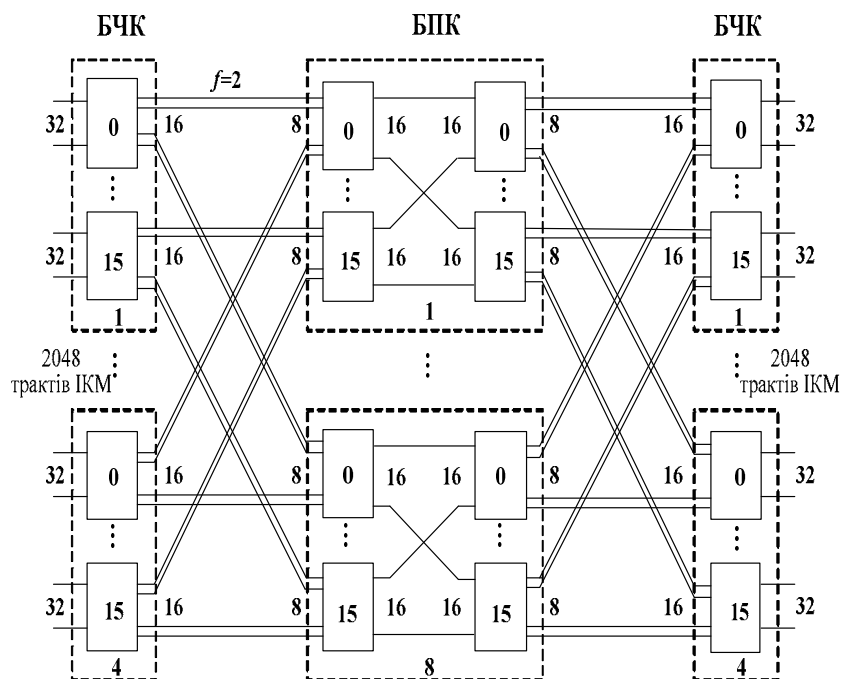


Рис. 1. Структурна схема чотириланкового цифрового комутаційного поля АТСЕ MT-20/25

Цифрове комутаційне поле будують на блоках часової комутації (БЧК) і блоках просторової комутації (БПК) [1, 4]. На рис. 1 вказані параметри ЦКП ємністю [2048×2048] ІКМ ліній ((65536×65536) цифрових каналів): кількість БЧК – 4, кожен БЧК має по 16 цифрових комутаційних модулів (ЦМ), ємністю [32×16] ІКМ ліній ((1024×1024) цифрових каналів); кількість БПК – 8, кожен БПК має дволанкову структуру і реалізований на електронних комутаторах (матрицях) ємністю (8×16) і (16×8). Для зменшення комутаційного обладнання просторових ланок використовується ущільнення внутрішньостанційних проміжних ліній зі швидкістю передачі 4 Мбіт/с.

Електронна цифрова система комутації 5ESS, розроблена в фірмі AT&T, є універсальною за можливостями використання на наявних і перспективних мережах зв'язку. Архітектура 5ESS базується на трьох головних елементах: комутаційних модулях SM (Switching Modules), модулі зв'язку CM (Communication Module) та модулі керування і експлуатації (AM) (Administrative Module). У максимальній комплектації система 5ESS дає змогу обслуговувати до 350000 абонентських ліній (АЛ) за відсутності зовнішніх з'єднувальних ліній (ЗЛ) або до 90000 ЗЛ (каналів) за відсутністю абонентів. Реальні граничні ємність і кількість ЗЛ залежать від конкретних умов роботи системи в мережі зв'язку і обмежуються її максимальною пропускнуою спроможністю 45000 Ерл та кількістю в 1,5 мільйонів викликів за годину найбільшого навантаження (ГНН) [3].

Комутаційний модуль SM забезпечує як комутацію каналів, так і комутацію пакетів. Внутрішнє навантаження замикається в SM, а з'єднання між АЛ і ЗЛ, ввімкненими в різні SM, встановлюються крізь модуль зв'язку CM по внутрішньосистемних волоконнооптичних ліній зв'язку (NCT). Між SM і кожним SM чотири NCT лінії (дві резервні) зі швидкістю передавання інформації в кожній 32,768 Мбіт/с, що відповідає 256 16-розрядним двобічним каналним інтервалам. Модуль SM комутує максимум (512×512) часових каналів, а між SM і CM – 512 основних і 512 резервних каналів. Ємність модуля зв'язку CM визначається кількістю SM під'єднаних до нього. Структура ЦКП системи 5ESS ємністю [Nц×Mц] ІКМ ліній є триланковою і зображена на рис. 2:

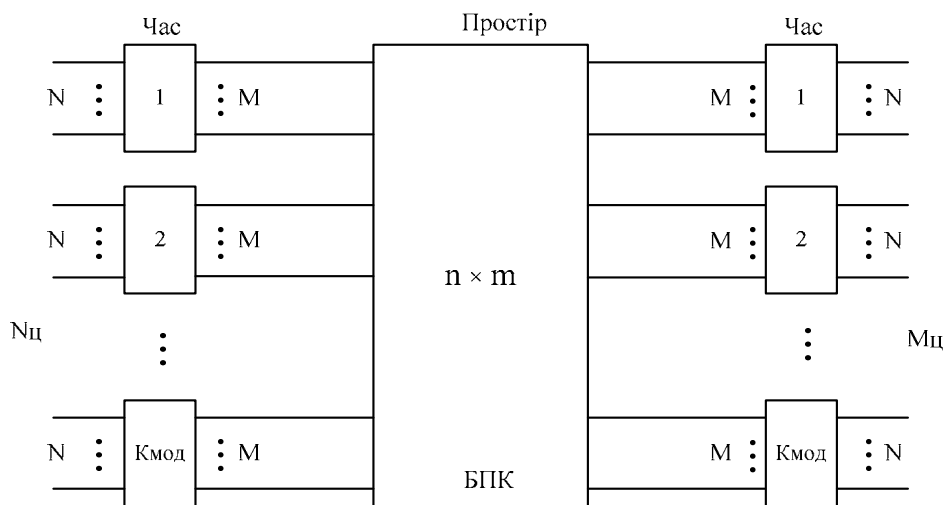


Рис. 2. Структурна схема триланкового цифрового комутаційного поля 5ESS.

SM(Ч)-CM(П)-SM(Ч), в якому SM під час комутації каналів виконує функції цифрового комутаційного модуля (ЦМ) ємністю [N×M] = [16×2] ІКМ ліній або ((512×512) цифрових каналів). Коефіцієнт концентрації по групових трактах в SM прийнято 8, а розрядність комутуваних каналів в 5ESS дорівнює 16. ЦКП типу Час – Простір – Час (ЧПЧ), в якому ланка Час побудована на ЦМ ємністю [32×2] ІКМ ліній або ((1024×1024) цифрових каналів), по вартості каналів в 1,5 раза поступається такому самому за ємністю ЦКП типу Час – Простір – Простір – Час (ЧППЧ) (рис. 1), але цей програш компенсується використанням NCT ліній і додатковими функціями SM, такими, як: комутація пакетів, замикання внутрішнього навантаження, під'єднання до нього периферійних пристроїв тощо.

Цифрова станція EWSD (розробник фірма Siemens) великої ємності має п'ятиланкову структуру ЦКП, внутрішнє блокування цього поля є менше ніж ЦКП типу ЧПЧ і ЧППЧ, але

вартість одного каналу збільшується. Щоб визначити, на скільки збільшується вартість одного каналу, треба проаналізувати п'ятиланкову структуру, що є предметом подальшого дослідження.

Цифрові комутаційні поля телефонних станцій "Квант-Е", С-32, "Дніпро", SI2000, Alcatel1000 побудовані за принципом просторових дволанкових, триланкових ЦКП, в яких ланки побудовані на цифрових комутаційних модулях з'єднаних між собою проміжними цифровими трактами.

Ефективність багатоланкових цифрових комутаційних полів

Ефективність комутаційних систем визначається багатьма критеріями [2]. У цій статті розглядаються декілька з них, такі, як ємність, структура, економічність, і проводиться дослідження взаємодії цих критеріїв і вибору найоптимальнішої структури цифрового комутаційного поля (ЦКП). Ємність ЦКП визначається кількістю цифрових каналів або кількістю цифрових з'єднувальних ліній (ЗЛ), або кількістю групових трактів ІКМ 30/32. Ефективність ЦКП прийнято оцінювати з погляду їх економічності, яка в комутаційних системах визначається кількістю еквівалентних точок комутації (екв.т.к.) [2, 5]. Розглянемо триланкові і чотириланкові структури комутаційних полів, і проаналізуємо, за яких умов доцільно використовувати ці структури.

На рис. 3 показана схема чотириланкового ЦКП, яке складається з двох ланок "Час" і двох ланок "Простір". Ланки "Час" будують на блоках часової комутації (БЧК), які мають по k цифрових комутаційних модулів (ЦМ). Ланки "Простір" будують на блоках просторової комутації (БПК), які складаються з двохланкових просторових комутаційних блоків. Просторова ланка побудована на комутаторах з параметрами $(n \times m)$, яких в ланці $k_{П}$. Використання БПК дає можливість будувати ЦКП великої ємності, а їхній недолік (внутрішнє блокування) компенсують БЧК. Для зменшення ємності БПК цифрові модулі в БЧК реалізують з концентрацією групових трактів у першій ланці ЦКП і зворотним перетворенням в останній ланці ЦКП. Це збільшує ефективність використання багатоланкових цифрових комутаційних полів з погляду їх економічності, (зменшується кількість еквівалентних точок комутації), але це потребує збільшення швидкості передавання внутрішньостанційних шляхів. У разі великих ємностей ЦКП і коефіцієнта концентрації ($K_K \geq 4$) використовують волоконнооптичні внутрішньостанційні лінії.

Для порівняльного аналізу ефективності одноланкових і чотириланкових ЦКП розрахуємо кількість еквівалентних точок комутації чотириланкового ЦКП (рис. 3) з коефіцієнтом концентрації цифрового комутаційного модуля $K_K=2$. У такому разі кількість каналів внутрішньостанційних шляхів збільшується з 32 до 64, а швидкість їх передавання стає 4,096 Мбіт/с.

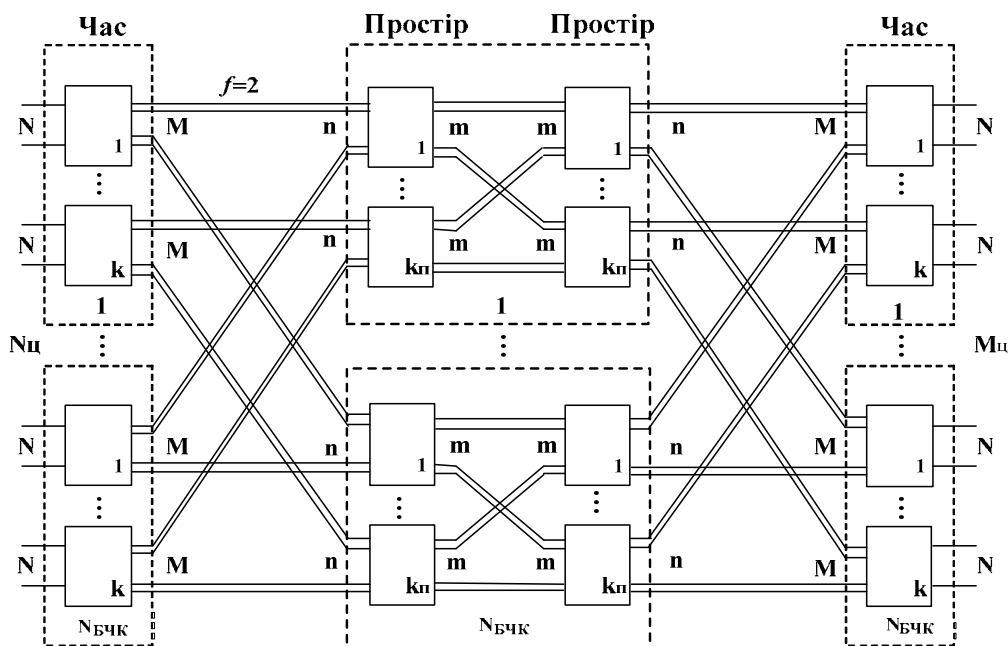


Рис. 3. Структурна схема чотириланкового комутаційного поля типу ЧППЧ

Основним завданням під час побудови ЦКП типу ЧППЧ є вибір кількості та ємності блоків часової комутації, від структури яких залежить загальна кількість точок комутації. Під час побудови БЧК рекомендується брати відношення кількості модулів БЧК (k) до кількості блоків БЧК ($N_{БЧК}$) рівнем 1; 2; 3. Також необхідно врахувати умову вибору кількості модулів (k): кількість модулів має бути цілим числом (кратним 2) і у всіх БЧК має бути однакова кількість цифрових модулів. Для зменшення внутрішнього блокування і кількості блоків (БПК) зв'язність вибирають $f=2$.

Загальна кількість еквівалентних точок комутації поля ЧППЧ (рис. 3) дорівнює сумі екв.т.к. ланок часової і просторової комутації, тобто:

$$T_{екв.(ЧППЧ)} = 2 \cdot T_{ч} + T_{п}, \quad (1)$$

де $T_{ч}$, $T_{п}$ – кількість екв.т.к. ланок часової і просторової комутації відповідно.

Кількість екв.т.к. ланки часової комутації становить [2]

$$T_{ч} = \left[\frac{N_{К(ЦМ)} \cdot r \cdot r}{100} + \frac{N_{К(ЦМ)} \cdot (\log_2 N_{К(ЦМ)})}{100} \right] \cdot k \cdot N_{БЧК}, \quad \text{екв.т.к.}, \quad (2)$$

де $N_{БЧК}$ – кількість блоків часової комутації (БЧК) в ланці; k – кількість ЦМ в БЧК.

Кількість екв.т.к. ланок просторової комутації дорівнює [2]

$$T_{п} = T_{ПР} + T_{КП}, \quad (3)$$

де $T_{ПР}$ – кількість екв.т.к. просторових комутаторів; $T_{КП}$ – кількість екв.т.к. керуючих пристроїв просторових комутаторів.

Отже,

$$T_{п} = \left[n \cdot m + \frac{N_{К(ПТ)} (\log_2 m) \cdot n}{100} \right] \cdot N_{ком}, \quad (4)$$

$$N_{ком} = k_{п} \cdot z \cdot N_{БПК}, \quad (5)$$

де $N_{ком}$ – кількість комутаторів в ланках "Простір"; $N_{БПК}$ – кількість БПК; $N_{К(ПТ)}$ – кількість каналів проміжного тракту; n – кількість входів одного просторового комутатора; m – кількість виходів одного просторового комутатора; $k_{п}$ – кількість просторових комутаторів в одній ланці БПК; z – кількість ланок в БПК.

Розрахунки проводимо для чотирьох ЦКП ($КП_{Ц1,i}$, $КП_{Ц2,i}$, $КП_{Ц3,i}$, $КП_{Ц4,i}$), ємність яких вказана вище, побудованих на чотирьох цифрових модулях: ЦМ1($i=1$), ЦМ2($i=1$), ЦМ3($i=1$), ЦМ4($i=1$) [4]. Під час побудови цифрових полів враховуємо вищенаведені рекомендації.

За (1)–(5) розраховуємо кількість екв.т.к. і вартість в екв.т.к. одного цифрового каналу для всіх комбінацій ЦКП і ЦМ і отримані результати зведемо в табл. 1–3.

Таблиця 1

Параметри ЦКП типу ЧППЧ ємністю 8192 каналів

Ємність ЦКП	N _{ЦП} =8192 каналів			
	[64×32] (2048×2048) (i=1)	[32×16] (1024×1024) (i=2)	[16×8] (512×512) (i=3)	[8×4] (256×256) (i=4)
Ємність ЦМ трактів → каналів →				
Кількість ЦМ в БЧК	4	8	16	32
Ємність БЧК (k×N _{БЧК})	(2×2)	(4×2)	(8×2)	(8×4)
Ємність БПК: (n×m×k _п), N _{БПК}	(4×4×2) 16	(4×4×4) 8	(4×8×8) 4	(8×8×8) 2
T _{Ц1,i} , екв.т.к.	4464,6	4300,8	5024,8	5161
T _{К(Ц1,i)} , екв.т.к.	0,545	0,525	0,65	0,63

Параметри ЦКП типу ЧППЧ ємністю 16384 каналів

Ємність ЦКП	$N_{ЦП}=16384$ каналів			
Ємність ЦМ трактів → каналів →	$[64 \times 32]$ (2048×2048) (i=1)	$[32 \times 16]$ (1024×1024) (i=2)	$[16 \times 8]$ (512×512) (i=3)	$[8 \times 4]$ (256×256) (i=4)
Кількість ЦМ в БЧК	8	16	32	64
Ємність БЧК ($k \times N_{БЧК}$)	(4×2)	(8×2)	(8×4)	(16×4)
Ємність БПК: ($p \times m \times k_{П}$), $N_{БПК}$	(4×4×4) 16	(4×8×8) 8	(8×8×8) 4	(8×16×16) 2
$T_{Ц2,i}$ екв.т.к.	8929,3	10977	10650	14746
$T_{1K(Ц2,i)}$ екв.т.к.	0,545	0,67	0,65	0,9

Таблиця 3

Параметри ЦКП типу ЧППЧ ємністю 65536 каналів

Ємність ЦКП	$N_{ЦП}=65536$ каналів			
Ємність ЦМ трактів → каналів →	$[64 \times 32]$ (2048×2048) (i=1)	$[32 \times 16]$ (1024×1024) (i=2)	$[16 \times 8]$ (512×512) (i=3)	$[8 \times 4]$ (256×256) (i=4)
Кількість ЦМ в БЧК	32	64	128	256
Ємність БЧК ($k \times N_{БЧК}$)	(8×4)	(16×4)	(16×8)	(32×8)
Ємність БПК: ($p \times m \times k_{П}$), $N_{БПК}$	(8×8×8) 16	(8×16×16) 8	(16×16×16) 4	(16×32×32) 2
$T_{Ц4,i}$ екв.т.к.	45220	61604	60293	93061
$T_{1K(Ц4,i)}$ екв.т.к.	0,69	0,94	0,92	1,42

Аналізуючи дані табл. 1–3, можемо зробити такі висновки:

– вартість цифрового комутаційного поля типу Час – Простір – Простір – Час (ЧППЧ), у якому ланки "Час" побудовані на цифровому комутаційному модулі (ЦМ) ємністю 2048 каналів, незначно залежать від ємності поля. Так, у разі збільшення ємності ЦКП у 8 разів його вартість збільшується лише в $0,69/0,545=1,26$ разів. Але за зменшення ємності ЦМ ця різниця збільшується: наприклад, під час побудови цього поля на ЦМ ємністю 256 каналів різниця становить $1,42/0,63=2,25$ разів. З викладеного видно, що ЦКП типу Час – Простір – Простір – Час доцільно синтезувати на цифрових комутаційних модулях великої і середньої ємностей;

– у разі збільшення ємності ЦКП і ЦМ в однакову кількість k разів, вартість одного каналу майже не змінюється ($T_{1K(1,4)}=0,65$ екв.т.к., $T_{1K(4,1)}=0,69$ екв.т.к.);

– при збільшенні ємності ЦКП і зменшенні ємності ЦМ в однакову кількість k разів вартість одного каналу збільшується, як мінімум у $T_{1K(22)}/T_{1K(1,1)}=0,67/0,545=1,3$ разів.

Проаналізуємо ефективність триланкового поля типу Час –Простір – Час (ЧПЧ) (рис. 2). На цій схемі БПК одноланковий, що комутує всі вхідні і вихідні групові тракти тільки по однойменних каналах. Ця структура може мати переваги з погляду економічності порівняно зі структурою ЧППЧ тільки за умови, якщо коефіцієнт концентрації по групових трактах K_K в цифрових модулях буде більший за одиницю ($K_K = \frac{N}{M} > 1$). Розрахуємо економічність цієї структури при $K_K=2, 8, 16$.

Загальна кількість екв. т. к. поля ЧПЧ (рис. 3) дорівнює сумі екв.т.к. ланок часової і просторової комутації (1), отримані результати зведемо в табл. 4, 5.

Вартісні характеристики ЦКП типу ЧПЧ ємністю 8192 канали

Значення Кк	Ємність ЦКП	N _{ЦП} =8192 каналів			
	Ємність ЦМ, канали→	ЦМ1 (2048×2048)	ЦМ2 (1024×1024)	ЦМ3 (512×512)	ЦМ4 (256×256)
2	ЦМ [N×M], ГТ	[64×32]	[32×16]	[16×8]	[8×4]
	Кількість ЦМ в БЧК	4	8	16	32
	Ємність БПК:(n×m)	(128×128)	(128×128)	128×128	128×128
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	20070	19906	19742	19579
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	2,45	2,432	2,41	2,49
8	ЦМ [N×M], ГТ	[64×8]	[32×4]	[16×2]	[8×2]
	Кількість ЦМ в БЧК	4	8	16	32
	Ємність БПК: (n×m)	32×32	32×32	32×32	32×32
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	4547	4383	4219	4055
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	0,55	0,537	0,515	0,495
16	ЦМ [N×M], ГТ	[64×4]	[32×2]	[16×1]	
	Кількість ЦМ в БЧК	4	8	16	-
	Ємність БПК: (n×m)	16×16	16×16	16×16	-
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	3697	3533	3369	-
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	0,45	0,431	0,411	-

Вартісні характеристики ЦКП типу ЧПЧ ємністю 32768 каналів

Значення Кк	Ємність ЦКП	N _{ЦП} =32768 каналів			
	Ємність ЦМ, канали→	ЦМ1 (2048×2048)	ЦМ2 (1024×1024)	ЦМ3 (512×512)	ЦМ4 (256×256)
2	ЦМ [N×M], ГТ	[64×32]	[32×16]	[16×8]	[8×4]
	Кількість ЦМ в БЧК	16	32	64	128
	Ємність БПК:(n×m)	(512×512)	(512×512)	(512×512)	(512×512)
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	277500	276889	276234	275578
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	8,47	8,45	8,43	8,41
8	ЦМ [N×M], ГТ	[64×8]	[32×4]	[16×2]	[8×2]
	Кількість ЦМ в БЧК	16	32	64	128
	Ємність БПК: (n×m)	(128×128)	(128×128)	(128×128)	(128×128)
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	31130	30470	2982	29160
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	0,95	0,93	0,91	0,89
16	ЦМ [N×M], ГТ	[64×4]	[32×2]	[16×1]	-
	Кількість ЦМ в БЧК	16	32	64	-
	Ємність БПК: (n×m)	(64×64)	(64×64)	(64×64)	-
	T _{ЦП,i} , екв.т.к.	1851	17860	17200	-
	T _{БК(ЦП,i)} , екв.т.к.	0,565	0,545	0,525	-

Аналізуючи дані табл. 4, 5 можемо зробити такі висновки:

– ЦКП типу ЧПЧ, побудоване на цифровому комутаційному модулі з коефіцієнтом концентрації по групових трактах, який дорівнює 2, має найбільшу вартість одного каналу з розглянутих варіантів комутаційних полів, тому його використання не є доцільним;

– ЦКП типу ЧПЧ, яке побудовано на цифровому комутаційному модулі з коефіцієнтом концентрації по групових трактах, який дорівнює 8, в ньому вартість одного каналу в 1,7 раза менша в ЦКП ємністю 8192 каналів, і в 3,15 раза – в ЦКП ємністю 65536 каналів. Швидкість передачі внутрішньостанційних шляхів в цьому полі становить 16,384 МГц, що зумовлює необхідність побудови в цьому полі внутрішньостанційних шляхів з використанням волоконно-оптичних ліній передавання;

– якщо дивитися з погляду доступної вартості цифрового каналу, то ЦКП типу ЧПЧ раціонально будувати ємністю (8192×8192) і (16384×16384) каналів на ЦМ1, ЦМ2, ЦМ3, а ЦКП типу ЧПЧ ефективно використовувати ємністю (8192×8192), (16384×16384), (32768×32768), (65536×65536) каналів, побудованих на ЦМ1, ЦМ2, ЦМ3;

– ЦКП типу ЧПЧ побудоване на цифровому комутаційному модулі з коефіцієнтом концентрації по групових трактах, що дорівнює 16, має меншу вартість каналу, але його використання обмежується великою швидкістю передачі (32,768 МГц), яку треба реалізовувати на волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Основні результати роботи та висновки

1. Цифрові комутаційні поля середньої і великої ємностей мають багатоланкову структуру типу Час – Простір – Час, Час – Простір – Простір – Час.

2. Комутаційне поле типу Час – Простір – Час синтезують середньої і великої ємностей і за використання в ланках "Час" цифрових комутаційних модулів з коефіцієнтом концентрації по групових трактах $K_k \geq 4$.

3. Комутаційне поле типу Час – Простір – Простір – Час є універсальними і теоретично його можна будувати будь-якої ємності і на цифрових комутаційних модулях різної ємності, але найдоцільніше його використовувати під час побудови цифрового комутаційного поля великої ємності і на цифрових комутаційних модулях середньої і великої ємностей.

4. У багатоланкових цифрових комутаційних полях для зменшення ємності ланок "Простір" ефективно використовувати цифрові комутаційні модулі з коефіцієнтом концентрації по групових трактах, який дорівнює 2, 4, 8. У разі збільшення коефіцієнта концентрації по групових трактах пропорційно збільшується швидкість передавання внутрішньостанційних шляхів, тому, вибираючи величину цього коефіцієнта, треба враховувати можливість забезпечення необхідної швидкості передавання інформації між ланками комутаційного поля.

Отримані результати дослідження ефективності цифрових комутаційних систем за різними структурами і ємностями дають можливість під час проектування цифрових АТСЕ правильно вибрати структуру комутаційного поля, а під час вивчення наявних станцій зрозуміти особливості їх побудови.

1. Баркун М.А., Ходасевич О.Р. *Цифровые системы синхронной коммутации*. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 187 с. 2. Беллами Дж. *Цифровая телефония: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышова*. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с. 3. *Цифровые системы коммутации для ГТС / под ред. В.Г. Карташевского и А.В. Рослякова*. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 352 с. 4. Чабан К.О. *Дослідження ефективності цифрових комутаційних модулів сучасних телефонних станцій малої ємності*. // *Радіоелектроніка та телекомунікації: Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – Львів, 2010. – № 680. – С. 121–127. 5. Чабан К.О. *Дослідження ефективності цифрових комутаційних систем сучасних телефонних станцій середньої та великої ємностей // Сучасні проблеми телекомунікації: Матер. наук-практ. конф.* – Львів, 2010. – С. 94–98.