

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МІСЬКОЇ СИНХРОННОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуто один із способів визначення структурної надійності мереж зв'язку. Проаналізовано структуру діючої аналогово–цифрової та проектованої синхронної міської мережі Львова, визначено процентне відношення надійності і способи відновлення працездатності у синхронній мережі.

In this article one of the methods of communication networks structural reliability determination is considered. The structure of actual analog-digital and projected synchronous Lviv City network was analysed; percent protection ratio and the methods synchronous network capacity for work recovery were defined.

У даний час, на міських мережах України, здебільшого працюють плезіохронні системи передачі (*PDH*) та електромеханічні, квазіелектронні та електронні системи комутації. Ці мережі побудовані на основі застарілого обладнання і не задовольняють вимоги користувачів на ряд послуг та постійно зростаючий трафік. Так, наприклад, у мережі Львова задіяно кілька цифрових систем, які не повністю використовуються по пропускній здатності. Ця мережа побудована за радіально-вузловим принципом, її граф зображено на рис. 1.

На сьогоднішній день дана мережа вже не відповідає вимогам щодо якості зв'язку і не може бути основою для створення єдиної мережі передачі даних. Розвиток цієї мережі в тому напрямку що й раніше, тобто введення нових вузлів і дуг, призведе до залучення значних коштів, і в кінцевому рахунку не відбудеться якісного поліпшення ситуації. Для забезпечення вимог щодо якості зв'язку, розширення системи послуг і в майбутньому для створення єдиної мережі передачі даних, сучасну мережу Львова необхідно реконструювати шляхом впровадження цифрових синхронних систем передачі (*SDH*), оптичних одномодових кабелів і цифрового комутаційного

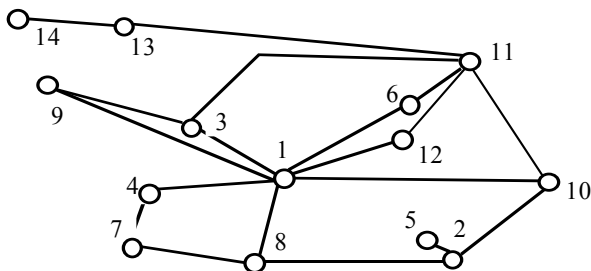


Рис. 1. Схема організації зв'язку міста Львова.

обладнання. Переваги *SDH*-технології очевидні: можливість впровадження нових послуг, збільшення пропускної здатності лінійного тракту, прямий одноступеневий доступ до двомегабітного потоку в лінійному синхронному тракті будь-якої інформаційної ємності, що в *PDH*-мережах було неможливо. В *SDH*-мережах, на відміну від *PDH*, вирішено завдання централізованого керування і поточного нагляду за станом всієї мережі.

Крім цих переваг, особливу увагу доцільно приділити такому параметру, як структурна надійність мережі, який є визначальним при порівнянні синхронної і плезіохронної мереж. Структурна надійність *SDH*-мереж забезпечує високу надійність функціонування мережі та можливість збереження і відновлення дієздатності навіть при відмові одного з її елементів або середовища передачі – кабеля.

У практиці існують різні методи забезпечення швидкого відновлення дієздатності синхронних мереж, які зводяться до таких схем:

1) резервування ділянок мережі за схемами 1+1 і 1:1 на рознесених трасах. Схема 1+1 передбачає аналіз сигналів і вибирається той, який має кращі співвідношення параметрів; схема 1:1 передбачає призначення пріоритетів альтернативним маршрутам;

2) організація самовідновлюваних кільцевих мереж, резервованих за схемами 1+1 і 1:1. У даному випадку використовується топологія "кільце", яка може бути організована з допомогою двох ("просте" або здвоєне кільце) або чотирьох волокон (подвійне здвоєне кільце). В останньому ви-

падку є два шляхи захисту даних: перший – пакети даних передаються одночасно в одному напрямку, але різними кільцями, при збої в одному кільці дані приймаються з другого; і другий – пакети даних передаються в двох протилежних напрямках, один з яких основний, а другий – резервний, при збої відбувається замикання основного і резервного кола на границях пошкодженої ділянки (рис.2а) з утворенням нового кільця;

3) резервування термінального обладнання за схемами 1:1 і 1:N. Як правило, цей вид резервування передбачає резервування трибних інтерфейсів.

Саме такі методи захисту інформації та відновлення дієздатності планується ввести на SDH-мережі м. Львова. PDH-мережа будується за радіально-вузловим принципом – один вузол має кілька дуг довільно спрямованих до інших вузлів. Структура синхронної мережі інша: вузол такої мережі має тільки дві дуги (при використанні простого кільця), які з'єднані з двома сусідніми вузлами, або чотири дуги (подвійне кільце), які також під'єднуються до двох сусідніх вузлів. При цьому дві дуги працюють на прийом, а дві на передачу. На відміну від простого кільця подвійне володіє вищою структурною надійністю і краще відповідає вимогам щодо резервування. Тому організовується подвійне кільце, в якому дуги-кабелі ведуться різними шляхами, що значно підвищує надійність. Саме структуру подвійне кільце на основі SDH-технології пропонується ввести для м. Львова із врахуванням уже діючих вузлів-систем комутації (рис. 3).

Отже, структурна надійність мережі зв'язку – це об'єктивна властивість мережі забезпечувати зв'язність користувачів мережі (або вузлів) з якістю не нижчою, ніж задана. Поряд з характеристикою надійності мережі важливим параметром є живучість. Живучість – це та сама надійність, з тою лише різницею, що остання залежить від зовнішніх впливів – дії людини та навколишнього середовища. На практиці, надійність та живучість часто об'єднують і цей об'єднаний па-

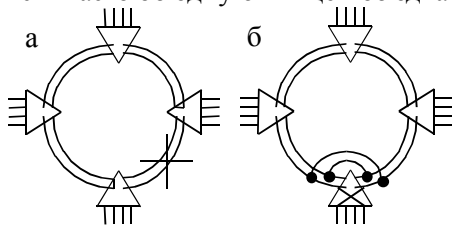


Рис. 2. Методи захисту подвійного кільця:
а) шляхом виключення пошкодженої ділянки;
б) шляхом організації обхідного шляху.

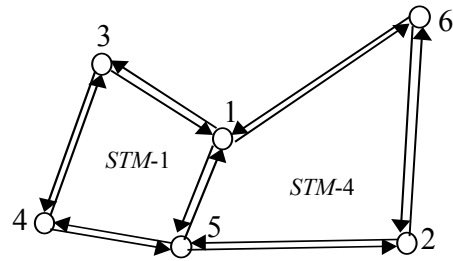


Рис. 3. Схема організації транспортних кілець зв'язку SDH мережі м. Львова.

раметр називають структурною надійністю. Надійність тісно пов'язана із вартістю: дешеві системи менш надійні і навпаки, тобто дешевої і надійної системи не існує.

Головним показником оцінки якості каналу зв'язку є ймовірність зв'язності. У мережах структурна надійність забезпечується можливістю вибору альтернативних шляхів. Тобто, чим більша зв'язність мережі, тим вища її надійність. Для будь-яких структур вживають такі показники надійності:

1) ймовірність парної зв'язності $P(u, v)$ двох заданих вузлів u і v . Зв'язність двох вузлів має місце, якщо існує хоча б один шлях від вузла u до вузла v , який містить справні вузли і ребра (дуги). В загальному випадку $P(u, v) = P(v, u)$;

2) ймовірність зв'язності вузла з мережею $P(u, U)$. Зв'язність вузла з мережею передбачає наявність парної зв'язності для кожної пари вузлів (u, i) , де $i \in U, i \neq u$;

3) ймовірність повної зв'язності $P(U, U)$. Вона визначає ймовірність того, що між двома довільними вузлами мережі існує хоча б один справний шлях.

Серед цих показників на особливу увагу заслуговує ймовірність парної зв'язності, яка показує ймовірність існування зв'язності між двома конкретно заданими вузлами. Основою для визначення ймовірності парної зв'язності між двома вузлами є ймовірність існування дуги. При розрахунках надійності беруть значення ймовірності існування вузла $p_v = 1$, оскільки обладнання вузла кілька разів резервується і несправності швидко усуваються, а ймовірності існування дуги $p_d < 1$. Залежно від місця проходження дуги це значення лежить у межах $0,85 \div 0,999$, в містах ця величина може досягати значення від $0,95$ до $0,99$.

Отже, для того щоб провести аналіз надійності мереж на основі SDH і PDH технологій, доцільно провести розрахунок ймовірності парної зв'язності між усіма вузлами мережі. Для цього задаються ймовірністю існування дуги та вузла.

При умові, що $p_B=1$ і $p_D=0,95$ ймовірність існування парної зв'язності між вузлами буде визначатися виключно ймовірністю існування дуг. В основному ймовірність парної зв'язності визначає множина шляхів: чим більша кількість різних шляхів, які не перетинаються між собою, тим вище значення ймовірності парної зв'язності. Кожен шлях характеризується ймовірністю справного стану всіх ребер, що утворюють даний шлях, а звідси надійність зв'язку між вузлами a і b є ймовірністю справного стану хоча б одного шляху із існуючої множини.

Отже, ймовірність парної зв'язності визначається у такій послідовності:

1) визначається множина шляхів між двома заданими вузлами, які не перетинаються між собою: $\{\mu\} = \mu_{AB}^j$, де j змінюється від 1 до N , де N – кількість різних шляхів;

2) ймовірність існування маршруту визначається за таким співвідношенням:

$$p_j[I_{ВХ}; I_{ВІХ}] = \prod_{i_{ВХ}=1; i_{ВІХ}=1}^{I_{ВХ}; I_{ВІХ}} p[i_{ВХ}; i_{ВІХ}], \quad (1)$$

де $p[i_{ВХ}; i_{ВІХ}]$ – коефіцієнт готовності j -тої дуги i -го вузла, $I_{ВХ}; I_{ВІХ}$ – початковий і кінцевий вузли маршруту, j – кількість незалежних маршрутів $j \in M$;

3) ймовірність неіснування шляхів:

$$P_{\text{неісн. марш.}}[j] = 1 - p_j[I_{ВХ}; I_{ВІХ}]; \quad (2)$$

4) ймовірність відсутності зв'язності:

$$P_{\text{відс. зв'яз.}} = \prod_{i=1}^M (1 - P_{\text{неісн. марш.}}[i]); \quad (3)$$

5) ймовірність існування парної зв'язності між вузлами A і B :

$$P_{AB} = 1 - P_{\text{відс. зв'яз.}} \quad (4)$$

Ймовірність зв'язності вузла з мережею визначається із співвідношення:

$$P_{\text{вуз. - мер.}}[I_{ВХ}; I_{ВІХ}] = 1 - \prod_{I_{ВХ}=1; I_{ВІХ}=1}^{I_{ВІХ}=N} (1 - p[I_{ВХ}; I_{ВІХ}]) \quad (5)$$

Ймовірність повної зв'язності мережі:

$$P_{\text{пов.}} = \left\{ 1 - \prod_{I_{ВХ}=1}^{I_{ВІХ}=N} (1 - P_{\text{вуз.-мер.}}[I_{ВХ}; I_{ВІХ}]) \right\} \quad (6)$$

Згідно із запропонованими співвідношеннями проведемо розрахунок ймовірності парної зв'язності для діючої *PDH*-мережі, наприклад між вузлами 1-*UTEL 5ESS* і 11-*ATC-93 5ESS*. Згідно з наведеними співвідношеннями $P_{1-11}=0,9999$.

Аналогічно розрахунок парної зв'язності ведеться і для всіх інших пар вузлів, в результаті отримуємо симетричну матрицю (таблиця 1), по діагоналі якої є одиниці – ймовірність існування вузла.

Згідно з цією ж методикою проведемо розрахунок парної зв'язності для *SDH*-мережі, але із врахуванням того, що сусідні вузли з'єднані подвійною дугою, тому ймовірність існування дуги в цьому випадку дорівнюватиме не 0,95 і визначатиметься згідно з:

$$p_{\text{п.д.}} = 1 - \prod_{i=1}^{N=2} (1 - p[i]_{\text{д.}}) = 1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,95) = 0,9975$$

Подальша послідовність розрахунку залишається незмінною. Ймовірності парної зв'язності для всіх пар вузлів для *SDH*-мережі дивись у таблиці 2.

Розрахунок зв'язності вузла з мережею і повної зв'язності недоцільно проводити у тих випадках, коли ймовірність існування дуги вища від 0,9.

Отже, на підставі даних матриць видно, що мережа *SDH* володіє значно вищою структурною надійністю. Ймовірність парної зв'язності між двома найбільш віддаленими вузлами *SDH*-мережі: 4 - *ATC-62* і 6 - *ATC-93 5ESS*, складає 0,99997, а між вузлами *PDH* мережі: 1-*UTEL 5ESS* і 11-*ATC-93 5ESS*, – 0,9999 і це за умови, що між цими вузлами є чотири незалежних маршрути. Крім високої структурної надійності, мережа *SDH* має вищі пропускні здатності, малий час затримки, гнучкість у керуванні і дає можливість подальшого її нарощування.

Запропонована мережа на основі синхронних цифрових систем, побудована за топологією коміркових подвійних кілець, має вищі значення показника структурної надійності, ніж діюча плетіохронна *SDH*-мережа дає можливість збільшити кількість абонентів міста та об'єм наданих послуг. Запропонована мережа на основі потоків *STM-1* і *STM-4* на даний час задовольняє вимоги щодо пропускної здатності та дає можливість її модернізації із збільшенням величини потоків відповідно до *STM-4* і *STM-16* у вузлах і використання резервних оптичних волокон магістральних кабелів або резервного кільця при різкому зростанні навантаження мережі в часи "пік".

Таблиця 1. Ймовірність парної зв'язності між вузлами мережі PDH.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0,99	0,99	0,99	0,85	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,85	0,81
2	0,99	1	0,97	0,97	0,95	0,97	0,98	0,99	0,97	0,99	0,98	0,97	0,85	0,81
3	0,99	0,97	1	0,97	0,81	0,99	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,90	0,85
4	0,99	0,97	0,97	1	0,81	0,97	0,99	0,99	0,97	0,98	0,96	0,97	0,81	0,77
5	0,85	0,95	0,81	0,81	1	0,81	0,85	0,9	0,81	0,90	0,85	0,81	0,81	0,77
6	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	1	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,90	0,85
7	0,99	0,98	0,97	0,99	0,85	0,96	1	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96	0,77	0,73
8	0,99	0,99	0,99	0,99	0,90	0,98	0,99	1	0,97	0,99	0,99	0,97	0,81	0,77
9	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	0,98	0,97	0,97	1	0,98	0,98	0,98	0,85	0,81
10	0,99	0,99	0,99	0,98	0,90	0,99	0,97	0,99	0,98	1	0,99	0,99	0,9	0,85
11	0,99	0,98	0,99	0,96	0,85	0,99	0,96	0,99	0,98	0,99	1	0,99	0,95	0,9
12	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	0,99	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1	0,9	0,85
13	0,85	0,85	0,9	0,81	0,81	0,9	0,77	0,81	0,85	0,9	0,95	0,9	1	0,95
14	0,81	0,81	0,85	0,77	0,77	0,85	0,73	0,77	0,81	0,85	0,9	0,85	0,95	1

Таблиця 2. Ймовірності парної зв'язності між вузлами мережі SDH.

	1	2	3	4	5	6
1	1	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
2	0,9999	1	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3	0,9999	0,9999	1	0,9999	0,9999	0,9999
4	0,9999	0,9999	0,9999	1	0,9999	0,9999
5	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	1	0,9999
6	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	1

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слепов Н.Н. Принципы плезиохронной и синхронной цифровых иерархий (PDH и SDH) // Сети. – 1995. - №9. - С.90-101.
2. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети. Nokia Telecommunications. - М.:, 1998. - С.140-152.
3. ITU-T Recommendation G.782. Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment (1990, Revised 1.94).
4. ITU-T Recommendation G.783. General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplexing Equipment (1990, Revised 1.94).