

3 Технічні засоби системи захисту інформації. Стандартизація та метрологічне забезпечення систем ТЗІ. Визначення відповідності засобів ТЗІ

Дмитро Могилевич, Микола Фомін

ВІТІ ДУТ

УДК 621.396

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

Анотація: Проведений аналіз задач, що виникають при проектуванні цифрових мереж зв'язку. Розглянута можливість застосування різних критеріїв під час оцінки структури цифрової мережі та вибору вихідних умов для проектування. Запропоновані загальні пропозиції, на яких засновано більшість підходів до постановки і рішення задач з покращення структури (топології) мережі.

Summary: The paper analyzed the problems that arise in the design of digital networks. The possibility of applying different criteria in the assessment of digital networks and the choice of initial conditions for the design. The general suggestions based on what most approaches to formulating and solving the problems of improving the network topology.

Ключові слова: Структура (топологія) мережі, цифрова мережа зв'язку, вартість, якість обслуговування.

І Вступ

В останні роки зростає кількість системних розробок, мета яких полягає у визначенні раціональної (оптимальної) структури мережі зв'язку. З'явилася необхідність у налагодженні комплексу технічних засобів, алгоритмів функціонування, програмного забезпечення мереж зв'язку на високому науково-технічному рівні. Досвід показує, що вирішення цих складних задач за допомогою інтуїції або шляхом проведення простих розрахунків потрібного результату не дає. При такому підході на завершальному етапі проектування, як правило, витрачається багато засобів і часу на переробку, доопрацювання, налагодження та проведення інших зайвих операцій. У зв'язку з цим постає питання про розробку математичного апарату, алгоритмів, програм для проведення необхідних розрахунків і проектування мереж зв'язку за допомогою ПЕОМ. Можливі наступні варіанти при проектуванні мереж зв'язку – за допомогою аналітичних чи імітаційних моделей.

Мережа зв'язку відноситься до класу складних технічних систем, тому їм притаманні всі особливості і труднощі теоретичних досліджень такого класу систем. Мережа зв'язку є багатопараметричною системою. Важкість постановки та вирішення задачі раціонального (оптимального) проектування мережі обумовили розробку низької математичних моделей, кожна з яких дозволяє вирішити яку-небудь конкретну задачу оптимізації з обраного критерію.

Наразі виконано ряд наукових робіт, присвячених теоретичним дослідженням телекомунікаційних систем і мереж. Так, в [1, 2] зосереджена увага на наступних задачах: виборі пропускових спроможностей каналів мережі, виборі потоків в каналах, виборі структури мережі. При цьому використовується скалярна оптимізація і цілий ряд припущень (абсолютна надійність використаної техніки зв'язку, вартість тільки лінійного і комутаційного обладнання та інше), які незручні з точки зору вимог користувача (споживача) мережі, бо не визначають витрати на експлуатацію мережі.

При проектуванні мережі також, як і при проектуванні окремих видів техніки, необхідно враховувати витрати користувача на експлуатацію мережі протягом її життєвого циклу. Звідси необхідно враховувати надійність засобів зв'язку, які будуть експлуатуватися в мережі, бо від надійності залежать не тільки витрати користувача на технічне обслуговування і управління мережею, але і ймовірно-часові характеристики доставки повідомлень. Нарешті, користувача, як правило, цікавить найбільш раціональний проект мережі при реальній вартості засобів зв'язку.

Наразі спостерігаються наступні загальні тенденції в розвитку мереж зв'язку – перехід до цифрових мереж зв'язку і інтеграція мереж з різними видами переданої інформації і різними методами комутації. Об'єднання цих напрямків призвело до появи цифрових мереж зв'язку (ЦМЗ), які мають низку особливостей, що визначають їх перспективність [3 – 5].

На вибір метода (ів) комутації в ЦМЗ впливає низка факторів, серед яких одними із найголовніших є склад вхідного трафіку та вимоги з його обслуговування. Тому основними задачами раціонального проектування цифрових мереж є рішення задач обслуговування користувачів з необхідною якістю обслуговування (при мінімізації вартості).

Таким чином, однією з основних задач залишається розробка комплексної математичної моделі мережі, яка дозволяє зв'язати економічні і структурні характеристики мережі з характеристиками процесу доставки повідомлень, і розробка на основі цієї моделі методів проектування великомасштабованої мережі зв'язку з використанням засобів автоматизованого проектування і системного підходу до всього циклу розробки мережі. [6, 7]

II Основна частина

Мережа зв'язку зазвичай задається у вигляді графа $G(N, M)$. Кількість ребер M в загальному випадку не дорівнює кількості вузлів N . В кожній вершині графа знаходиться один кінцевий або транзитний вузол зв'язку (ВЗ). У ВЗ в загальному випадку можуть розташовуватись вузол комутації (ВК), центр управління мережею (ЦУМ) визначеного рангу і центр технічного обслуговування (ЦТО). Оскільки вартість і функціональні задачі ВК, ЦУМ і ЦТО різні, то зазвичай кількість ЦУМ і ЦТО менша кількості ВЗ.

Систему входів і виходів математичної моделі мережі зв'язку пропонується визначити наступним чином:

1) *незалежні вхідні впливи* (Y) – кількість, тип і характер розподілу комутаційних центрів (КЦ) по території;

навантажувальні характеристики КЦ;

характеристика об'ємів повідомлень;

часові характеристики переданих потоків повідомлень (доставка, старіння інформації та інші);

коефіцієнти ефективності використання каналу зв'язку і ВК;

розміри території мережі;

техніко-економічні показники, які пропонується до використання обладнання (кількість типів ВК, каналів зв'язку, функції вартості одного типу (C_i, C_j), продуктивність (P_i, P_j), показники надійності, кількість

типів ЦТО, які відрізняються функціональною приналежністю і річними витратами на утримання (I_j),

кількість типів ЦУМ, які відрізняються оціночними коефіцієнтами функції управління та інші);

граничні умови спрацювання системи управління мережею;

об'ємно-часові характеристики процесу передачі управляючої інформації;

2) *варійовані параметри* (X) –

кількість ступенів ієрархії мережі (R);

кількість вузлів на Γ -й ступені ієрархії мережі ($n_r, r = \overline{2, R}$);

середня зв'язність підмережі Γ -го ступеню ієрархії (k_r);

середня довжина маршруту підмережі Γ -го ступеню ієрархії (π_r);

кількість маршрутів підмережі, що не перетинаються;

середня довжина каналу підмережі Γ -го ступеню ієрархії;

вид комутації;

тип ВК на Γ -му ступеню ієрархії (i_r);

тип каналу зв'язку Γ -го ступеню ієрархії (j_r, Γ);

тип каналу зв'язку в міжступінчатій підмережі (j_{r-1}, Γ);

кількість каналів j -го типу на Γ -му ступені ієрархії (m_{jr});

кількість ЦТО на Γ -му ступені ієрархії (S_r);

кількість обслуговуючого персоналу (U);

кількість рівнів управління мережі управління (W);

кількість зон управління одного рівня (S);

кількість ЦУМ в зоні управління ω -рівня (N^{ω}_s);

управляючий вплив на мережу.

Система виходів $G(X, Y)$ являє собою вектор критеріальних функцій, одна з яких виділяється як цільова.

Перехід на формальні методи автоматизованого проектування в інженерній практиці висунув ряд проблем. Як основу можна назвати проблему, пов'язану, головним чином, з формальною постановкою задач проектування і метода пошуку рішень, а також організацію обчислювальних процесів, зв'язаних з управлінням і інформаційною взаємодією проектних процедур і користувача в системі автоматизованого проектування [8]. Перша проблема є визначальною.

В загальній проблемі автоматичного пошуку можна виділити наступні основні аспекти. Перший пов'язаний з постановкою багатокритеріальних задач проектування. Якщо одна із критеріальних функцій є цільовою, а інші – обмеженнями, то подібна постановка відповідає поняттю «оптимізація» і передбачає собою пошук умовного екстремуму. Другий аспект пов'язаний з декомпозицією загальної задачі проектування на локальні процедури і організацію на цій основі загальної процедури системного проектування. Третій аспект пов'язаний з пошуком рішення в просторі з дискретними значеннями параметрів, в умовах невизначеності середі проектування та інше.

Проектування мережі зв'язку являє собою сукупність таких основних задач: вибору структури, або структурного синтезу, і вибору чисельних значень параметрів елементів даної структури, або синтезу параметрів.

Взагалі формально здійснене завдання синтезу полягає в пошуку значень параметрів, що задовольняють умовам:

$$\begin{aligned} G_j(X, Y) &\leq G_{0j}, \quad j = \overline{1, m} \\ G_j(X, Y) &\in G(X, Y), \quad G_{0j} \in G_0 \end{aligned} \quad (1)$$

де G_0 - критеріальні числа відповідно до технічних завдань на мережу [8].

Задача оптимізації записується наступним чином: знайти значення параметрів, що задовольняють умовам

$$\begin{aligned} \max(\min) S(X, Y) \\ \text{при } G_j(X, Y) &\leq G_{0j}, \quad j = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (2)$$

де $S(X, Y)$ – цільова функція.

Основна проблема при постановці і вирішенні задач (1), (2) пов'язана з розмірністю простору обмежень і заданням цільової функції. Для подолання цих труднощів можливо використовувати методи перетворення задачі синтезу при виконанні визначених умов. В [9] сформульовані деякі принципи оптимального проектування мережі зв'язку, які дозволяють перейти від рішення загальної задачі проектування мережі до вирішення конкретних задач раціонального проектування її частин.

В загальному вигляді умови, при виконанні яких раціональне (оптимальне) рішення задачі оптимізації системи при її декомпозиції на підсистеми буде співпадати з оптимальним рішенням останніх, можна сформулювати наступним чином [9]:

1) підсистеми повинні бути незалежні в області обмежень. Незалежність можна задати певною постійною зв'язністю підсистем (підмереж). В реальних задачах побудови мережі зв'язку важко виділити повністю незалежні підмережі (мережа розпалася б в цьому випадку на окремі незалежні самостійні частини). Отже, необхідно виділити слабо залежні підсистеми, які можна синтезувати окремо, або виділити етапи загального синтезу мережі, які по параметрам можна вважати відносно незалежними (наприклад, синтез первинної мережі, вторинних мереж, управління мережею і т. д.), при цьому будуть отримані раціональні рішення задачі синтезу мережі.

2) При дотриманні умови 1) цільова функція системи має бути строго монотонною функцією від цільових функцій підсистем. Даній умові відповідає представлення цільової функції системи як суми відповідних функцій підсистем.

3) Подвійність задачі оптимізації.

Задачі (1) і (2) зазвичай називають прямими, а існуючі еквівалентні ним задачі максимізації – подвійними [9]. Після вибору цільових функцій системи і підсистем, що задовольняють вищеперерахованим вимогам, інколи буває зручніше синтезувати підсистеми згідно з цільовою функцією подвійної задачі. Це дозволяє, в даному випадку, пов'язати при синтезі мережі загальні і часткові, цінові і функціональні критерії мережі та її частин.

Згідно з [9], як цільову функцію при оптимізації мережі доцільно використовувати узагальнений економічний критерій, зокрема, приведені витрати. Цей критерій зручний і в тому сенсі, що він більш, ніж будь який інший, задовольняє умовам 1) і 2).

Всі наведені умови вірні для мереж з будь яким видом комутації.

Таким чином, за цільову функцію при проектуванні ЦМЗ пропонуються приведені витрати (Π), які визначаються, як $\Pi = E_n K + \Theta$, де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, K – капітальні витрати, Θ – середньорічні експлуатаційні витрати. Як загальні обмеження використовують ймовірність своєчасної доставки $G \geq G_3$ і середній час доставки повідомлень $T \leq T_3$, де Q_3 і T_3 , відповідно до задачі, ймовірність і час доставки. Крім того, зазвичай накладається обмеження, що всі значення цільової функції та обмежень мають бути позитивні. Тоді задача оптимізації мережі в загальному вигляді формулюється наступним чином:

$$\Pi = E_n K + \Theta \rightarrow \min; \quad Q \geq Q_3, \quad T \leq T_3, \quad K, E, Q, T \geq 0, \quad (3)$$

де K - визначається як сума капітальних витрат на обладнання мережі, СУ, систему ТО.

Вказану задачу пропонується вирішувати на основі багатоступенної процедури оптимізації і декомпозиції загальної задачі на незалежні, за обмеженнями, часткові задачі, за умови збігу окремих оптимальних рішень з оптимальним рішенням загальної задачі. Такий підхід дозволяє звести вирішення задачі оптимізації мережі до вирішення послідовності задач математичного програмування комбінаторного і нелінійного характеру. Метод рішення обумовлений тією обставиною, що мережа зв'язку і СУ утворюють єдину замкнуту само налагоджувану систему, однак згідно з запропонованою моделлю можна їх вважати відносно незалежними по параметрам проектування (по області обмежень). Якщо врахувати, що цільова функція адитивна по змінній капітальних затрат для мережі і СУ (експлуатаційні витрати на СУ можна віднести до експлуатаційних витрат на мережу в цілому), то остання обставина і незалежність по області обмежень є необхідними і достатніми умовами декомпозиції загальної задачі синтезу [9]. В цьому випадку задачу оптимізації СУ і структури системи доставки мережі можна вирішувати окремо.

На етапі проектування цифрових мереж необхідно вибрати число і місцезнаходження вузлів комутації, топологію базової і термінальної мережі, трактів передачі інформації, потужність вузлів комутації, а також визначити цілий ряд загальних і структурних параметрів мережі, що суттєво впливають на вартість мережі і якість обслуговування абонентів (формати повідомлень), протоколи передачі, об'єми пам'яті вузлів комутації, методи захисту від помилок, методи управління потоком, методи маршрутизації і інше). Економічні моделі дозволяють врахувати складність алгоритмів обробки інформації в вузлах комутації через його вартість, що може призвести до визначених поправок у висновках порівняльного аналізу методів комутації з використанням моделей першого класу. Економічні моделі [3, 10], зазвичай, використовують для аналізу методів комутації в цифрових системах зв'язку зі складною структурою. Економічні показники різних варіантів організації цифрової мережі зв'язку суттєво залежать від техніко-економічних показників рекомендованого до використання обладнання (а саме, від вартості вузлів комутації), тому в розрахунках вихідні дані вимагають ретельної підготовки.

Основними критеріями при оцінці структури мережі зв'язку зазвичай виступають:

- а) вартість мережі;
- б) час затримки при передачі повідомлень в мережі зв'язку і ймовірність втрат;
- в) надійність мережі або вплив на мережу відмов її компонентів.

Вартість мережі є одним із основних показників, бо значною мірою визначає рентабельність запровадження і експлуатації мереж зв'язку. В більшості моделей припускається, що всі компоненти мережі, окрім вартості ліній зв'язку, залишаються постійними. Тоді з метою проектування вартість мережі можна задати у виді:

$$D = \sum_{(l,t) \in A} d_{lt}(C_{lt}), \quad (4)$$

де $d_{lt}(C_{lt})$ - функція вартості лінії (l,t) , включеної в дану топологію А-мережі, при організації в лінії (l,t) тракту передачі даних з пропускнуною спроможністю C_{lt} .

Вид функції $d_{lt}(\bullet)$ визначає конкретні вимоги проектування (заданими тарифами, географією мережі і інш.). В загальному випадку функції $d_{lt}(\bullet)$ є дискретними, неспадними функціями від пропускнуною спроможності C_{lt} і довжини l_{lt} лінії (l,t) .

Аналітичні методи оптимізації топології неминуче стикаються з необхідністю аналітичної апроксимації вартості $d_{lt}(C_{lt})$ безперервними функціями.

Аналіз емпіричних залежностей вартості каналів зв'язку від пропускної спроможності призводить до наступного загального виразу для апроксимації функції вартості:

$$d_{lt}(C_{lt}) = a_{lt} C_{lt}^{\alpha}, \quad (5)$$

де в коефіцієнт a_{lt} включаються всі інші фактори, що впливають на вартість тракту передачі, окрім його пропускної спроможності [1].

При використанні орендованих каналів велике значення набуває залежність вартості оренди каналу зв'язку від відстані. Виразити цю залежність аналітично нелегко – функція вартості оренди каналу $W(l)$ від відстані l зазвичай є нелінійною дискретною функцією, причому зі збільшенням відстані вартість оренди на одиницю довжини каналу падає. Дослідження існуючих тарифів показує, що гарне наближення в аналітичних оцінках можна отримати, використовуючи апроксимацію виду:

$$w(l) = C\sqrt{l}, \quad (6)$$

де C – певна константа. Часто використовується функція виду:

$$(\alpha l_{lt} + b)W(l_{lt}),$$

де $W(l_{lt})$ – визначається за формулою (6), α і b – константи.

Зауважимо, що в алгоритмічних методах пошуку рішень достатньо мати таблиці значень функцій $d_{lt}(C_{lt})$ або $W(l)$.

На додаток відзначимо, що вельми важливим показником мережі є так звана приведена вартість мережі H_D , що визначається як співвідношення вартості мережі за певний період функціонування до сумарного об'єму трафіку, що пропускається через мережу за той же період часу:

$$H_D = D/\gamma,$$

де D – вартість мережі, γ – сумарний об'єм трафіку, пропущеного за певний період функціонування. Проте застосування критерію H_D на етапі проектування вельми обмежено, оскільки на даний критерій суттєво впливають методи управління (управління потоком, маршрутизація і т. п.) в умовах функціонування мережі.

Аналогічний підхід до розрахунку середнього часу затримки повідомлень в мережах зазвичай засновується на наступних припущеннях: повідомлення надходять незалежно відповідно до закону Пуасона із середньою інтенсивністю γ_{lt} на пару вузлів l та t ; час обслуговування в лінії (l, t) , що дорівнює $1/\mu C_{lt}$ (μC_{lt} – інтенсивність обслуговування); буферна пам'ять на вузлах комутації не обмежена; елементи мережі абсолютно надійні і канали зв'язку не вносять викривлень при передачі інформації; виконується «пропозиція про незалежність».

Хоча приведені пропозиції не дотримуються на практиці, вони дають гарне наближення моделі до реальності. Середня затримка повідомлень в мережі в цьому випадку виражається формулою:

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_{(l,t) \in A} \frac{\lambda_{lt}}{\mu C_{lt}}, \quad (7)$$

де A – топологія мережі, λ_{lt} – потік (пакет/с) в лінії (l, t) , а γ – сумарний вхідний потік.

$$\gamma = \sum_{i,j=1}^N \gamma_{ij},$$

де N – число вузлів у мережі.

З врахуванням затримок, які вносяться поширенням сигналів каналами зв'язку і обробкою пакетів процесором вузла зв'язку, а також з урахуванням передачі службової інформації може бути отримана більш точна оцінка затримки пакетів в мережі [1, 2].

Відмітимо, що якщо вказане вище припущення не виконується, то аналітичне завдання величини T значно ускладнюється. В загальному випадку на функцію, що виступає в ролі аналітичного представлення

для часових затримок в мережі - $T(C, \Theta)$, де Θ - деякі параметри мережі, можна накласти єдине, фізично мотивоване обмеження:

$$T(C_i \theta) < T(C_j, \theta), \text{ якщо } C_j < C_i.$$

Звертаючись до формули (3) або до інших формул, отриманих аналогічним шляхом, прийемо, що всі необхідні умови їх застосування виконуються.

Обмеженість аналітичного підходу до розрахунків затримок повідомлень в мережі вельми ускладнює отримання на етапі проектування точної картини розподілу затримок по мережі. Більш повна інформація може бути отримана шляхом моделювання мережі. Проте, сучасні методи імітаційного моделювання вимагають великих витрат машинного часу для отримання показників з прийнятною похибкою моделювання в задачах великих розмірностей. Тому включення цих методів в процедури пошуку з переглядом дуже великого числа варіантів стає практично нереалізуємою задачею.

Структурну надійність мережі часто характеризують її зв'язністю k .

Мережа називається k - зв'язною, якщо для кожної пари вузлів мережі існує, що найменше, k шляхів, що не перетинаються (ланок ліній). Іншими словами, не менш k вузлів мережі та/або ліній мережі повинно відмовити (вийти з ладу), аби певна пара вузлів мережі опинилися незв'язною.

Величина $\delta(m)$ позначає мінімальне число ліній мережі, відмова яких призводить до того, що будь-які m вузлів мережі опиняються незв'язаними, а залишаються частиною вузлів. Дана характеристика надійності представляється більш загальною, ніж k -зв'язність, проте перевага надається останній, яка обраховується (перевіряється) значно легше.

Наведені показники надійності мережі не залежать безпосередньо від надійності (ймовірності відмови) окремих вузлів мережі, хоча деякі рекомендації можуть бути отримані модельним або експериментальним шляхом.

Прийнятними мірами надійності мережі, що враховують ймовірність p виходу з ладу її компонентів, представляються ймовірністю незв'язності мережі $L(p)$ і середня «доля» пар вузлів, які опиняються не зв'язними через відмови вузлів і ліній мережі $n(p)$. При певних допущеннях оцінки $L(p)$ і $n(p)$ можуть бути виражені аналітично, проте для мережі великої розмірності необхідно поєднання аналізу і моделювання.

Можливість обліку реальної надійності елементів мережі при обрахунку основних критеріїв якості найбільш повно реалізована в ряді робіт, результати яких покладені в основу моделей, описаних в [1, 2].

Способи завдання критеріїв оцінки мережі в багатьох моментах визначає підхід до формалізації і рішення задач оптимізації топології мережі. Іншим визначальним фактором служить вибір вихідних вимог проектування мережі.

При постановці завдання зазвичай передбачається, що частина змінних проектування фіксована, зроблені певні припущення відносно загальних характеристик і принципів побудови мережі. Зовнішні фактори, що визначають постановку і рішення оптимізаційних завдань (вимоги користувачів, ресурси мережі, статистичні характеристики повідомлень, типи трафіку, тремтіння об'єму трафіку і інші) визначені із задовільним ступенем точності.

Аналіз досліджень в області раціональної (оптимізації) структури мережі дозволяє виділити наступні загальні припущення, на яких заснована більша частина підходів до постановки і вирішення задач:

1) задано число N і місцезнаходження вузлів мережі, або матриця відстаней $\|l_{ij}\|$, $j = 1, 2, \dots, N$, де l_{ij} - відстань між вузлом i та вузлом j .

2) задана певна множина ліній мережі, кандидатів на включення в обраний структурний (топологічний) варіант мережі (зазвичай кількість ліній рівна $M = N(N-1)/2$;

3) відома матриця вимог до трафіку між вузлами мережі $\|\gamma_{ij}\|$, $j = 1, 2, \dots, N$, де γ_{ij} - потік, що виходить із вузла i та призначений для передачі на вузол j .

4) задані правила або вид функцій для обрахування вартості мережі, затримок при передачі повідомлень в мережі, відмов і надійності мережі;

5) заданий спектр характеристик, надійність і інш. Зокрема, пропускна спроможність тракту передачі може обиратися із заданого набору $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$.

Продуктивність вузлів комутації також обирається із заданого набору $C_y = \{C_1, C_2, \dots, C_n^m\}$;

6) припускаємо, що потоки в мережі незалежні і однорідні, а пошкодження вузлів в лінії відбуваються незалежно один від одного.

Конкретні постановки оптимізації завдань проектування відрізняються специфікою підходу.

Зокрема, можна виділити такі основні групи завдань:

1) завдання мінімізації вартості мережі, що визначається за формулою (3), шляхом вибору топології мережі і пропускної спроможності тракту передачі при обмеженнях – на середній час, T затримки повідомлень в мережі $T \leq T_{\max}$, на зв'язність $K \geq K_{\min}$, де T_{\max} - максимально припустимий (середній) час затримки повідомлень, а K_{\min} - мінімально допустима зв'язність мережі. Зазвичай T визначається за формулою (7), а як T_{\max} використовується величина 0,2 с. В обмеженнях на зв'язність найбільш часто фігурують значення $K_{\min} = 2$;

2) задача мінімізації середньої затримки повідомлень в мережі шляхом вибору структури (топології), розподілу потоків і вибору пропускної спроможності при обмеженнях на зв'язність і обмеження на вартість її мережі.

$$D \leq D_0,$$

де D_0 - виділені ресурси (фінансові) на мережу, а D визначаються за формулою (4):

3) задача підвищення надійності мережі при заданих обмеженнях на виділені ресурси і середню затримку повідомлень в мережі.

III Висновки

Проведений аналіз показав, що наразі не існує єдності поглядів дослідників у трактуванні поняття надійності мережі. Для більшості наукових і фінансових розробок надійність мережі виступає в ролі обмежень для великої кількості допустимих структур мережі.

Зауважимо, що проведена класифікація задач раціональної структури вельми умовна, оскільки задачі відносяться до різних груп, а в деяких спеціальних випадках до рішення задач однієї групи і можуть бути застосовані до задач іншої групи. В загальній класифікації оптимізаційних задач, розглянуті задачі синтезу структури (топології) мережі відносяться до класу екстремальних пошукових задач, визначених як клас нелінійних, дискретних (цілочисельних) задач з залежними змінними і неповною інформацією.

З математичної точки зору досліджувані задачі мають наступні особливості, характерні для класу екстремальних пошукових задач взагалі [10]:

- а) кількість допустимих рішень є настільки великою, що перебір всіх рішень не можливий, а рівно можливий випадковий вибір призводить до прийнятних рішень з надзвичайно малою ймовірністю;
- б) порівняння будь яких двох рішень неможливе без безпосереднього визначення цих рішень та обчислень відповідних значень критеріїв якості, тобто практично неможливо отримати інформацію про доцільний напрямок пошуку рішень при переході від поточного рішення до нового, завідомо кращого;
- в) змінні в задачах є суттєво залежні, що також ускладнює процедуру переходу до нових рішень;
- г) опис обмежень аналітичним шляхом зв'язаний із суттєвими труднощами або зовсім неможливий.

Таким чином, зауважимо, що при практичному застосуванні задачі оптимізації структури (топології) відносяться до підкласу таких екстремальних пошукових задач, для яких не доказано існування методів пошуку рішень, що забезпечують отримання оптимуму за час, обмежений поліномом від розмірності N задач. Більше того, отримання хоча б одного такого методу для будь-якої задачі із даного підкласу означало би можливість отримання оптимуму будь-якої задачі із даного підкласу за поліноміальний (від N) час.

Список використаної літератури: 1. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телеграфика и ее приложения. — Спб.: БХВ-Петербург, 2005-288. 2. Теория телеграфіку: навч. посіб./ В. Я. Воропаєва, В. І. Бессараб, В. В. Турупалов, В. В. Червинський. — Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. —202. 3. Вермішев Ю. Х. Методи автоматичного пошуку рішень при проектуванні складних технічних систем. — М.: Радіо та зв'язок, 1982, 152 с. 4. Гольдштейн Б. С, Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети святы. — Спб.: «БХВ – Петербург», 2010. — 371-378. 5. Антонов А. В., Нікулін М. С. Статистичні моделі в теорії надійності. М.: Абрис: 2012.. 6. Романов А. И. Телекоммуникационные сети и управление. — К.: ИПЦ „Киевский университет”, 2003. — 247 с. 7. Рябінін І. А. Надійність і безпека структурно-складних систем. Спб.: Видавництво Санкт-Петербурзького університету, 2007 р., 278 с. 8. Агаян А. А. Дослідження алгоритмів багатокритеріальної оптимізації топології обчислених мереж. — М., 1982. 70 с. — (Препринт/АН СРСР, Наукова рада по комплексній проблемі «Кібернетика»). 9. Еремін І. И. Двойственность в несобственном программировании. Кибернетика и системный анализ, 1996, 6, 13 с. 10. Креденцер Б. П. Оценка эксплуатационно-технических

характеристик объектов телекоммуникаций при априорной неопределенности: монографія / Креденцер Б. П., Могилевич Д. И. Миночкин А. И. – К.: Феникс, 2012. – 332 с.

Андрей Демаш, Андрей Паламарчук, Сергей Усенко, Алексей Юдин, Сергей Мазор*
ГосНИИ Спецсвязи, *ИССЗИ НТУУ «КПІ»

УДК 621.396.4

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАКЕТА ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ СТАНЦИИ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Аннотация: Излагаются в сжатом виде результаты натурных исследований макета приемного модуля станции тропосферной связи. Исследования проводились для определения минимально необходимой базы многопозиционных шумоподобных сигналов и возможности последующей их обработки с использованием алгоритмов Витерби при создании станций тропосферной связи нового поколения.

Summary: The compressed results of the field research station receiver module layout tropospheric communication. Studies were conducted to determine the required minimum base multiposition noise-like signals and the possibility of subsequent processing using the Viterbi algorithm when creating stations tropospheric new generation communication.

Ключевые слова: Шумоподобные сигналы, энергия сигнала, спектральная плотность мощности шума, тропосферная связь.

I Цель исследований

Целью натурных исследований является измерение отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума h^2 . Проведение данного измерения необходимо для определения энергетической эффективности сигнала при использовании составных многопозиционных шумоподобных сигналов (СМПШПС), а также для проверки возможности использования модемов спутниковой связи, работающих со сверточным кодированием по алгоритму Витерби с перемежением как составной части модема обработки СМПШПС в станции тропосферной связи нового поколения [1].

Результаты измерений h^2 необходимы для уточнения расчета радиолинии при оптимизации полосы частот и определения базы СМПШПС. Предварительные исследования h^2 , проведенные в лабораторных условиях, обладают научной и технической новизной. В тоже время, для дополнительного подтверждения полученных результатов они требовали проведения натурных исследований.

Из технических решений, примененных во время исследований и ранее не используемых в станциях такого типа, можно выделить следующие:

- многоступенчатая обработка сигналов;
- многопозиционное кодирование;
- использование широкополосных сигналов (ШПС), имеющих значительную базу и их когерентную обработку в целом на радиочастоте.

Предложенные решения теоретически дают существенный энергетический выигрыш по сравнению с широко известными принципами обработки сигналов, используемыми в станциях тропосферной связи, например в таких, как Р-423-1.

II Техническое обеспечение проведения натурных исследований

2.1 Исследования проводились на радиолинии со следующими техническими характеристиками:

- диапазон частот, ГГц: 4,4 - 4,7;
- скорость передачи информации, Кбит/с: 2048;
- эффективная изотропно излучаемая мощность используемой станции тропосферной связи, дБВт: 70;
- протяжённость трассы, км: 207;
- угол места, град: 0;
- температура воздуха, °С: минус 5;
- относительная влажность, %: 97;
- атмосферное давление, мм.рт.ст.: 748.

Передача и приём проводились в одной и той же полосе частот.

2.2 Для технического обеспечения проведения натурных исследований использовались: