

Харківський національний університет радіоелектроніки

Фуад Вехбе



УДК 621.391

**МЕТОДИ БАГАТОЕТАПНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО
СИНТЕЗУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ
МОДЕЛЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ У ВИГЛЯДІ БАГАТОШАРОВОГО ГРАФУ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор

Агєєв Дмитро Володимирович,

Харківський національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Бараннік Володимир Вікторович,

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
начальник кафедри бойового застосування та експлуатації АСУ;

кандидат технічних наук, доцент

Акулінічев Артем Аркадійович,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
доцент кафедри прийому, передачі та обробки сигналів.

Захист відбудеться “ 22 ” жовтня 2014 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 при Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166 м. Харків, пр. Леніна. 14.

Автореферат розісланий “ 22 ” вересня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є.В. Дуравкін

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Останнім часом спостерігається бурхливий розвиток інформаційних технологій, при яких телекомунікаційні системи становлять матеріальну і системоутворюючу основу. Цей розвиток характеризується постійним зростанням вимог до ефективності інфокомунікаційних систем, розширенням їх функціональних можливостей з забезпеченням якості обслуговування (Quality of Service, QoS), що накладає свій відбиток на процес проектування.

Характеристики будь-якої технічної системи, ефективність її функціонування, закладається на етапі проектування. Саме від методів проектування, від адекватності математичних моделей, що використовуються при цьому, залежать властивості і життєздатність майбутньої системи. Історія знає численні приклади, коли помилки, що виникли при проектуванні, приводили до негативних результатів і великим економічним збитком.

Створення телекомунікаційних та інфокомунікаційних систем не є одноментним процесом, частіше за все є довготривалим процесом, що складається з декількох етапів. В цьому випадку це дозволяє розпочати надання послуг до закінчення створення всієї інфокомунікаційної системи в цілому. Також при створенні інфокомунікаційних систем можуть виникати додаткові обмеження пов'язані з об'ємами фінансування протягом часу розгортання системи. Таким чином виникає додатково задача створення плану поетапного розгортання телекомунікаційної мережі, яка є складовою інфокомунікаційної системи та створення план впровадження інфокомунікаційних послуг таким чином, щоб забезпечити максимальної ефективності процесу створення системи за обраним критерієм (в якості такого критерію може виступати, наприклад, максимум прибутку оператора).

Сучасні інфокомунікаційні системи є великими складними системами, що володіють багаторівневою структурою в багатьох аспектах розгляду. Особливої уваги заслуговує структура, утворена накладеними мережами. Такий багаторівневий, багатоаспектний опис існуючих інфокомунікаційних та телекомунікаційних систем важко піддається математичному опису без втрати наочності або адекватності.

Однією з найбільш вдалих моделей є багатошаровий граф. Використання даної моделі дозволяє адекватно описувати топологію кожної з накладених мереж і взаємозв'язок між процесами, що протікають на різних її рівнях, а також дозволяє представляти телекомунікаційну систему на етапі її проектування як єдиний цілісний об'єкт. Це дозволяє підвищити ефективність розв'язку задач синтезу в порівнянні з методами, які використовуються зараз, та базуються на послідовному розв'язку задач синтезу для кожної з накладених мереж.

Зазначені особливості процесу створення та розгортання сучасних інфокомунікаційних систем, а також накладений принцип їх побудови вимагає проведення додаткових досліджень та перегляду методів структурного і параметричного синтезу, що використовується для їх проектування.

На сьогоднішній день розв'язання задач параметричного синтезу базується на використанні моделей найпростішого потоку, який також має назву стаціонарного пуассонівського потоку. У той же час, як показали результати дослідження, потоки в мультисервісних мережах мають зовсім іншу структуру, яка відрізняється від прийнятої в класичній теорії телетрафіка. Це робить сильний вплив на результати проектування сучасних телекомунікаційних мереж і викликає потребу в значній корекції методів синтезу.

Таким чином, тему дисертаційної роботи та **науково-прикладну задачу**, яка полягає у розробці нових і вдосконаленні існуючих методів одно- та багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем з використанням моделей багаточарових графів та представлення потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх при проектуванні, можна вважати актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з реалізацією основних положень «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні» і з «Основними засадами розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки».

Крім того, напрям досліджень було пов'язано з планами університету та кафедри телекомунікаційних систем, де виконувалась дана робота, а також тематикою науково-дослідних робіт кафедри телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності одностадійного та багатостадійного параметричного та структурного синтезу інфокомунікаційних систем, який базуються на використанні багаточарових графів та застосуванні властивостей інформаційних потоків як самоподібних процесів.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є процес проектування інфокомунікаційних систем.

Предметом дослідження є математичні моделі та методи одно- та багатостадійного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи.

Методами дослідження є: методи оптимізації, математична статистика і теорія ймовірностей, теорія масового обслуговування, теорія графів, теорія самоподібних процесів, методи імітаційного моделювання.

Задачі дослідження. Відповідно до поставленої мети в дисертаційній роботі вирішуються наступні основні задачі дослідження:

- аналіз теоретичних результатів в галузі одноетапного та багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем;
- розробка математичної моделі та методу структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з врахуванням структурованої кабельної системи;

- розробка методу багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи та планування впровадження послуг;
- розробка методу структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з декількома періодами навантаження;
- проведення числових та натурних експериментів по дослідженню ефективності запропонованих методів та вироблення практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Наукова новизна одержаних результатів. Під час розв'язання поставлених задач були отримані наступні нові наукові результати:

1. Отримав подальший розвиток метод структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з врахуванням структурованої кабельної системи за рахунок одночасного розв'язку задач вибору місць установки активного мережного обладнання; синтезу топології Ethernet – мережі та кабельної каналізації; вибору маршрутів прокладки кабелів, який базується на використанні моделі у вигляді багатошарового графу. Це дозволило отримати структуру мережі меншої вартості в порівнянні з раніш відомими методами.

2. Вдосконалено метод багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі, що враховує топологію мережі, перелік послуг та пропускні здатності каналів зв'язку. Новизна полягає в тому, що дана модель враховує необхідність будівництва ліній зв'язку, які не відкидаються зі структури мережі на наступних етапах, перелік послуг що надаються абонентам на кожному з етапів з урахуванням інформаційних потоків, які виникають не тільки між абонентами і серверами, а й між серверами, а також зміни інтенсивності цих потоків. Це дозволило більш повно врахувати особливості задач планування, що виникають на практиці та збільшити її ефективність за економічними та технічними показниками.

3. Отримав подальший розвиток метод багатоперіодного параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі відміною особливістю якого є опис інформаційних потоків у мережі моделлю самоподібних процесів. Це дозволило зменшити середню затримку пакету за рахунок підвищення ефективності використання пропускних здатностей каналів зв'язку.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані в роботі математичні моделі і методи структурного та параметричного синтезу мають важливе практичне значення, оскільки відкривають можливість синтезу високоефективних за економічними та технічними показниками структур інфокомунікаційної систем, що містять у своєму складі накладені мережі.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі математичні моделі та методи структурного та параметричного синтезу отримали програмну реалізацію у вигляді підпрограм у складі програмного комплексу, що дає можливість розв'язувати задачі синтезу структури та визначення параметрів структурних елементів інфокомунікаційної системи з одночасним синтезом структурованої кабельної системи, а також здійснити плану-

вання багатоетапного впровадження інфокомунікаційної системи, як телекомунікаційної підсистеми, так і скласти план оптимальної послідовності впровадження інфокомунікаційних сервісів. За допомогою даного програмного забезпечення було доведено можливість практичної реалізації та працездатності запропонованих у роботі методів. Розробка призначена для застосування при проектуванні корпоративних інфокомунікаційних систем.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки у практичних та лабораторних заняттях з дисципліни «Методи проектування телекомунікаційних систем», яку читають у 9 семестрі студентам спеціальності «Телекомунікаційні системи та мережі», що підтверджується актом впровадження.

Особистий внесок здобувача. Робота виконана на кафедрі телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. Всі основні наукові результати, подані в дисертаційній роботі, отримано автором самостійно й повністю опубліковано в спеціалізованій літературі [1-14].

У роботах, виконаних у співавторстві, особисто Фуаду Вехбе належать такі наукові результати: в [1] синтез математичної моделі мультисервісного вузла доступу та вибір методики розрахунку пропускних здатностей каналів зв'язку транспортної мережі; у [2] методика синтезу вихідного багат шарового графу; у [3] потокова модель для багат шарового графа з врахування ефекту самоподоби трафіка; у [4] метод синтезу гетерогенної оптичної транспортної мережі та метод визначення вагових коефіцієнтів у методиці еластичної мережі; у [5] синтез математичної моделі мережі, що проектується у вигляді багат шарового графа.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися на 8-мі міжнародних форумах та конференціях: на 16-му та 17-му Міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка і молодь в XXI сторіччі» (м.Харків, ХНУРЕ, 2012, 2013); 1-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» (м.Одеса, ОНАЗ, 2011); XIth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. TCSET' 2012 (Львів-Славсько, НУ «Львівська політехніка»), а також на наукових семінарах кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, з яких 6 статей: 4 статті у фахових виданнях України [1 - 4] та 2 статті закордоном, з яких 1 стаття у міжнародному науковому журналі та 1 стаття у Російській Федерації; 8 матеріалів міжнародних конференцій, що проходили в Україні [6 – 14]. . Усі по темі дисертаційної роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація обсягом 128 сторінки основного тексту складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, містить 18 рисунків, 6 таблиць та список використаних джерел з 65 найменувань.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено 3 пункти наукової новизни одержаних результатів та визначено практичну цінність отриманих у роботі результатів. Наведено основні дані по публікаціям та особистому внеску здобувача. Дано загальну характеристику роботи.

У першому розділі наведено загальну архітектуру побудови мультисервісної системи, позначено коло задач, які необхідно вирішити при проектуванні її структури. Наведено коло задач які виникають при проектуванні структурованих кабельних систем. Проведено аналіз існуючих методів структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем та мереж. Вказано, що створення інфокомунікаційних систем не є одномоментним процесом. Частіше за все це процес покрового розвитку та модернізації системи, що робить актуальними методи багатоетапного синтезу. Також звертається увага, що характеристики трафіку у часу та утворюють декілька періодів навантаження, при цьому максимумами навантаження для різних типів трафіку частіше за все не співпадають, що необхідно враховувати при проектуванні.

В роботі показано, що для математичного моделювання та розв'язку задач аналізу та синтезу накладених мереж найбільш вдалим є використання моделей у вигляді багатошарових мереж та багатошарових графів. Наведено короткий опис цих підходів.

Наведено огляд математичних моделей інформаційних потоків. Стверджується, що модель найпростішого потоку, яка застосовується зараз при проектуванні телекомунікаційних систем, призводить до невірних результатів розрахунків. Більш адекватною моделлю вважається модель самоподібних процесів. Наведено вже відомі результати по застосуванню математичних моделей самоподібних процесів при розв'язанні задач аналізу та синтезу телекомунікаційних систем.

Наприкінці розділу зроблено загальну постановку задачі дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено задачі одноетапного синтезу інфокомунікаційної системи з врахуванням топології структурованої кабельної системи. При розв'язанні цієї задачі використовувався метод, який базується на представленні моделі системи, що синтезується у вигляді багатошарового графа.

Наведено предметну постановку задачі структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з одночасним визначенням місць встановлення серверів, комутаторів, топології Ethernet мережі та структурованої кабельної системи. Вихідними даними є множини абонентів, серверів, мережних вузлів та потенційних каналів. Для кабельної каналізації задані потенційні місця встановлення вузлів та точок сполучення; існуючі та потенційні лотки з їх вартістю та ємністю. Задані потоки у системі, продуктивності мережних вузлів та їх вартість, вартості встанов-

лення серверів та множини вузлів де вони можуть бути встановлені, множина комутаторів та типи їх інтерфейсів з різними пропускними здатностями та вартістю. Мережні вузли поділяються на ті, де можна встановлювати декілька серверів та ті, де тільки один. Необхідно знайти місця встановлення мережного обладнання, топології Ethernet мережі та кабельної каналізації, маршрут прокладки кабелів.

Критерієм оптимальності є мінімум вартості з врахуванням обмежень, які накладаються максимальною продуктивністю вузлів, пропускними здатностями каналів Ethernet мережі та лотками кабельної каналізації.

Базуючись на цій постановці задачі здійснено синтез математичної моделі. В роботі стверджується, що інфокомунікаційну систему, яка синтезується можна розглядати як сукупність накладених мереж, що дозволяє представити її у вигляді багат шарового графу.

Згідно з загальною методикою синтезу накладених мереж з використанням багат шарового графа нам необхідно спочатку виділити рівні накладених мереж. В роботі у структурі інфокомунікаційної системи були виділені такі рівні, як: рівень інфокомунікаційної системи, рівень Ethernet мережі, рівень кабельної каналізації.

На наступному етапі кожний з рівнів описується графом (графи Γ^F , Γ^E та Γ^C). Граф Γ^F містить вершини, які відповідають серверам та абонентам, які є відправниками або отримувачами трафіка, а ребра зв'язують вершини графа, що відповідають вузлам мережі, між якими існує інформаційний обмін. Граф Γ^E містить вершини, які відповідають вузлам мережі Ethernet та ребра, що відповідають потенційним каналам зв'язку, при цьому для кожного каналу вводиться множина ребер $\{e_{mn,t}^E\}$, які відповідають типам інтерфейсів. Граф Γ^E описую надлишкову вихідній топологію кабельної каналізації.

Далі здійснюється синтез графа Γ' , що з'єднує шари багат шарового графа. Граф Γ' містить ребра, що зв'язують вершини Γ^E з вершинами Γ^C , які відповідають потенційним місцям розміщення цих мережних вузлів у структурованій кабельній системі. А також містить ребра, що зв'язують вершини графу Γ^F з вершинами графа Γ^E , які відповідають потенційним місцям встановлення цього обладнання. У вузлах мережі, де можливо встановлення декількох серверів, до графа, що зв'язує шари багат шарового графа, вводиться додаткова вершина v^C , яка зв'язується ребрами з вершиною графа Γ^E та з відповідними вершинами графа Γ^F .

Вихідній багат шаровий граф, що використовується при розв'язанні задачі, є об'єднанням цих графів.

Ребрам та вершинам графа MLG приписуються вартість їх використання та пропускні здатності. Ребрам $e_{mn,t}^E$ графа Γ^E приписують вартість та пропускну здатність згідно типам інтерфейсів, яким вони відповідають. Ребрам графу Γ^C присвоюється вартість монтажу кабельних каналів та вартість прокладки кабелю,

а також пропускні здатності, які дорівнюють ємності кабельних каналів. Ребрам, що зв'язують графи Γ^F та Γ^E приписуються вартість встановлення серверу, а ребрам, що зв'язують додаткові вершини графа Γ' з вершинами графа Γ^E присвоюється пропускна здатність, яка дорівнює продуктивності відповідних мережних вузлів. Ребрам, що зв'язують графи Γ^E та Γ^C приписують вартості, які дорівнюють вартості встановлення обладнання мережних вузлів.

По ребрам графа Γ^F пропускаємо потік $f(e_i^F) = (f_i, f_i^+)$ з характеристиками, які відповідають потокам між вузлами відправник - одержувач мережі, що синтезується, де f_i - середнє значення (біт/с), а f_i^+ - додаткове значення (вимоги до запасу пропускної здатності каналу зв'язку).

Розв'язок поставленої задачі синтезу полягає у знаходженні багат шарового підграфа мінімальної вартості графа MLG, який задовольняв би обмеженням до пропускної здатності ребер, структури багат шарового графа та збереження потоків у вершинах і вздовж шляхів. Так для ребер графу Γ^E обмеження щодо пропускних здатностей можна записати як:

$$\sum_k \sum_{(v_s^E, v_d^E) \in X^k} \left(\sum_{\pi_i^{sd} \in \Pi^{sd}} \varphi_{mn}^{sdi} f_k x_{ki}^{sd} \right) + c_{mn}^+ \leq \sum_t c_{mn,t}^E x_{mn,t}^E, \quad \forall \{v_m^E, v_n^E\} \subset V^E : \{e_{mn,t}^E\} \subset E^E, \quad (1)$$

$$f_k^+ \sum_{(v_s^E, v_d^E) \in X^k} \left(\sum_{\pi_i^{sd} \in \Pi^{sd}} \varphi_{mn}^{sdi} x_{ki}^{sd} \right) \leq c_{mn}^+, \quad \forall \mu_k \in M, \quad \forall \{v_m^E, v_n^E\} \subset V^E : \{e_{mn,t}^E\} \subset E^E \quad (2)$$

де Π^{sd} - множина шляхів протікання потоку між вершинами (v_s^E, v_d^E) ; x_{ki}^{sd} - індикатор використання i -го шляху між (v_s^E, v_d^E) для передачі k -го потоку; $x_{mn,t}^E$ - індикатор використання для передачі потоків ребра $e_{mn,t}^E$; $c_{mn,t}^E$ - пропускна здатність ребра $e_{mn,t}^E$; c_{mn}^+ - величина запасу пропускної здатності інтерфейсу між вузлами (m,n) .

Обмеження для ребер графу шару кабельної каналізації має вигляд:

$$\sum_{\gamma_{mn}^C} x_{ijmn}^C + \sum_{\gamma_{mn}^C} x_{jimn}^C \leq c_{ij}^C \cdot y_{ij}^C, \quad \forall e_{ij}^C \in E^C, \quad (3)$$

де x_{ijmn}^C - індикатор використання ребра e_{ij}^C для протікання потоку, що відповідає ребрам $\{e_{mn,t}^E\}$; c_{ij}^C - пропускна здатність ребра e_{ij}^C (ємність кабельного каналу); y_{ij}^C - відображає входження ребра e_{ij}^C до результуючого графа.

Обмеження для ребер, що зв'язує додаткові вершини графа Γ' з вершинами графа Γ^E можна представити як:

$$\sum_{\mu_k} \left[\sum_{v_i^F \in \{v_s^F, v_d^F\} : v_s^F \Leftrightarrow z_k^S, v_d^F \Leftrightarrow z_k^D} x'_{ijk} \cdot f_k \right] \leq c_j'^Y, \quad \forall v_j' \in V'. \quad (4)$$

де x'_{ijk} - індикатор використання ребра e_{ij}^C для протікання k -го потоку; $c_j'^Y$ - пропускна здатність ребра $e_j'^Y$ (продуктивність мережного вузла).

Інші умови-обмеження, які входять до математичної моделі можна розділити на декілька груп. Перша група це обмеження, що відносяться до умов збереження потоку у вершинах графу та вздовж шляхів. Друга група це умова, що сервер може бути встановлений не більш ніж в одному вузлу, а також, що в одному вузлу не більш одного сервера (для частині вершин за потреби). Третя група – обмеження на кількість інтерфейсів та кількість шляхів, що використовуються для передачі потоків. Та остання група – умови, що гарантують, що потоки будуть протікати тільки по існуючим в результующем графі ребрам.

Вагу багаточарового графа, яку необхідно мінімізувати, можна визначити, як:

$$\sum_{e_{mn,t}^E \in E^E} d_t^\xi x_{mn,t}^E + \sum_{e'_{as} \in E'^{FE}} d_{as}^S y'_{as} + \sum_{e''_{mn} \in E''^Q} d_{mn}^M x''_{mn} + \sum_{e_{ij}^C \in E^C} [d_{ij}^T y_{ij}^C + \sum_{\substack{(m,n): \\ \exists t: e_{mn,t}^E \in E^E}} d_{ij}^C (x_{ijmn}^C + x_{jimn}^C)]$$

де d_t^ξ - витрати на встановлення інтерфейсу t -го типу; d_{as}^S - витрати на інсталяцію s -го сервера в a -му вузлі; d_{mn}^M - витрати на встановлення m -го вузла в n -му місці; d_{ij}^T , d_{ij}^C - витрати на монтаж кабельного каналу (i,j) та прокладку в ньому кабелю відповідно; x''_{mn} - індикатор використання ребра e''_{mn} ; y'_{as} - індикатор входження ребра e'_{as} .

Математична модель, яка отримана у дисертаційній роботі, в результаті проведених операцій дозволила сформулювати та розв'язувати цю задачу як задачу цілочисельного програмування з використанням спеціалізованого пакета розв'язання оптимізаційних задач CPLEX v.12 та з подальшою інтерпретацією отриманого розв'язку в структуру інфокомунікаційної системи, що синтезується.

Третій розділ присвячено задачам багатоетапного синтезу інфокомунікаційних систем, а також синтезу з декількома періодами навантаження та врахуванням самоподібного характеру трафіка у мережах, що синтезуються.

В роботі наведена постановка та розв'язана задача багатоетапного структурно-параметричного синтезу інфокомунікаційної системи. Вхідні дані задані наступними множинами: інфокомунікаційних послуг; абонентів, яким надаються послуги; комутаторів та вузлів, де встановлено сервери, потенційних каналів зв'язку, що можна використати при побудові мережі. Відомими є кількість етапів, максимальний об'єм фінансування на кожному з етапів та загальний об'єм. Для кожної послуги задана множина трафіків та їх інтенсивності, які виникають при наданні цієї послуги, як між серверами так й між серверами та абонентами. Для кожного етапу задано множина послуг та її об'єм, що планується надати кожному з абонентів, економічний від надання послуги в одиничному об'ємі; витрати на створення каналів зв'язку та питомі витрати на забезпечення пропускної здатності каналів.

Необхідно визначити топологію мережі на кожному з етапів, перелік запланованих послуг, що надаються кожному з абонентів (послуга або надається, або ні) та пропускні здатності каналів зв'язку, так щоб забезпечити максимальний економічний ефект по результатам кожного етапу з врахуванням витрат.

Математична модель задачі враховує не тільки трафік, що виникає між абонентами та серверами, а також між серверами. В роботі вказується, що ці групи трафіків відрізняються тим, що маршрути передачі трафіку першої групи залежить від містоположення абонентів, а для другої групи – ні. Це впливає на вигляд умов збереження потоків у вершинах графу. Так умова збереження потоку першої групи має вигляд:

$$\sum_j x_{ij}^{bm}(k) - \sum_j x_{ji}^{bm}(k) = \begin{cases} \zeta^{bm}(k), z_i = z_m^{'b}; \\ 0, z_i \notin \{z_m^{'b}, z_m^{''b}\}; \\ -\zeta^{bm}(k), z_i = z_m^{''b}, \end{cases}$$

$$\forall s_b \in \bigcup_{a_n \in A} S^n(k), f_m^b \in F^b : \{z_m^{'b}, z_m^{''b}\} \cap A = \emptyset, \quad (5)$$

де $x_{ij}^{bm}(k)$ - величина m -го потоку b -ї послуги, що протікає по ребру (i,j) у k -му періоді; $\zeta^{bm}(k)$ - величина m -го потоку b -ї послуги у k -му періоді; $z_m^{'b}, z_m^{''b}$ - вузли відправник та отримувач m -го потоку b -ї послуги.

А умова збереження потоку для другої групи має вигляд:

$$\sum_j x_{ij}^{bmn}(k) - \sum_j x_{ji}^{bmn}(k) = \begin{cases} \lambda_m^b r_b^n(k) x_b^n(k), z_i = z_m^{'b}; \\ 0, z_i \notin \{z_m^{'b}, z_m^{''b}\}; \\ -\lambda_m^b r_b^n(k) x_b^n(k), z_i = z_m^{''b}, \end{cases}$$

$$\forall s_b \in S^n(k), f_m^b \in F^b : \{z_m^{'b}, z_m^{''b}\} \cap A \neq \emptyset, \quad (6)$$

де $x_{ij}^{bmn}(k)$ - величина m -го потоку b -ї послуги для n -го абонента, що протікає по ребру (i,j) у k -му періоді; λ_m^b - інтенсивність m -го потоку при наданні b -ї послуги в одиничному об'ємі; $r_b^n(k), x_b^n(k)$ - об'єм b -ї послуги, що планується надати n -му абоненту та індикатор надання її цьому абоненту на k -му періоді.

Обмеження на величину потоку пропонується представити як:

$$\sum_{\substack{s_b \in \bigcup_{a_n \in A} S^n(k) \\ f_m^b \in F^b}} \sum_j x_{ij}^{bm}(k) + \sum_{a_n \in A} \sum_{s_b \in S^n(k)} \sum_{f_m^b \in F^b} x_{ij}^{bmn}(k) \leq c_{ij}(k), \quad \forall l_{ij} \in L. \quad (7)$$

де $c_{ij}(k)$ - пропускна здатність каналу (i,j) на k -му періоді.

До системи обмежень також включені умови, що пропускні здатності каналів можуть бути відмінними від нуля тільки для існуючих каналів. Затрати на створення лінії зв'язку виділяються тільки на одному з етапів та лінія зв'язку, яка створена на попередньому етапі не видаляється на наступних. Включені вирази, які пов'язують динаміку зміни пропускних здатностей каналів та побудови нових ліній зв'язку з розподілом бюджету та врахування обмежень на їх величини.

Критерієм оптимальності є максимум сумарного економічного ефекту який досягається мінімізації значення наступного виразу:

$$W = \sum_{k=1}^K \sum_{ij \in L} q_{ij}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{ij \in L} d_{ij}(k) x_{ij}^L(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{a_n \in A} \sum_{s_b \in S^n(k)} r_b^n \gamma_b(k) [1 - x_b^n(k)] \quad (8)$$

де $q_{ij}(k)$ - витрати на збільшення пропускної здатності каналів зв'язку; $d_{ij}(k)$, $x_{ij}^L(k)$ - витрати на будівництво та індикатор будівництва лінії зв'язку (i,j) на k -му періоді; $\gamma_b(k)$ - економічний ефект від надання b -ї послуги у k -му періоді.

Перші дві складові (8) відображає сумарні витрати по кожному з етапів, а третя – недоотриманий економічний ефект. Таким чином ця задача сформульована, яка задача лінійного програмування та розв'язувалась за допомогою програмного пакету розв'язання оптимізаційних задач CPLEX v.12.

В дисертаційній роботі стверджується, що трафіку у інфокомунікаційних системах притаманні зміни його інтенсивності у часі (декілька періодів навантаження), а також властивості, які виходять за межі класичних моделей теорії телетрафіка, насамперед моделі пуассонівського потоку, що призводить до помилок при визначенні параметрів елементів телекомунікаційних систем. В розділі здійснено вибір моделі потоку у мережі та методу визначення параметрів потоків при їх агрегуванні. У якості моделі потоку вибрано моделі фрактального броунівського руху.

Друга задача, яка розв'язується є задача структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з декількома періодами навантаження. Вхідними даними є множина абонентів, яким надаються послуги за допомогою серверів. Відомою вважається топологія телекомунікаційної мережі з заданими місцями розміщення абонентів та вузлів комутації. Для кожного серверу задана множина вузлів, де він може бути розташований. Всі вузли мережі, де можливо розміщення серверів, поділяється на вузли, у яких дозволяється встановлення декількох серверів та вузли, де дозволене встановлення тільки одного серверу. Трафік у мережі є самоподібним з заданими характеристиками для кожного з інтервалів часу. Необхідно знайти пропускні здатності каналів зв'язку, маршрути передачі трафіку для кожного з інтервалів так, щоб мінімізувати витрати на забезпечення цих пропускних здатностей з врахуванням обмеження на середньомережну затримку.

Для розв'язання цієї задачі в роботі пропонується її декомпозиція на дві підзадачі: задача пошуку місць встановлення серверів та маршрутів передачі трафіку згідно критерію мінімуму вартості мережі (ваги багат шарового підграфу) з використанням лінійної потокової моделі та задача визначення пропускних здатностей каналів зв'язку для самоподібного трафіку при обмеженні на середню затримку.

При розв'язанні першої підзадачі використовувалася математична модель мережі, що синтезується, у вигляді багат шарового графу. При цьому у мережі, що синтезується, були виділені наступні рівні: рівень телекомунікаційної мережі та сукупність рівнів, що відповідають послугам у інфокомунікаційній системі, кількість яких дорівнює кількості послуг.

Кожний з рівнів описувався графом відповідного шару багат шарового графа. Граф шару телекомунікаційної мережі Γ^N містить вершини, які відповідають

абонентським вузлам, серверам та маршрутизаторам у мережі, а також ребра, що зв'язують вершини та описують топологію телекомунікаційної мережі. Сукупність графів $\Gamma^S = \{\Gamma^s\}$ шарів інфокомунікаційних послуг містять вершини, які відповідають абонентам та серверам інфокомунікаційної системи, які задіяні в наданні відповідних послуг. Для кожного інформаційному зв'язку, який виникає при наданні послуг до складу графів шарів інфокомунікаційних послуг вводиться ребра, які зв'язує вершини графа Γ^S .

Граф Γ' , який з'єднує шари багат шарового графа, містить ребра, які з'єднують вершини графа Γ^N з $\{\Gamma^s\}$ та описують місцеположення абонентських вузлів, а також ребра, що зв'язують вершини, які відповідають серверам, з вершинами, що відповідають вузлам мережі, де встановлення цього серверу можливо. Цим ребрам присвоюється вага d'_{si} , що дорівнює вартості встановлення цього серверу в цьому вузлі.

Вихідний багат шаровий граф MLG , що використовується при розв'язанні задачі, є об'єднанням цих графів. По ребрам графів $\{\Gamma^s\}$ пропускаємо потік $\gamma(e_{ij}^s)$, величина якого дорівнює інтенсивності трафіку між вузлами відправник – одержувач. Розв'язок поставленої задачі полягає у знаходженні багат шарового підграфа MLG' мінімальної ваги графа MLG та вибору пропускних здатностей ребер графу Γ^N , який задовольняв би обмеженням до пропускної здатності ребер, структури багат шарового графа та збереження потоків у вершинах.

Потокова модель для цього багат шарового графу описується наступними умовами-обмеженнями. Умова збереження потоку у вершинах:

$$\sum_j x_{ji}^{sk}(t) - \sum_j x_{ij}^{sk}(t) = \begin{cases} -x_{mn}^{rsk} \\ 0 \\ x_{mn}^{rsk} \end{cases}; \forall v_i^N \in V^N \quad (9)$$

де: $x_{ij}^{sk}(t)$ - відображає використання ребра $e_{ij}^N \in \Gamma^N$ для передачі k -го потоку s -ї послуги в напрямку від v_i^N до v_j^N в період часу t ; x_{mn}^{rsk} - відображає використання ребра $e'_{smn} = (v_m^s, v_n^N)$ для передачі k -го потоку s -ї послуги.

Умова, що забороняє передачу транзитних потоків через вершини, що не є маршрутизаторами у мережі

$$\sum_s \sum_{k: (v_i^N, v_d^s) \notin E', v_d^s \leftrightarrow \alpha_k^s} \sum_j x_{ij}^{sk} + \sum_s \sum_{k: (v_i^N, v_d^s) \notin E', v_d^s \leftrightarrow \beta_k^s} \sum_j x_{ji}^{sk} = 0, \quad \forall v_i^N \in V^N \setminus V^R, \forall t; \quad (10)$$

де α_k^s , β_k^s - вузел-відправник та вузел-отримувач k -го потоку s -ї послуги.

Потоки можуть протікати тільки по існуючим ребрами, які зв'язують шари:

$$\sum_{k: v_m^s \in \{v_\alpha^s, v_\beta^s\}, v_\alpha^s \leftrightarrow \alpha_k^s, v_\beta^s \leftrightarrow \beta_k^s} x_{mn}^{s,sk} \leq K \cdot y_{mn}^s, \quad \forall (v_m^s, v_n^N) \in E' \quad (11)$$

де y_{mn}^s - відображає входження ребра (v_m^s, v_n^N) до результуючого підграфу MLG' .

Для передачі потоків між шарами для кожної вершини v_m^s може бути використане тільки одне ребро (сервер може бути встановлений тільки в одному вузлі):

$$\sum_{n: (v_m^s, v_n^N) \in E'} y_{mn}^s \leq 1, \quad \forall v_m^s \in V^s; \quad (12)$$

Для вузлів, де дозволяється встановлення тільки одного сервера вводиться обмеження:

$$\sum_s \left(\sum_{m: (v_m^s, v_n^N) \in E'} y_{mn}^s \right) \leq 1, \quad \forall v_n^N \in V^A; \quad (13)$$

Потоки по ребрам $e_{ij}^N \in \Gamma^N$ та їх пропускні здатності повинні задовольняти:

$$\sum_s \sum_k \lambda_k^s \cdot x_{ij}^{sk}(t) \leq c_{ij}, \quad \forall t, \forall e_{ij}^N \in E^N \quad (x) \quad c_{ij} = c_{ji}, \quad \forall e_{ij}^N \in E^N \quad (14)$$

Сумарна вага багат шарового графу повинна бути мінімальною

$$\sum_{e_{mn}^s \in E'} d'_{sn} \cdot y_{mn}^s + \sum_{e_{ij}^N \in E^N} d_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min; \quad (15)$$

Ця задача зведена до задачі цілочисельного програмування розв'язується з використанням програмного забезпечення.

Отриманні під час розв'язання цієї задачі маршрути передачі трафіку для кожного періоду часу використовуються для визначення оптимальних значень пропускних здатностей каналів зв'язку для випадку самоподібного трафіку згідно критерію мінімуму вартості мережі при обмеженні на середньомережну затримку.

Для розв'язання цієї підзадачі використовується раніш відомий метод адаптований для випадку декількох періодів навантаження. Для цього в роботі були модифіковано правило агрегування самоподібних потоків у каналах зв'язку:

$$H_{ij}(t) = \max_{s,k} [H_k^s(t) x_{ij}^{sk}] \quad (16) \quad \lambda_{ij}(t) = \sum_s \sum_k \lambda_k^s(t) \cdot x_{ij}^{sk}(t) \quad (17)$$

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\sum_s \sum_k \lambda_k^s(t) \cdot \xi_k^s(t) \cdot x_{ij}^{sk}(t)}{\sum_s \sum_k \lambda_k^s(t) \cdot x_{ij}^{sk}(t)} \quad (18)$$

та введені додаткові обмеження у постановку задачі. Задача визначення пропускних здатностей каналів зв'язку має наступну математичну постановку:

$$\sum_{e_{ij}^N \in E^N} d_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min \quad (19)$$

за умови

$$\frac{1}{\Lambda} \sum_{e_{ij}^N \in E^N} \left[\frac{\lambda_{ij}(t)}{c_{ij}} \left(1 + \frac{(\lambda_{ij}(t))^{(2H_{ij}(t)-1)/(2-2H_{ij}(t))} \cdot c_{ij}^{1/(2-2H_{ij}(t))}}{(c_{ij} - \lambda_{ij}(t))^{H_{ij}(t)/(1-H_{ij}(t))}} \right) \right] \leq T_{\text{доп}}, \quad \forall t \quad (20)$$

$$c_{ij} = c_{ji}, \quad \forall e_{ij}^N \in E^N; \quad (21)$$

Ця задача відноситься до задач нелінійного програмування і для її розв'язання використовувався програма, яка реалізована у Matlab.

У **четвертому розділі** наведено методику проведення дослідження ефективності запропонованих у дисертації методів одноетапного та багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем та здійснено аналіз результатів експериментів.

Наведено опис структури пакета програм, який застосовується у роботі для проведення дослідження запропонованих методів та алгоритмів. Основними структурними елементами пакета є: база даних проектів, що є інформаційним наповненням пакета, бібліотека алгоритмів, менеджер взаємодії; утиліта візуалізації результатів проектування.

Бібліотека алгоритмів складається з інструментальних засобів розв'язання складових задач структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем, до складу якої входять програмно реалізовані автором алгоритми, а також програмні продукти математичного моделювання інших розробників, такі як IBM ILOG CPLEX, The MathWorks MATLAB, GLPK та інші.

Методика дослідження ефективності запропонованих у роботі методів базувалася на розв'язанні задач структурного та параметричного синтезу з використанням методів, які розроблені в роботі та раніш відомими при однакових вихідних даних. Для цього було синтезовано вихідні дані випадковим методом для різного розміру мережі (різної кількості вузлів).

В роботі було проведено дослідження методу синтезу інфокомунікаційної системи з врахуванням структурованої кабельної системи. Під час дослідження було проведено порівняння запропонованого методу синтезу з відомими методами синтезу, які базуються на послідовному розв'язанні задач визначення місць встановлення серверів, синтезу топології Ethernet мережі та окремим розв'язанням задач синтезу топології кабельної каналізації. За результатами цього порівняльного аналізу було встановлено, що запропонований у роботі метод дозволяє отримати структуру інфокомунікаційної системи меншої вартості за рахунок спільного розв'язання задач визначення місць встановлення серверів, вибору пропускних здатностей каналів зв'язку, синтезу топології Ethernet мережі та топології кабельної каналізації. Відносний вииграш складав від 5,5% до 9%.

В дисертаційній роботі було проведено дослідження запропонованого методу багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи, шляхом його порівняльного аналізу з однокроковим методом при

однаковом обсязі капіталовкладень. За результатами аналізу встановлено, що запропонований в роботі метод дозволяє збільшити економічний ефект від впровадження інфококомунікаційних послуг у середньому на 7 -11%.

Проведено дослідження статистичних характеристик інформаційних потоків, що передаються по каналах зв'язку експериментального фрагменту мережі. При проведенні експерименту досліджувався, що виникає при наданні різноманітних інфококомунікаційних послуг. В результаті проведеного аналізу було підтверджено наявність у трафіка властивостей самоподоби та визначені статистичні параметри цього трафіку, які далі були застосовані при перевірці вірогідності результатів отриманих за допомогою запропонованого в роботі методу синтезу.

Дослідження методу параметричного синтезу з декількома періодами навантаження проводилось у двох напрямках. По-перше було проведене дослідження цього методу в порівнянні з одноперіодним підходом. По-друге здійснено порівняння з методом, що базується на використанні класичних моделей пуассонівських процесів. В обох випадках при дослідженнях використовувалися аналітичні моделі з подальшим використанням імітаційного моделювання для перевірки отриманих при цьому результатів.

За результатами експериментів виявлено, що багатоперіодний синтез, в порівнянні з одноперіодним, дозволяє отримати структуру інфококомунікаційної системи на 10 % процентів меншої вартості при задоволенні однакових значень обмежень на середньомережну затримку.

За результатами другого напрямку дослідження встановлено, що телеко-мунікаційна мережа параметри якої були визначені методом, що базується на моделях пуассонівських процесів не задовольняє вимогам щодо середньомережної затримки у випадку передачі трафіку з властивостями самоподоби. Вартість мережі синтезованої запропонованим методом більше ніж класичним. Це пояснюється необхідністю використання більших значень пропускної здатності каналів при передачі самоподібного трафіка. У той же час у випадку пропорційного збільшення пропускних здатностей каналів, так щоб вартість мережі була однаковою, мережа, яка синтезована класичним методом має на 8-16% більше значення середньомережної затримки при передачі самоподібного трафіку.

В роботі досліджено метод параметричного синтезу з декількома періодами навантаження з використанням засобів імітаційного моделювання. Методика дослідження складалась у наступному. Для однакових наборів вихідних даних здійснювався розв'язок задачі з використанням методу, що базується на пуассонівській моделі потоку та запропонованого в роботі методу, який враховує наявність у потоків ефекту самоподоби. Отримані результати використовувалися як параметри імітаційної моделі. Аналіз результатів експерименту підтвердив раніше отриманні результати за допомогою аналітичного моделювання, а також отримані за результати імітаційного моделювання значення середнього часу за-

тримки пакетів у мережі були близькими до теоретично очікуваних з використанням моделей самоподібного трафіка.

Висновки

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу розробки нових і вдосконаленні існуючих методів одно- та багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем з використанням моделей багат шарових графів та представлення потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх при проектуванні. При цьому отримано наступні наукові та прикладні результати.

1. Проведено аналіз принципів побудови сучасних інфокомунікаційних мереж та встановлено, що вони зазвичай будуються як оверлейні (накладені) мережі, при своєму синтезі вимагають знаходження структури та параметрів кожної з накладених мереж. Підхід що базується на послідовному розв'язанні задач синтезу для кожної з цих мереж не дозволяє отримати оптимального рішення. При проектуванні інфокомунікаційних мереж необхідно враховувати, що створення інфокомунікаційних систем не є покривним процесом розвитку та модернізації мережі, що вимагає розробки методів багатоетапного синтезу. Також необхідно враховувати, що характеристики трафік у часу змінюються та утворюють декілька періодів навантаження, при цьому максимуми навантаження для різних типів трафіку частіше за все не співпадають. В роботі сформульовано та розв'язано декілька задач структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем. Розв'язання задачі сформульовано у вигляді методу, який реалізується, при наявності початкових даних на ПЕОМ.

2. Наведено постановку та розроблено метод розв'язання задачі структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з врахуванням структурованої кабельної системи. Метод синтезу базується на використанні для опису структури мережі багат шарового графу. Це дозволило одночасно здійснити вибір місць установки активного мережного обладнання; синтезу топології Ethernet – мережі та кабельної каналізації; вибору маршрутів прокладки кабелів. За результатами порівняльного аналізу з раніш відомими методами, це дозволило зменшити вартість результуючої структури мережі у середньому на 8%.

3. Наведено постановку та розв'язано задачу багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи. Новизною методу є те, що дана модель враховує необхідність будівництва ліній зв'язку, які не відкидаються зі структури мережі на наступних етапах, перелік послуг що надаються абонентам на кожному з етапів з урахуванням інформаційних потоків, які виникають не тільки між абонентами і серверами, а й між серверами, а також зміни інтенсивності цих потоків. Аналіз результатів порівняльного аналізу з однокроковим методом при однаковом обсязі капіталовкладень, що запропонований ме-

тод збільшити економічний ефект від впровадження інфококомунікаційних послуг у середньому на 7 -11%.

4. Результати дослідження методів, які базуються на використанні багат шарового графу свідчать, що застосування багат шарового графа дозволяє описати телекомунікаційну систему, яка містить накладені мережі, як єдиний цілісний об'єкт та отримати, у результаті синтезу, більш ефективні структури системи за технічним та економічними параметрами.

5. Вдосконалено метод метод багатоперіодного параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі за рахунок використання моделей потоків як самоподібних процесів. За результатами порівняльного аналізу встановлено, що багатоперіодний синтез, в порівнянні з одноперіодним, дозволяє отримати структуру інфокомунікаційної системи на 10 % процентів меншої вартості при задоволенні однакових значень обмежень на середньомережну затримку. Також використання запропонованого метода дозволило зменшити середній час затримки на 8-16% в порівнянні з методами, що базуються на пуассонівських процесах. Результати проведеного імітаційного моделювання підтвердило результати аналітичного моделювання, що свідчить об адекватності моделей, які використовувалися.

6. Розроблені та модернізовані методики та програмна реалізація рекомендується для використання в проектних організаціях, на етапах проектування інфокомунікаційних систем, які знову споруджуються чи реконструюються, з числом вузлів до декількох десятків, за наявності в інформаційних потоках, що передаються, ефекту самоподоби. Отримані результати впроваджені у навчальний процес кафедри телекомунікаційних систем у дисциплінах з проектування телекомунікаційних систем, що підтверджується відповідним актом впровадження.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Фуад Вехбе. Параметрический синтез наложенных инфокоммуникационных сетей предприятия / Фуад Вехбе, Самир Махмуд // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Vol. 4, № 9(64). – С. 56–58.

2. Агеев Д.В. Представление модели в виде многослойного графа для решения задач планирования инфокоммуникационной системы с учетом структурированной кабельной системы / Д.В. Агеев, Фуад Вехбе. // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 3(12). – С. 16–26.

3. Фуад Вехбе. Исследование влияния самоподобного трафика на показатели качества передачи речи в информационно-телекоммуникационных системах / Фуад Вехбе, С.А. Заводов // Радиотехника Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - 2014. - № 176. - С 229–234.

4. Агеев Д.В. Многоэтапный структурно-параметрический синтез информационно-телекоммуникационных сетей / Д.В. Агеев, Фуад Вехбе // Системи обробки інформації. - 2014. - № 2. - С. 143–146.

5. Ageyev D.V. Design of Information and Telecommunication Systems with Multi-Hour, Multiservice Traffic and Multilayer Graph Usage / D.V. Ageyev, Fouad Wehbe // Sch. J. Eng. Technol. 2014. Vol. 2, № 3B. P. 395–402.

6. Фуад Вехбе Параметрический синтез информационно-телекоммуникационных систем с мультисервисными трафиком и несколькими пиками нагрузки / Фуад Вехбе, Д.В. Агеев // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. – Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2014. - С. 120–123.

7. Агеев Д.В. Применением многослойного графа для моделирования инфокоммуникационной системы предприятия / Д.В. Агеев, Фуад Вехбе // 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т.4. - Харьков: ХНУРЭ, 2012. - С. 108–109.

8. Агеев Д.В. Структурно-параметрический синтез инфокоммуникационной системы предприятия с применение многослойного графа / Д.В. Агеев, Фуад Вехбе // Науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». Збірник тез. - Київ: ДУІКТ, 2012. - С. 214.

9. Ageyev D.V. Design of Information and Telecommunication Systems with the Usage of the Multi-Layer Graph Model / D.V. Ageyev, A.A. Ignatenko, Fouad Wehbe // XIIth Int. Conf. Exp. Des. Appl. CAD Syst. Microelectron. - Lviv-Polyana, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2013. – P. 1–4.

10. Фуад Вехбе Применение многослойного графа в решении задач синтеза инфокоммуникационной системы предприятия / Фуад Вехбе // 17-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т.4. - Харьков: ХНУРЭ, 2013. - С. 147–148.

11. Агеев Д.В., Фуад Вехбе. Параметрический синтез инфокоммуникационных систем с использованием модели многослойного графа // 23-я Международная Крымская конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо`2013). Севастополь, 8-13 сентября 2013 г. материалы конф. в 2 т. - Севастополь: Вебер, 2013. - С. 507–508.

12. Агеев Д.В. Применение модели в виде многослойного графа при параметрическом синтезе инфокоммуникационных систем / Д.В. Агеев, Фуад Вехбе // Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии (PIC S&T-2013) : Сборник научных трудов первой международной научно-практической конференции, Харьков 9-11 октября 2013 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. - Харьков: ХНУРЭ, 2013. – С. 96–98.

13. Агеев Д.В. Проектирование информационно-телекоммуникационных систем с использованием модели в виде многослойного графа / Д.В. Агеев, А.А. Игнатенко, Фуад Вехбе // Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2013». СПТЕЛ-2013 : Матеріали конференції 30 жовтня – 2 листопада 2013 р. – Львов : НУ «Львівська політехніка», 2013. – С. 271-274.

14. Fouad Wehbe. Design of Information and Telecommunication Systems with Multi-Hour, Multiservice Traffic / Fouad Wehbe, D.V. Ageyev, Rami Dabbus // Proceedings of the XIIth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science. TCSET'2014. – Lviv-Slavske, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 576–577.

Анотація

Фуад Вехбе. Методи багатоетапного структурно-параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж з використанням моделей, представлених у вигляді багат шарового графу. – Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2014.

Дисертація присвячена вдосконаленню методів одно- та багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних систем з використанням математичних моделей у вигляді багат шарових графів та представлення інформаційних потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх при проектуванні. У роботі запропоновано метод структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з врахуванням структурованої кабельної системи; метод багатоетапного структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної системи та планування впровадження послуг; метод параметричного синтезу інфокомунікаційної системи з декількома періодами навантаження з врахуванням наявності в інформаційних потоках ефекту самоподоби. Досліджено ефективність запропонованих методів і розроблено практичні рекомендації по їх застосуванню. Порівняльний аналіз запропонованих методів з раніш відомими показав, що розроблені в роботі методи дозволяють отримати більш ефективну структуру інфокомунікаційної системи за технічними та економічними показниками.

Ключові слова: оптична мережа, телекомунікації, світловий шлях, оптичний конвертор, потік, самоподоба, пропускна здатність, метод оптимізації, багат шаровий граф.

Аннотация

Фуад Вехбе. Методы синтеза оптической транспортной сети WDM с использованием модели многослойных графов. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков, 2014.

На современном этапе развития общества информационные технологии бурно развиваются. Немаловажную роль при этом играют телекоммуникационные системы, важной составляющей которых являются транспортные сети. Наиболее перспективной технологией, используемой при построении транс-

портных сетей, является применение оптических сетей с мультиплексированием по длине волны, к которым относятся сети WDM. Методы синтеза, используемые при проектировании сетей с коммутацией пакетов, не подходят для синтеза сетей WDM. Это требует модернизации существующих и разработки новых методов синтеза.

Используемые сейчас методы параметрического синтеза базируются на классических моделях теории телетрафика, которые не в полной мере соответствуют характеристикам потоков, передаваемых в современных сетях. Это приводит к большим погрешностям при проектировании. Как показали современные исследования, более адекватными являются модели самоподобных процессов.

В диссертационной работе проведен анализ принципов построения оптических транспортных сетей WDM и определены основные подходы увеличения эффективности их использования. В работе приведены постановки и разработаны методы решения задач, которые используют эти подходы.

Разработан метод структурного и параметрического синтеза гетерогенных оптических сетей с кольцевой топологией магистрального сегмента. Метод синтеза базируется на применении методики эластичной сети, что позволяет совместно решать задачу выбора мест установки магистральных узлов и синтеза топологии магистрального сегмента. При синтезе структуры сегмента сети нижнего уровня совместно решается задача синтеза топологии сети, выбора маршрутов для световых путей и назначения длин. Это позволяет, как показали результаты сравнительного анализа, уменьшить время решения задачи и стоимость результирующей структуры сети. В работе также было проведено исследование влияния внутренних параметров методики эластичной сети на результаты синтеза. Проведен анализ результатов данного исследования и выработаны практические рекомендации по применению.

Поставлена и решена задача структурного и параметрического синтеза оптической транспортной сети с оптическими конверторами. При решении данной задачи использовался многослойный граф, который позволяет представить структуру синтезируемой телекоммуникационной системы как единый целостный объект, что позволяет совместно решать задачу синтеза топологии, выбора мест установки оптических конверторов, выбора маршрутов для световых путей и назначения длин волн. Это позволяет получить экономически более эффективную структуру системы.

В работе поставлена и решена задача структурного и параметрического синтеза транспортной сети IP/MPLS, наложенной поверх сети WDM. Для описания наложенных сетей использовался многослойный граф, который позволил описать синтезируемую систему как единый целостный объект и совместно решить задачи синтеза топологии сети на каждом ее уровне, выбора мест установки узлов LSR, маршрутов передачи потоков, пропускных способностей интерфейсов LSR и назначения длин волн световым путям. Это позволило получить

структуру сети с меньшей стоимостью.

Модифицирован метод распределения потоков в сети IP/MPLS, наложенной поверх сети WDM, для случая неразветвленных потоков за счет использования моделей потоков, как самоподобных процессов. Это позволило уменьшить среднее время задержки пакета в сети по сравнению с методом, базирующимся на применении пуассоновских моделей потоков.

Ключевые слова: оптическая сеть, телекоммуникации, световой путь, оптический конвертор, поток, самоподобие, пропускная способность, метод оптимизации, многослойный граф.

Abstract

Fouad Wehbe. WDM optical transport network synthesis methods with multi-layer graph usage – Manuscript. Thesis for candidate's degree by speciality 05.12.02 – Telecommunication systems and network - Kharkov National University of Radioelectronics. Kharkov, 2014.

This thesis is devoted to improving optical telecommunication networks structural and parametric synthesis methods using mathematical models in the form of multi-layer graphs and presentation of information flow in the network as self-similar processes for their usage in the design. In this thesis proposed a number of methods, as: heterogeneous optical network with a ring topology backbone segment structural synthesis method; optical WDM transport network with optical converters synthesis method; IP/MPLS transport overlay network over optical networks structural and parametric synthesis method; routes determining and traffic distribution method for IP/MPLS transport overlay network over optical networks, which taking into account the presence of self-similarity effect for information flow. The efficiency of the proposed methods has been investigated and practical recommendations for their application were proposed.

Comparative analysis of the proposed methods with previously known showed that developed in the dissertation methods allow obtain a more effective optical transport network structure by technical and economic parameters.

Key words: optical network, telecommunication, light path, optical convector, flow, self-similarity, throughput, optimization method, multilayer graph.

Підп. до друку 18.09.14.
Умов. друк. арк. 0,9
Зам. №

Формат 60x84 ¹/₁₆
Тираж 100 прим.
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія

ЦОП «Точка», 61166, Харків, пр. Леніна, 12

Віддруковано з готового оригінал макету
м. Харків, пр. Леніна, 12, ЦОП «Точка»,
ФОП Шаблінська М.М. Св. В02 №238292
www.copyto4ka.pp.ua
[e-mail:copycentr@ukr.net](mailto:copycentr@ukr.net)
тел.(057) 705-07-65, факс (057) 714-65-95