

Харківський національний університет радіоелектроніки

Моат Талат Рамадан Салах



УДК 621.391

**МЕТОД СИНТЕЗУ НАКЛАДЕНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В  
УМОВАХ САМОПОДІБНОГО ГРУПОВОГО ТРАФІКУ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Харків 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник доктор технічних наук, професор

**Агеєв Дмитро Володимирович,**

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
професор кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

**Пустовойтов Павло Євгенович,**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри систем інформації;

кандидат технічних наук, доцент

**Сокол Галина Вікторівна,**

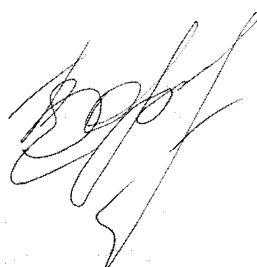
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка,  
доцент кафедри комп'ютерної інженерії.

Захист відбудеться «\_\_\_» *травня 2017 р.* о *13<sup>00</sup>* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 при Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

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

Автореферат розісланий «\_\_\_» *квітня 2017 р.*

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.Б. Ткачова

## Загальна характеристика роботи

**Актуальність теми.** Останнім часом спостерігається бурхливий розвиток інформаційних технологій. Цей розвиток характеризується постійним зростанням вимог до ефективності інфокомунікаційних мереж, розширенням їх функціональних можливостей, що накладає свій відбиток на процес проектування. Технології, застосування яких передбачає концепція NGN, сьогодні є найбільш перспективними. Водночас спостерігається випередження розвитку технічних засобів щодо розвитку методів проектування, що є однією з актуальних проблем сучасних телекомунікаційних систем.

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.

Сучасні інфокомунікаційні мережі є великими складними системами, які мають багаторівневу структуру в багатьох аспектах розгляду. Особливої уваги заслуговує структура, утворена накладеними мережами. Процеси, які відбуваються на різних рівнях ієрархії, тісно взаємопов'язані і значно впливають один на одного. Також значно впливає і структура мережі на одному з рівнів на характеристики іншого. Тому в процесі розв'язання задач структурного і параметричного синтезу до системи, що синтезується, необхідно підходити, як до єдиного цілісного об'єкта.

Зазначена багаторівнева, багатоаспектна структура додатково ускладнюється під час вирішення задач синтезу, коли у складній структурі системи, яка проектується, додатково необхідно враховувати різні варіанти телекомунікаційних технологій, що використовуються, їх сумісність і взаємодію. Врахування багаторівневої структури сучасних телекомунікаційних систем вимагає розробки нових математичних моделей, які дозволяють б адекватно описувати існуючі фізичні та логічні зв'язки між елементами системи на різних її рівнях, різних видів ієрархій та ефективно розв'язувати задачі структурного і параметричного синтезу в ході їх проектування.

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 відбуваються на різних її рівнях, а також представляти телекомунікаційну систему на етапі її проектування як єдиний цілісний об'єкт.

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

Зараз розв'язання задач параметрично синтезу телекомунікаційних систем базується на використанні методів теорії телетрафіка, яка є частиною теорії масового обслуговування. Математичні моделі, які складають цю теорію, добре описують процеси, що відбуваються в таких системах, як телефонні мережі, побудовані за принципом комутації каналів. Найбільш поширеною моделлю потоку викликів (даних) у теорії телетрафіка є найпростіший потік (стаціонарний ординарний потік без післядії), який також має назву стаціонарного пуассонівського потоку.

Водночас, як показали результати дослідження, потоки в мультисервісних мережах мають зовсім іншу структуру, яка відрізняється від прийнятого у класичній теорії телетрафіка. Вказане призводить до того, що розрахунок параметрів телекомунікаційної системи, призначеної для обслуговування такого трафіка, за класичними формулами дає некоректні й не виправдано оптимістичні результати. Більш адекватними моделями для опису цих потоків є моделі самоподібних (фрактальних) процесів, які враховують вказані вище властивості інформаційних потоків. Останнє збільшує кількість параметрів, що описують ці інформаційні потоки, які в даний момент не застосовуються в процесі математичного моделювання цих процесів класичними моделями. Це значно впливає на результати проектування сучасних телекомунікаційних мереж і викликає потребу у значній корекції методів синтезу.

Таким чином, тему дисертаційної роботи та **науково-прикладну задачу**, яка полягає у розробці нових і вдосконаленні існуючих методів структурного і параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж з використанням моделей багатопарових графів і представлення потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх у ході проектування, 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 20016-2020 роки».

Крім того, напрям досліджень був пов'язаний 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 параметричного та структурного синтезу інфокомунікаційних мереж за технічними та економічними показниками.

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

*Предметом дослідження є математичні моделі й методи структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі.*

*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 такі основні задачі дослідження:

- здійснення аналізу теоретичних результатів в області: структурного і параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж; математичного моделювання трафіка в мережі; виявлення шляхів досягнення мети дослідження;
- обґрунтування та здійснення вибору математичних моделей для опису мультисервісного трафіка на різних ділянках інфокомунікаційної мережі, які враховують різні типи одиниць даних у накладених мережах та враховують наявність властивості самоподібностей;
- розробка методу параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі в умовах передачі Multicast трафіка з використанням моделі у вигляді багатопарового графу;
- розробка методу структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з декількома періодами навантаження;
- проведення числових, імітаційних і натурних експериментів з дослідження адекватності математичних моделей та ефективності запропонованих методів синтезу і вироблення практичних рекомендацій щодо їх застосування.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Під час розв'язання поставлених задач були отримані такі нові наукові результати:

1. Набула подальшого розвитку модель трафіка в накладених мережах, за рахунок урахування ефекту самоподібності і різних одиниць даних, переданих у мережі. Це дозволило врахувати вплив процесів, що відбуваються на більш високих рівнях інфокомунікаційної мережі на характеристики трафіка.

2. Отримав подальшого розвитку метод параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з multicast трафіком, за рахунок використання для опису трафіка моделі самоподібних процесів. Це дозволило зменшити затримку у мережі під час передачі мультисервісного multicast трафіка за рахунок коректного визначення пропускних здатностей каналів зв'язку.

3. Набув подальшого розвитку метод багатоперіодного параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі, відмінною особливістю якого є опис інформаційних потоків у мережі моделлю самоподібних процесів. Це дозволило зменшити затримку пакета за рахунок коректного визначення пропускних здатностей каналів зв'язку.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновані в роботі математичні моделі й методи проектування інфокомунікаційних накладених

мереж мають важливе практичне значення, оскільки відкривають можливість побудови оптимальних багатопарових структур, характерних для сучасного етапу розвитку інфокомунікаційних систем.

Практична цінність отриманих у дисертації результатів полягає в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі математичні моделі та методи структурного та параметричного синтезу отримали програмну реалізацію у вигляді пакета програм, який дає можливість розв'язувати задачі синтезу структури та визначення параметрів структурних елементів телекомунікаційної системи. За допомогою даного програмного забезпечення було доведено можливість практичної реалізації та працездатності запропонованих у роботі методів. Розробка призначена для застосування в процесі проектування мультисервісних телекомунікаційних систем.

**Особистий внесок здобувача.** Робота виконана на кафедрі телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. Всі основні наукові результати, подані в дисертаційній роботі, отримано автором самостійно та повністю опубліковано у спеціалізованій літературі [1-10].

У роботах, виконаних у співавторстві, особисто Моат Талат Рамадан Салах належать такі наукові результати:

- в [1] проведене дослідження телекомунікаційної системи ієрархічної структури на прикладі розв'язання задач багатоадресної маршрутизації;
- у [2] математична модель мультисервісного трафіка з урахуванням ефекту самоподібності в умовах накладених мереж і метод їх параметричного синтезу;
- у [3] математична модель мультисервісного трафіка в інфокомунікаційній мережі, яка враховує наявність ефекту самоподібності;
- у [4] вдосконалення методу розв'язання задачі;
- у [5] модель трафіка у програмно-конфігурованих мережах;
- у [6] потокова модель для багатопарового графа з урахування ефекту самоподібності трафіка з декількома періодами навантаження.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертації доповідалися на 4-х міжнародних форумах і конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми інфокомунікацій. Наука та технології» (PIC S&T-2014) (м. Харків, ХНУРЕ, 2014); Сьомій Міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» (Київ, НТУУ КПІ, 2015); Шостій міжнародній науково-практичній конференції «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє» (Одеса, ОНАЗ, 2016); П'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми передавання обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах» (Чернівці, ЧНУ, 2016), а також на наукових семінарах кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць, з яких 6 статей: 5 статей у фахових виданнях України [1 - 5]

та 1 стаття за кордоном у міжнародному науковому журналі, що індексується у науково-метричній базі Scopus; 4 матеріали міжнародних конференцій, що проходили в Україні [7 – 10]. Усі за темою дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація обсягом 127 сторінки основного тексту складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, містить 20 рисунків, 6 таблиць і список використаних джерел з 60 найменувань.

### **Основний зміст роботи**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено 3 пункти наукової новизни отриманих результатів і визначено практичну цінність отриманих у роботі результатів. Наведено основні дані з публікацій та особистого внеску здобувача. Дано загальну характеристику роботи.

**У першому розділі** наведено стислий опис архітектури мультисервісних телекомунікаційних систем, що використовуються на сучасному етапі розвитку галузі телекомунікації. Окреслено коло задач, які виникають у ході проектування інфокомунікаційних систем. Проведено аналіз існуючих методів структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж. Звертається увага, що характеристики трафіка у часі змінюються та утворюють декілька періодів навантаження, при цьому максимума навантаження для різних типів трафіка частіше за все не співпадають, що необхідно враховувати під час проектування. Стверджується, що задачу структурного та параметричного синтезу, яка розв'язується на етапі проектування нових та модернізації існуючих інфокомунікаційних мереж, у загальному випадку можна звести до такого формулювання: за заданих вхідних потоків потрібно синтезувати таку структуру, яка з дотриманням установлених вимог до характеристик, могла б обслуговувати ці потоки. Розв'язання задачі структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж зазвичай здійснюється у вигляді ітераційного процесу.

У роботі звертається увага на те, що сучасні мультисервісні телекомунікаційні мережі, наприклад, IP/MPLS/DWDM, SDH/DWDM та інші, а також інфокомунікаційні мережі мають багаторівневу структуру, яка утворена накладеними мережами. Проведено аналіз існуючих методів синтезу топології згаданих мереж. Усі підходи, що використовуються при цьому можна поділити на такі групи: послідовний синтез, де результати синтезу однієї накладеної мережі є вхідними даними для синтезу іншої; поділ мережі, що синтезується, на логічну та фізичну; методи, що базуються на використанні багат шарових мереж. Всі ці методи не дозволяють повною мірою описати структуру телекомунікаційної системи, яка синтезується, що призводить до зменшення ефективності результатів синтезу.

У роботі показано, що для математичного моделювання та розв'язку задач аналізу й синтезу накладених мереж найбільш вдалими є використання моделей у вигляді багатопарових мереж і багатопарових графів. Наведено короткий опис цих підходів.

На базі проведеного аналізу результатів дослідження вітчизняних та закордонних вчених стверджується, що модель найпростішого потоку, яка застосовується зараз в ході проектування телекомунікаційних систем, призводить до невірних результатів розрахунків, оскільки побудована з використанням припущення про незалежність величин інтервалів між надходженням пакетів. Водночас результати статистичних досліджень показали, що це припущення не виконується. Більш адекватною моделлю вважається модель самоподібних (фрактальних) процесів, яка враховує наявність у потоків, що передаються, таких властивостей, як: висока пачковість, наявність довготривалих залежностей та розподілів з важкими хвостами, повільно спадаюча дисперсія зі збільшенням масштабу часу спостереження та усереднення. Наведені вже відомі результати із застосування математичних моделей самоподібних процесів під час розв'язання задач аналізу та синтезу телекомунікаційних систем. Стверджується, що за наявності багатьох вже відомих моделей самоподібного процесу, моделей елементів телекомунікаційної системи, що базуються на їх використанні, результатів аналізу впливу параметрів самоподібних потоків на якість обслуговування, спостерігається брак методів синтезу телекомунікаційних систем, що дозволяють розв'язувати цю задачу для всієї системи в цілому.

Наприкінці розділу зроблено загальну постановку задачі дисертаційного дослідження.

**Другий розділ** присвячено задачі синтезу математичної моделі трафіка в інфокомунікаційній системі, яка містить накладені мережі та враховує наявність ефекту самоподібності та різні типи одиниць даних у накладених мережах.

Для моделювання інформаційних потоків, що надходять до телекомунікаційної мережі та передаються каналами зв'язку, в роботі запропоновано використовувати раніше відомі математичні моделі On/Off – джерела, для моделювання окремого потоку, та фрактального броунівського руху – для моделювання групового агрегованого трафіка.

До параметрів якості обслуговування, що беруться до уваги під час синтезу мереж, є середня затримка та ймовірність своєчасної доставки. У роботі запропоновано аналітичні залежності для оцінки часу затримки, що виникає під час обслуговування потоку, що не перевищує цю величину з наперед заданою ймовірністю, які отримані для випадку надходження у вузол групового трафіка, що моделюються фрактальним Броунівським рухом, для дисциплін обслуговування у порядку надходження або обслуговування з урахуванням пріоритетів. Це дозволяє розв'язувати задачі вибору значень пропускних



здатностей каналів зв'язку з забезпеченням необхідної ймовірності своєчасної доставки.

Під час моделювання трафіка у мережі найбільш часто використовуються закон розподілу Парето. Проте, у реальних мережах інтервали між запитами і час обробки їх серверами обмежені. У дисертаційній роботі запропоновано використовувати обмежений розподіл, що дозволяє, не змінюючи форму «хвоста», враховувати максимальний інтервал між запитами і тривалість обробки запиту на сервері. У роботі стверджується, що у випадку G/G/m системи середня затримка  $\tau$  визначається як

$$\tau = \tau_w + \tau_s, \quad (1)$$

$$\tau_w = P(\rho, m)(\tau_s/m(1-\rho))(\zeta_{in}^2 + \zeta_{out}^2)/2, \quad (2)$$

де  $\tau_s$  – середній час обслуговування;  $\tau_w$  – середній час очікування у черзі;  $\rho$  – завантаженість вузла;  $m$  – кількість обслуговуючих пристроїв;  $\zeta_{in}^2$ ,  $\zeta_{out}^2$  – квадрати коефіцієнтів дисперсії, відповідно, для розподілу інтервалу між запитами і часу обслуговування. Коефіцієнт дисперсії у разі обмеження розподілу визначається як

$$\zeta^2 = \frac{(1-\alpha)^2(L^\alpha - k^\alpha)}{\alpha(Lk^\alpha - L^\alpha k^2)} \times \left( \frac{L^2 k^\alpha - L^\alpha k^2}{(2-\alpha)} - \frac{\alpha(Lk^\alpha - L^\alpha k^2)^2}{(1-\alpha)^2(L^\alpha - k^\alpha)} \right), \quad (3)$$

де  $L$  та  $k$  – відповідно, максимально й мінімально можливе значення тривалості інтервалів часу.

Ймовірність втрати можна знайти за формулою

$$P = \left( [1-\rho] / \left[ 1 - \rho^{2(\ell+1)/(\zeta_{in}^2 + \zeta_{out}^2)} \right] \right) \rho^{2\ell/(\zeta_{in}^2 + \zeta_{out}^2)}, \quad (4)$$

де  $\ell$  – розмір буфера.

Під час розв'язання задач параметричного синтезу постає необхідність знаходження параметрів групового потоку, який виникає в ході агрегування потоків від групи джерел навантаження, які моделюються On/Off-джерелами. Використовуючи відомий результат, що агрегований потік від групи потоків, які описуються моделлю On/Off-джерела, асимптотично прагне до потоку, який можна описати моделлю фрактального броунівського руху, у роботі запропоновано вирази, які дозволяють визначити параметри агрегованого потоку для цього випадку.

Розглянуті вище результати спрямовані на розв'язання задач параметричного синтезу телекомунікаційних систем без урахування наявності у них багаторівневої структури, що утворена накладеними мережами. В ході синтезу накладених телекомунікаційних мереж необхідно враховувати вплив, який чинить джерело трафіка на кожному з рівнів, та визначити параметри результуючого потоку в межах шарів накладених мереж. Для цього джерело трафіка в роботі представлено багаторівневою моделлю On/Off-джерела. При цьому параметри потоку для On - періоду визначаються за формулами:

$$\lambda_l = P_{Off}^l \lambda_{\min} + P_{On}^l \lambda_{l-1}, \quad (5)$$

$$\sigma_l^2 = P_{Off}^l (\lambda_{\min})^2 + P_{On}^l (\lambda_{l-1})^2 - (\lambda_l)^2, \quad (6)$$

де  $\lambda_l$  та  $\lambda_{l-1}$  – інтенсивність потоку на рівні  $l$  та  $l-1$  відповідно;  $P_{Off}^l$ ,  $P_{On}^l$  – ймовірність знаходження джерела у стані Off та On відповідно;  $\sigma_l^2$  – дисперсія потоку на рівні  $l$ .

Таким чином, застосування запропонованої вище моделі багатопшарового джерела дозволяє здійснювати оцінку параметрів потоку від індивідуальних джерел на різних рівнях накладеної мережі (пакетна мережа, транспортна мережа, рівень надання послуг).

Для визначення параметрів елементів інфокомунікаційної системи на різних її рівнях рекомендується використовувати таку методичку:

1. Синтезована мультисервісна накладена мережа описується багатопшаровим графом.

2. Використовуючи дані про абонентів, що підключаються до мережі і переліку споживаних ними телекомунікаційних послуг, з використанням багаторівневої моделі джерела, проводиться визначення параметрів трафіка, створеного на кожному з рівнів накладеної мережі.

3. Потоки, які надходять від індивідуальних джерел, агрегуються і визначаються параметри групового трафіка.

4. Для отриманої структури мережі вирішується завдання розподілу потоків з використанням потокової моделі для багатопшарового графа.

5. З використанням розрахункових виразів

$$H = \max_i (H_i), \quad i = 1, \dots, N, \quad (7) \quad \lambda = \sum_i \lambda_i, \quad (8) \quad \varsigma = \frac{\sum_i \varsigma_i \lambda_i}{\sum_i \lambda_i} \quad (9)$$

і отриманих виразів на кроці 4 формуються вирази для визначення параметрів агрегованих потоків.

6. Знайдені на попередньому кроці вирази використовуються у розрахункових виразах для параметрів якості обслуговування для відповідних ребер багатопшарового графа.

7. Отримані внаслідок виконання описаних вище кроків вирази використовуються під час математичної постановки оптимізаційної задачі, вирішення якої дозволяє визначити параметри, приписані ребрам багатопшарового графа і як результат – значення параметрів структурних елементів мультисервісної накладеної телекомунікаційної мережі.

**Третій розділ** присвячено задачам параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж, для випадків наявності multicast трафіка, а також

параметричного синтезу для трафіка з декількома періодами навантаження та урахуванням самоподібного характеру трафіка у мережах, що синтезуються.

Перша задача, що розв'язується, є задача параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з multicast трафіком. Вхідними даними є множина послуг з multicast трафіком та множина абонентів, яким надаються кожна з цих послуг. Відомою вважається топологія телекомунікаційної мережі з заданими місцями розміщення абонентів і вузлів комутації. Трафік у мережі є самоподібним з заданими характеристиками для кожної послуги. Необхідно знайти пропускні здатності каналів зв'язку, маршрути передачі трафіка для кожної послуги так, щоб мінімізувати витрати на забезпечення цих пропускних здатностей з урахуванням обмеження на затримку у мережі.

Розв'язання цієї задачі в роботі здійснювалось за рахунок її декомпозиції на дві задачі.

Вхідними даними першої підзадачі є множина абонентів мережі – споживачів інфокомунікаційних послуг, які складають групу розсилки; множина вузлів комутації мережі; множина вузлів-джерел трафіка з груповою адресацією. Відома топологія мережі. Задана матриця питомих витрат на передачу трафіка в каналі зв'язку; дохід, який отримує оператор зв'язку з наданням послуги абоненту. Таким чином, необхідно визначити групу абонентів, яким надається послуга та визначити дерево маршрутів доставки трафіка, так щоб прибуток оператора був максимальним.

Під час розв'язання першої підзадачі використовувалася математична модель мережі, у вигляді багатопарового графа. При цьому у мережі були виділені такі рівні: рівень мережі та сукупність рівнів, що відповідають multicast групам, кількість яких дорівнює кількості таких груп.

Граф нижнього рівня описує топологію мережі. Графи верхніх рівнів описують multicast групи та мають радіальну структуру, яка з'єднує джерело трафіка з абонентськими вузлами. Ребрам нижнього рівня приписується вага, яка дорівнює витратам на передачу multicast трафіка у каналах зв'язку. Ребрам верхніх рівнів присвоюється негативна вага, яка дорівнює доходу, що отримує оператор зв'язку під час надання послуги.

Граф, який з'єднує шари багатопарового графу, містить ребра, що зв'язують джерела групового трафіка з вершинами нижнього рівня, які відповідають вузлам мережі, де встановлюються відповідні сервери послуг.

Таким чином, вирішення задачі зводиться до знаходження найкоротшого зв'язаного дерева, яке покриває задану множину вузлів, при цьому у множину вузлів, яке покривається деревом, можуть включатися додаткові вузли. У такій постановці дана задача аналогічна задачі синтезу топології мережі агрегації доступу в класі деревоподібних мереж, для розв'язання якої застосовується раніше відомий метод.

Отримані під час розв'язання даної задачі маршрути передачі multicast трафіку для кожної послуги використовуються для визначення оптимальних

значень пропускних здатностей каналів зв'язку для випадку самоподібного трафіка.

Цю підзадачу можна сформулювати так. За відомою топологією; питомими витратами на забезпечення пропускної здатності каналів зв'язку; маршрутами передачі multicast трафіка та його параметрами. Визначити пропускні здатності каналів зв'язку так, щоб затримка у мережі була не більше припустимої із завданою ймовірністю. Критерієм оптимальності є мінімум вартості мережі:

$$\sum_{e_{ij} \in E^N} d_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Під час розв'язання задачі в роботі використовувалося модель фрактального Броунівського руху. Таким чином на вузол мережі надходить сукупність трафіка, де кожен з них описується процесом  $\xi_{in}^i(t) = \lambda_i t + \sigma_i Z(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , огибаючий процес для вхідного трафіка описується процесом  $\hat{\xi}_{in}^i = \lambda_i t + \eta_i \sigma_i t^H$  з похибкою  $\varepsilon$  та тривалістю  $\tau_b$ , для тривалості зайнятості системи  $\tau$  виконується умова  $P\{\tau > \tau_b\} \leq p$ , тоді затримка пакета для  $i$ -го потоку не перевищує величини  $\hat{\tau}$

$$\hat{\tau} = \max_t \left\{ \frac{1}{c} \sum_{j=1}^n \hat{\xi}_{in}^j(t) - t \right\} \quad (11)$$

з імовірністю, не меншою ніж  $(1-p)(1 - \sum_{j=1}^n \varepsilon_j)$ , де  $c$  – пропускна здатність каналу. В цьому випадку у математичну модель задачі введено обмеження

$$\sum_{(i,j) \in \pi^{sk}} \hat{\tau}_{ij}^{sk} \leq T_{don}^s, \quad \forall s, k, \quad (12)$$

$$1 - \sum_{(i,j) \in \pi^{sk}} p_{ij}^{sk} \leq P_{don}^s, \quad \forall s, k, \quad (13)$$

де  $\hat{\tau}_{ij}^{sk}$  – затримка у каналі  $(i, j)$   $k$ -го трафіку  $s$ -ї послуги;  $(1 - p_{ij}^{sk})$  – ймовірність, що затримка у вузлі не перевищить величину  $\hat{\tau}_{ij}^{sk}$ .

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

У дисертаційній роботі звертається увага, що трафіку в інфокомунікаційних мережах притаманні зміни його інтенсивності у часі (декілька періодов навантаження), а також властивості самоподібності.

Друга задача, що розв'язується, є задача структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з декількома періодами навантаження. Вхідними даними є множина абонентів, яким надаються послуги за допомогою серверів. Відомою вважається топологія інфокомунікаційної мережі. Для кожного сервера задана множина вузлів мережі, де він може бути розташований. Усі вузли мережі, де можливе розміщення серверів, поділяються на вузли, у яких дозволяється встановлення декількох серверів, та вузли, де дозволене встановлення тільки одного сервера. Трафік у мережі є самоподібним з заданими характеристиками для кожного з інтервалів часу. Необхідно знайти пропускні

здатності каналів зв'язку, маршрути передачі трафіка для кожного з інтервалів так, щоб мінімізувати витрати на забезпечення цих пропускних здатностей з урахуванням обмеження на затримку у мережі.

Для розв'язання цієї задачі в роботі пропонується її декомпозиція на дві підзадачі: задача пошуку місць встановлення серверів і маршрутів передачі трафіка згідно з критерієм мінімуму вартості мережі (ваги багатопшарового підграфа) з використанням лінійної потокової моделі та задача визначення пропускних здатностей каналів зв'язку для самоподібного трафіка з обмеженням на затримку.

Під час розв'язання першої підзадачі використовувалася математична модель мережі, що синтезується, у вигляді багатопшарового графа. При цьому у мережі, що синтезується, були виділені такі рівні: рівень телекомунікаційної мережі та сукупність рівнів, що відповідають послугам в інфокомунікаційній мережі, кількість яких дорівнює кількості послуг.

Кожен з рівнів описувався графом відповідного шару багатопшарового графа. Граф шару телекомунікаційної мережі  $\Gamma^N$  містить вершини, які відповідають абонентським вузлам, серверам і 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 мережі, які задіяні в наданні відповідних послуг. Для кожного інформаційного зв'язку, який виникає в ході надання послуг, до складу графів шарів інфокомунікаційних послуг вводяться ребра, які зв'язують вершини графа  $\Gamma^S$ .

Граф  $\Gamma'$ , який з'єднує шари багатопшарового графа, містить ребра, які з'єднують вершини графа  $\Gamma^N$  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 сервера можливе. Цим ребрам присвоюється вага  $d'_{si}$ , що дорівнює вартості встановлення даного сервера в цьому вузлі.

Вихідний багатопшаровий граф  $MLG$ , що використовується під час розв'язання задачі, є об'єднанням цих графів. По ребрах графів  $\{\Gamma^s\}$  пропускаємо потік  $\gamma(e_{ij}^s)$ , величина якого дорівнює інтенсивності трафіка між вузлами відправник – отримувач. Розв'язок поставленої задачі полягає у знаходженні багатопшарового підграфа  $MLG'$  мінімальної ваги графа  $MLG$  та вибору пропускних здатностей ребер графа  $\Gamma^N$ , який задовольняв би обмеженням до пропускної здатності ребер, структури багатопшарового графа та збереження потоків у вершинах.

Потокова модель для цього багатопшарового графа описується такими умовами-обмеженнями:

- умова збереження потоку у вершинах багатопшарового графа;

- умова, що забороняє передачу транзитних потоків через вершини, що не є маршрутизаторами у мережі;

- умова, що потоки можуть протікати тільки по існуючих ребрах, які зв'язують шари;

- умова, що 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);

- умова, яка обмежує кількість серверів для вузлів, де дозволяється встановлення тільки одного сервера.

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

$$\sum_s \sum_k \lambda_k^s \cdot x_{ij}^{sk}(q) \leq c_{ij}, \quad \forall t, \forall e_{ij}^N \in E^N, \quad (14) \quad c_{ij} = c_{ji}, \quad \forall e_{ij}^N \in E^N, \quad (15)$$

де:  $x_{ij}^{sk}(q)$  – відображає використання ребра  $e_{ij}^N \in \Gamma^N$  для передачі  $k$ -го потоку  $s$ -ї послуги в напрямку від  $v_i^N$  до  $v_j^N$  у період часу  $q$ .

Сумарна вага багат шарового графа має бути мінімальною

$$\sum_{e_{mn}^s \in E^s} d'_{sn} \cdot y_{mn}^s + \sum_{e_{ij}^N \in E^N} d_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min, \quad (16)$$

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

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

Отримані під час розв'язання даної задачі маршрути передачі трафіка для кожного періоду часу використовуються для визначення оптимальних значень пропускних здатностей каналів зв'язку для випадку самоподібного трафіка згідно з критерієм мінімуму вартості мережі з обмеженням на затримку.

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

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

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

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

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

за умови

$$\sum_{(i,j) \in \pi^{sk}} \hat{\tau}_{ij}^{sk}(q) \leq T_{don}^s, \quad \forall s, k, \quad (20)$$

$$1 - \sum_{(i,j) \in \pi^{sk}} p_{ij}^{sk}(q) \leq P_{don}^s, \quad \forall s, k, \quad (21)$$

де  $\hat{\tau}_{ij}^{sk}(q)$  – затримка у каналі  $(i, j)$   $k$ -го трафіка  $s$ -ої послуги у  $q$ -му періоді навантаження;  $[1 - p_{ij}^{sk}(q)]$  – ймовірність, що затримка у вузлі не перевищить величину  $\hat{\tau}_{ij}^{sk}(q)$ .

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

**У четвертому розділі** наведено методику проведення дослідження ефективності запропонованих у дисертації методів структурного і параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж 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 мереж, 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 раніше відомими за однакових вихідних даних. Для цього було синтезовано вихідні дані випадковим методом для різного розміру мережі (різної кількості вузлів).

Проведено дослідження запропонованої в роботі моделі трафіка у накладеній мережі за допомогою імітаційної моделі. Під час експерименту здійснювалося порівняння характеристик трафіка в імітаційній моделі з характеристиками трафіка, розрахованими за допомогою аналітичного моделювання. Внаслідок проведеного аналізу було виявлено, що результати, отримані різними засобами, сходяться, що підтверджує адекватність запропонованої моделі трафіка у накладених мережах.

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

За результатами експериментів виявлено, що багатоперіодний синтез, порівняно з одноперіодним, дозволяє отримати варіант конфігурації

інфокомунікаційної мережі в середньому на 9 % меншої вартості за однакових вхідних даних та обмеженнях на затримку у мережі.

За результатами другого напрямку дослідження встановлено, що телекомунікаційна мережа, параметри якої були визначені методом, що базується на моделях пуассонівських процесів, не задовольняє вимогам щодо затримки у випадку передачі трафіка з властивостями самоподібності. Використання запропонованого методу призводить до збільшення вартості мережі порівняно з класичним, що пов'язане з необхідністю більш швидких каналів зв'язку під час передачі самоподібного трафіка. Проте зі збільшенням пропускних здатностей каналів таким чином, щоб вартість мережі була однаковою, мережа, яка синтезована класичним методом, має більше значення затримки у випадку передачі самоподібного трафіка.

Запропонований у роботі метод параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з multicast трафіком був досліджений за допомогою імітаційної моделі, параметри якої були розраховані запропонованим методом з використанням класичних моделей пуассонівського потоку та моделей самоподібних процесів. Порівняльний аналіз результатів експерименту виявив, що інфокомунікаційна мережа синтезована запропонованим у роботі методом дозволяє зменшити затримку у мережі в середньому на 7% під час передачі мультисервісного multicast трафіка.

У роботі досліджено метод параметричного синтезу з декількома періодами навантаження з використанням засобів імітаційного моделювання. Методика дослідження полягала у наступному. Для однакових наборів вихідних даних здійснювався розв'язок задачі з використанням методу, що базується на пуассонівській моделі потоку та методу, який враховує наявність у потоків ефекту самоподібності. Результуюча конфігурація мережі досліджувалася за допомогою імітаційної моделі. Аналіз результатів експерименту підтвердив раніше отримані результати за допомогою аналітичного моделювання, а також отримані за результатами імітаційного моделювання значення затримки пакетів у мережі були близькими до теоретично очікуваних з використанням моделей самоподібного трафіка.

## **Висновки**

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу розробки нових і вдосконалення існуючих методів структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних накладених мереж з використанням моделей багатопарових графів і представлення потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх у ході проектування. При цьому отримано такі наукові та прикладні результати.

1. Проведено аналіз принципів побудови сучасних інфокомунікаційних мереж та встановлено, що вони зазвичай будуються як оверлейні (накладені)



мережі, у 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. Також необхідно враховувати, що характеристики трафіка у часі змінюються та утворюють декілька періодів навантаження, при цьому максимуми навантаження для різних типів трафіка частіше за все не співпадають. У роботі сформульовано та розв'язано декілька задач структурного та параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж. Розв'язання задачі сформульовано у вигляді методу, який реалізується, за наявності початкових даних на ПЕОМ.

2. Результати дослідження методів, які базуються на використанні багатопарового графа, свідчать, що застосування багатопарового графа дозволяє описати телекомунікаційну мережу, яка містить накладені мережі, як єдиний цілісний об'єкт та отримати внаслідок синтезу, більш ефективні структури системи за технічним та економічними параметрами.

3. Для розробки методики аналізу і синтезу мультисервісних мереж як математичні моделі трафіка на різних рівнях і ділянках мультисервісної накладеної інфокомунікаційної мережі використані моделі самоподібних процесів. Зазначені моделі дозволяють враховувати такі властивості, характерні потокам у мультисервісних мережах, як: довготривалу залежність, високу пачковість, наявність розподілу з важкими хвостами для міжпакетних інтервалів і тривалості занять обслуговуючих пристроїв, повільно загасаючу дисперсію вибіркового середнього.

4. Запропонована в роботі модель базується на моделі у вигляді багатопарового графа і самоподібних потоках, дозволяє враховувати різний тип переданих одиниць даних на різних рівнях накладених мереж. Це дозволяє підвищити ефективність і точність методів аналізу і синтезу накладених інфокомунікаційних мереж. Результати проведеного імітаційного моделювання підтвердили результати аналітичного моделювання, що свідчить про адекватність запропонованої моделі трафіка.

5. Вдосконалено метод параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з multicast трафіком, за рахунок використання для опису трафіку моделі самоподібних процесів. Порівняльний аналіз виявив, що інфокомунікаційна мережа синтезована запропонованим у роботі методом дозволяє зменшити затримку у мережі в середньому на 7% в процесі передачі мультисервісного multicast трафіка за рахунок коректного визначення пропускних здатностей каналів зв'язку.

6. Вдосконалено метод багатоперіодного параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі за рахунок використання моделей потоків як самоподібних процесів. За результатами порівняльного аналізу встановлено, що багатоперіодний синтез, порівняно з одноперіодним, дозволяє отримати варіант конфігурації інфокомунікаційної мережі в середньому на 9 % меншої вартості

за однакових вхідних даних та обмеженнях на затримку у мережі. Також використання запропонованого методу дозволило зменшити середній час затримки порівняно з методами, що базуються на пуассонівських процесах. Результати проведеного імітаційного моделювання підтвердили результати аналітичного моделювання, що свідчить про адекватність моделей, які використовувалися.

7. Розроблені й модернізовані методики та програмна реалізація рекомендується для використання у проектних організаціях, на етапах проектування інфокомунікаційних мереж, які знову споруджуються чи реконструюються, з кількістю вузлів до декількох десятків, за наявності в інформаційних потоках, що передаються, ефекту самоподібності.

### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Невзорова Е.С. Иерархическо-координационный метод многоадресной маршрутизации в телекоммуникационной сети / Е.С. Невзорова, К.М. Арус, М.Т.Р. Салах // Радиотехника. – 2015. – Вып. 183. – С. 42 - 52.

2. Агеев Д.В. Параметрический синтез наложенных сетей с самоподобным трафиком / Д.В. Агеев, Моат Талат // Радиотехника. – 2015. – Вып. 184. – С. 119 - 126.

3. Nameer Qasim. Modeling of LTE EPS with Self-Similar Traffic for Network Performance Analysis / Q. Nameer, A. Al-Anssari, M.T.R Salah // Системи обробки інформації. – 2015. – № 12 (137). – С. 140 - 144.

4. Агеев Д.В. Структура и параметрический синтез инфокоммуникационной сети в условиях самоподобного трафика с несколькими периодами нагрузки / Д.В. Агеев, М.Т. Салах // Радиотехника. – 2016. – №187. – С. 5 - 13.

5. Мухи-Алдин Х.М. Комплексный метод повышения доступности сервисов в программно-конфигурируемых сетях, основанный на динамической репликации [Электронный ресурс] / Х.М. Мухи-Алдин, Е.Б. Ткачова, М.Т. Салах // Проблемы телекоммуникаций. – 2016. – № 2 (19). – С. 81 - 93. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2016/2/1/162\\_tkachova\\_rep.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2016/2/1/162_tkachova_rep.pdf).

6. Ageyev D.V. Parametric synthesis of overlay networks with self-similar traffic / D.V. Ageyev, M.T. Salah // Telecommunications and Radio Engineering. – 2016. – No 75(14). – P.1231-12141.

7. Моат Талат. Метод многоэтапного синтеза инфокоммуникационных сетей / Талат Моат, Ф. Вехбе // 5-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2014. Сборник научных трудов: материалы форума в 4-х томах. Том II. Международная научно-практическая конференция «Проблемы инфо-

коммуникаций. Наука и технологии» (PIC S&T-2014). – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2014. – С. 45 - 46.

8. Агеев Д.В. Синтез наложенных телекоммуникационных сетей Д.В. Агеев, Талат Моат // Сьома Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем». – Київ : НТУУ КПІ, 2015. – С.116 -118.

9. Агеев Д.В . Модели и методы параметрического синтеза наложенных сетей с самоподобным трафиком/ Д.В. Агеев, М.Т.Р Салах // Шоста міжнародна науково- практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє». – Одеса:ОНАЗ, 2016. – С.48 - 56.

10. Агеев Д.В. Параметрический синтез наложенных сетей с самоподобным трафиком / Д.В. Агеев, М.Т.Р Салах // Фізико-технологічні проблеми передавання обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернівці: ЧНУ, 2016. – С.193 - 194.

### Анотація

Моат Талат Рамадан Салах. Метод синтезу накладених інфокомунікаційних мереж в умовах самоподібного групового трафіка. – Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2017.

Дисертація присвячена удосконаленню методів структурного і параметричного синтезу інфокомунікаційних мереж з використанням математичних моделей у вигляді багатопарових графів і представлення інформаційних потоків у мережі як самоподібних процесів з метою використання їх під час проектування. У роботі запропоновано метод параметричного синтезу інфокомунікаційної мережі з декількома періодами навантаження та в умовах multicast трафіка з урахуванням наявності в інформаційних потоках ефекту самоподібності. Досліджено ефективність запропонованих методів і розроблено практичні рекомендації щодо їх застосування. Порівняльний аналіз запропонованих методів з раніше відомими показав, що розроблені у роботі методи дозволяють отримати більш ефективну структуру інфокомунікаційної мережі за технічними та економічними показниками.

**Ключові слова:** інфокомунікаційна мережа, трафік, самоподібність, пропускна здатність, метод оптимізації, багатопаровий граф.

### Аннотация

Моат Талат Рамадан Салах. Метод синтеза наложенных инфокоммуникационных сетей в условиях самоподобного группового трафика. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков, 2017.

На современном этапе развития общества информационные технологии бурно развиваются. Объединение мультисервисных телекоммуникационных сетей со средствами предоставления информационных услуг образует инфокоммуникационные сети. Современные инфокоммуникационные сети являются большими сложными системами, обладающими многоуровневой структурой во многих аспектах рассмотрения. Особого внимания заслуживает структура, образованная наложенными сетями. При проектировании этих сетей возникает необходимость определения их структуры на каждом из тесно взаимодействующих уровней. Такое многоуровневое, многоаспектное представление существующих инфокоммуникационных и телекоммуникационных сетей трудно поддается математическому описанию без потери наглядности или адекватности. 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 работе синтезирована математическая модель трафика в наложенных инфокоммуникационных сетях. При синтезе наложенных сетей необходимо учитывать влияние, которое оказывает источник трафика на каждом из уровней, и определить параметры результирующего потока в пределах наложенных сетей.

Поставлена и решена задача параметрического синтеза инфокоммуникационной сети в условиях передачи multicast трафика. Решение задачи базируется на ее декомпозиции на две подзадачи. Первой задачей было нахождение маршрутов передачи multicast трафика с максимизацией прибили оператора сети в рамках линейной потоковой модели и представлением инфокоммуникационной сети в виде многослойного графа. Далее по известному распределению потоков решалась задача нахождения оптимальных значений пропускных способностей каналов согласно критерию минимум стоимости сети и при ограничении на задержку.

В диссертационной работе была поставлена и решена задача параметрического синтеза инфокоммуникационной сети с трафиком, имеющим

несколько периодов интенсивности. При синтезе математической модели этой задачи было уделено внимание тому, что мультисервисному трафику современных сетей характерно наличие эффекта самоподобия, что было учтено в предлагаемой модели. Решение задачи базируется на ее декомпозиции на две подзадачи. Первой задачей было распределение потоков с минимизацией суммарной величины требуемых пропускных способностей каналов в рамках линейной потоковой модели и представлением инфокоммуникационной сети в виде многослойного графа. Далее по известному распределению потоков решалась задача нахождения оптимальных значений пропускных способностей каналов согласно критерию минимума стоимости сети и при ограничении на задержку.

Проведенные в работе экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенных методов и адекватность используемых математических моделей.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационная сеть, трафик, самоподобие, пропускная способность, метод оптимизации, многослойный граф.

### **Abstract**

Moath Talat Ramadan Salah. Infocommunication overlay networks synthesis method in conditions of self-similar group traffic – Manuscript. Thesis for candidate's degree by speciality 05.12.02 – Telecommunication systems and network - Kharkov National University of Radioelectronics. Kharkov, 2017.

The thesis is devoted to the improvement of single- and multi-stage structural and parametric synthesis of infocommunication network using mathematical models in the form of multilayer graphs and presentation of information traffic in the network as a self-similar processes for design goals usage. This work presents the method of parametric synthesis of infocommunication network with multiple period demands, taking into account the availability of the information traffic the effect of self-similarity. Investigated the effectiveness of the proposed methods and developed practical recommendations for their use. Comparative analysis of the proposed methods and earlier known showed that developed in the work methods allow to get more efficient infocommunication network structure on the technical and economic indicators.

**Key words:** infocommunication network, traffic, self-similarity, bandwidth optimization method, multi-layered graph.

Підп. до друку 12.04.17.  
Умов. друк. арк. 0,9.  
Зам. №

Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Тираж 100 прим.  
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія

---

ХНУРЕ, 61166, Харків, пр. Науки, 14

---

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