

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Чеботарьова Дарія Василівна

УДК 621.391

**ПЛАНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
З УРАХУВАННЯМ СУКУПНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
БЕЗРУК Валерій Михайлович,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедри мереж зв'язку

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КЛИМАШ Михайло Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедри телекомунікацій

доктор технічних наук, доцент
АГЕСВ Дмитро Володимирович,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
професор кафедри телекомунікаційних систем

Захист відбудеться “ 17 ” жовтня 2012 р. о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61060, м. Харків, просп. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61060, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розісланий “ 11 ” вересня 2012 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Лемешко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертації. Мережі мобільного зв'язку є важливими компонентами створюваної всесвітньої інфокомунікаційної інфраструктури. В умовах швидкого розвитку стільникових мереж мобільного зв'язку (СММЗ), обслуговування зростаючого числа абонентів, розширення територій покриття та надання нових інформаційних послуг особливу значимість набуває підвищення ефективності планування СММЗ, зокрема, покращення якості обслуговування, скорочення термінів і вартості планування таких мереж.

Стільникова мережа мобільного зв'язку – це складна організаційно-технічна система, що постійно розвивається, а показники якості якої, як правило, тісно пов'язані і суперечливі між собою, тобто поліпшення одних показників якості може бути забезпечене лише за рахунок погіршення інших показників.

Аналіз сучасного стану у галузі планування СММЗ показує, що задачі планування цих мереж не ставляться та не вирішуються як багатокритеріальні оптимізаційні задачі зі строгим урахуванням на формалізованому рівні сукупності суперечливих показників якості. При цьому отримані проектні варіанти СММЗ не є оптимальними за сукупністю показників якості, що зумовлює потребу перепланувань за результатами моніторингу цих мереж на подальшому етапі введення їх в експлуатацію.

Це визначає необхідність використання методів багатокритеріальної оптимізації та методів прогнозування при плануванні СММЗ з метою вибору оптимальних проектних варіантів на етапах планування цих мереж. При цьому з'являється можливість врахувати на строго формалізованому рівні сукупність суперечливих вимог до СММЗ та врахувати зростаюче навантаження мережу і виключити безумовно гірші проектні варіанти побудови мереж, а в результаті зменшити число перепланувань в процесі їх експлуатації. Окрім того, застосування строгих математичних методів багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимальних проектних варіантів мереж з урахуванням сукупності показників якості, а також відповідних програмних комплексів, дасть можливість автоматизації проектування СММЗ, що дозволить виконати вимоги щодо скорочення термінів і вартості планування СММЗ.

Тому є актуальною тема дисертаційних досліджень, що направлені на оптимізацію проектних варіантів на етапах планування радіомереж та транспортних мереж мобільного зв'язку зі строгим урахуванням суперечливих показників якості на базі основних положень теорії багатокритеріальної оптимізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з виконанням планових держбюджетних НДР № 201 «Мережеві технології інтегрованої інформаційної системи зв'язку з рухомими об'єктами» (№ ДР 0106U003173) і НДР № 240-5 «Розробка прикладних методів цифрової обробки інформації та синтезу сигналів в інтегрованих мережах мобільного зв'язку» (№ ДР 0109U001636), які виконувалися згідно тематичного плану НДР Харківського національного університету радіоелектроніки. У вказаних НДР дисертант був виконавцем.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні ефективності планування стільникових мереж мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості на основі використання теорії багатокритеріальної оптимізації.

Задачі досліджень:

- аналіз існуючих методів планування та оптимізації стільникових мереж мобільного зв'язку;
- вибір і обґрунтування методів вибору оптимальних проектних варіантів при плануванні СММЗ з урахуванням сукупності показників якості;
- вирішення задач планування радіомережі та транспортної мережі мобільного зв'язку з використанням методів багатокритеріальної оптимізації;
- розробка програмного комплексу вибору оптимальних проектних варіантів СММЗ з урахуванням сукупності показників якості;
- вибір та обґрунтування методів прогнозування мережевого трафіку для використання результатів прогнозу при плануванні СММЗ.

Об'єкт дослідження – процес планування та оптимізації СММЗ.

Предмет дослідження – методи вибору оптимальних проектних варіантів при плануванні СММЗ з урахуванням сукупності показників якості на базі основних положень теорії багатокритеріальної оптимізації.

Методи дослідження. Основними методами дослідження є:

- методи теорії прийняття рішень і теорії багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимальних проектних варіантів з урахуванням сукупності показників якості;
- методи математичного моделювання мереж для задання множини допустимих проектних варіантів побудови СММЗ;
- методи теорії графів і системного аналізу для вибору оптимальних топологій транспортних мереж мобільного зв'язку;
- методи теорії ймовірностей, випадкових процесів та теорії телетрафіку для побудови моделі прогнозування мережевого трафіку.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод вибору оптимальних проектних варіантів радіомережі мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості на етапі номінального планування СММЗ, який відрізняється знаходженням підмножини Парето-оптимальних варіантів та виключенням безумовно гірших варіантів радіомереж.

2. Вперше запропоновано метод вибору оптимальних топологій транспортної мережі мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості при плануванні СММЗ, який відрізняється знаходженням підмножини Парето-оптимальних варіантів та виключенням безумовно гірших варіантів топологій транспортних мереж.

3. Отримав подальший розвиток метод прогнозування мережевого трафіку при плануванні СММЗ, який відрізняється використанням моделі лінійного передбачення, модернізованої з урахуванням нестационарності реального трафіку.

Практичне значення отриманих результатів.

1. В результаті вирішення задач вибору оптимальних проектних варіантів на основі методів багатокритеріальної оптимізації при плануванні радіомережі та

транспортної мережі мобільного зв'язку запропоновані практичні рекомендації щодо вибору оптимальних проектних варіантів СММЗ з урахуванням сукупності показників якості.

2. Розроблено спеціалізований програмний комплекс, що програмно реалізує запропонований метод вибору оптимальних проектних варіантів з урахуванням сукупності показників якості на номінальному етапі планування СММЗ. Програмний комплекс може увійти до складу існуючих програмно-апаратних комплексів планування СММЗ.

3. Запропоновані в дисертаційній роботі методи і розроблений програмний комплекс вибору оптимальних проектних рішень з урахуванням сукупності показників якості складають основу автоматизованого проектування СММЗ, характерною особливістю якого є застосування математичних методів і програмних засобів ЕОМ при виборі оптимальних проектних варіантів, що дає можливість скорочення тривалості та вартості планування СММЗ.

4. Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи використані при виконанні НДР № 201 «Мережеві технології інтегрованої інформаційної системи зв'язку з рухомими об'єктами» і НДР № 240-5 «Розробка прикладних методів цифрової обробки інформації та синтезу сигналів в інтегрованих мережах мобільного зв'язку».

5. Результати дисертації були також використані при підготовці лекційних курсів та лабораторного практикуму з дисциплін «Планування та проектування інформаційних мереж», «Системи зв'язку з рухомими об'єктами», «Автоматизація проектування мереж зв'язку» і «Методи оптимізації» на кафедрі «Мережі зв'язку» Харківського національного університету радіоелектроніки.

Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено двома відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок автора. Основні результати роботи були отримані автором самостійно і достатньо повно відображені в публікаціях [1 – 23]. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто автору належать такі результати:

– в роботі [1] отримані результати вибору оптимальних проектних варіантів побудови СММЗ за допомогою розробленого програмного комплексу та отримані багатомірні діаграми обміну (БДО) деяких показників якості;

– в роботі [2] досліджено практичні особливості застосування відомих методів багатокритеріальної оптимізації при автоматизації планування мереж радіозв'язку;

– в роботі [3] проведено аналіз існуючих програмних комплексів планування мереж радіозв'язку і тестування розробленого програмного комплексу для вибору оптимальних проектних рішень;

– в роботі [4] отримано результати застосування методів багатокритеріальної оптимізації при плануванні радіомережі та транспортної мережі мобільного зв'язку;

– в роботі [5] досліджено практичні особливості застосування методів багатокритеріальної оптимізації при плануванні транспортної мережі мобільного зв'язку;

– в роботі [6] за результатами досліджень розроблено практичні

рекомендації по прогнозуванню трафіку в мережах мобільного зв'язку третього покоління;

– в роботі [7] проведені дослідження практичних особливостей методів багатокритеріальної оптимізації на різних етапах планування СММЗ;

– в роботі [8] отримані результати вибору оптимальних проектних рішень на етапі номінального планування мереж радіозв'язку з урахуванням сукупності показників якості.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертаційної роботи були представлені та обговорені на науково-технічних конференціях: 2-й, 4-й і 8-й Міжнародних молодіжних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (Севастополь, 2006, 2008, 2012); 11-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті» (Харків, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів» (Черкаси, 2007); International Conference «IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST WORKSHOP EWDWTW'07» (Yerevan, Armenia, 2007); 17-й Міжнародній Кримській конференції «НВЧ-техніка і телекомунікаційні технології» (Севастополь, 2007); 9-й та 11-й Міжнародних конференціях «Сучасні Проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (Львів-Славське, 2008, 2012); 3-му Міжнародному Радіоелектронному Форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» (Харків, 2008); IX International Electronics and Telecommunication Conference of Students and Young Scientists (Warsaw, 2009); Міжнародному науково-технічному симпозиумі «Новітні технології в телекомунікаціях» ДУІКТ-КАРПАТИ (Київ, 2012); 2nd World Conference on Educational Technology Research (Lefkosa, North Cyprus, 2012).

Публікації по темі дисертації. Основні результати досліджень опубліковано в 23 роботах, у тому числі, 1 розділ у закордонній колективній монографії [1], 1 стаття в закордонному журналі [8] та 7 статей у фахових вітчизняних виданнях [2 – 7, 9]. Крім того, матеріали дисертаційної роботи представлені в 14 тезах доповідей на науково-технічних конференціях [10 – 23].

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (134 найменувань) і додатків. Загальний обсяг роботи становить 180 сторінок, з них перелік використаних скорочень на 3 сторінки, список використаних джерел на 14 сторінок, додатки на 15 сторінках. Дисертація містить 38 рисунків та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності дисертаційних досліджень, формулювання мети роботи й задач досліджень, наукової новизни та практичного значення отриманих результатів. Наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та використання результатів дослідження, а також про публікації та апробацію результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз стану задач у галузі планування та проектування СММЗ.

Основними етапами планування СММЗ є номінальне (попереднє) та детальне планування, що включає планування радіомережі та транспортної мережі мобільного зв'язку. При цьому до вказаних мереж висуваються суперечливі техніко-економічні вимоги, які визначаються сукупністю показників якості, що характеризують мережі і повинні враховуватися при їх плануванні.

Аналіз сучасного стану у галузі планування СММЗ, зокрема методів та програмних продуктів планування, показує, що задачі планування мереж на ставляться та не вирішуються як багатокритеріальні оптимізаційні задачі зі строгим урахуванням на формалізованому рівні сукупності показників якості.

Оптимізація СММЗ в основному виконується вже на післяпусковому етапі та в процесі їх експлуатації за результатами моніторингу роботи зреалізованого проектного варіанту СММЗ, який був отриманий на етапі планування мережі. При невиконанні вимог до якості обслуговування користувачів СММЗ проводиться її оптимізація за рахунок перепланування мережі. Тому для зменшення кількості та обсягу перепланувань мережі необхідно ще на етапі номінального та детального планування отримувати оптимальні за сукупністю показників якості проектні варіанти СММЗ, а також виконувати їх планування з урахуванням прогнозованих значень зростаючого навантаження на мережу.

З урахуванням проведеного аналізу обґрунтовано та визначено задачі актуальність теми дисертаційних досліджень, направлених на планування та оптимізацію СММЗ з урахуванням сукупності показників якості та з використанням методів багатокритеріальної оптимізації, зокрема, на етапі номінального планування радіомережі та транспортної мережі мобільного зв'язку.

Другий розділ присвячено вибору та обґрунтуванню методів вибору оптимальних проектних варіантів СММЗ з урахуванням сукупності показників якості на основі основних положень теорії багатокритеріальної оптимізації. Вирішення задачі вибору варіантів мережі, оптимальних за сукупністю показників якості, включає наступні етапи: формування множини допустимих варіантів мережі, задання сукупності показників якості СММЗ та критерію оптимальності мережі, а також знаходження найкращих варіантів СММЗ за обраним критерієм оптимальності.

Множина припустимих варіантів формується на основі морфологічного підходу з урахуванням того, що кожний варіант СММЗ $\phi = (s, \vec{\beta}) \in \Phi_\delta$ визначається структурою s (сукупністю елементів і зв'язків) і вектором параметрів $\vec{\beta}$. Зокрема, обмеження, що задаються на умови роботи, структуру $s \in S_\delta$, параметри $\beta \in B_\delta$ і значення показників якості мережі, визначають множину допустимих проектних рішень $\Phi_\delta = S_\delta \times B_\delta$.

Задання критерію оптимальності для вибору оптимального варіанту на множині припустимих проектних рішень мережі пов'язане з формалізацією уявлень замовника СММЗ про її оптимальність. Через недостатню визначеність уявлень замовника про оптимальність мережі спочатку не вдається у формалізованому вигляді задати скалярний критерій оптимальності. Тому на початкових етапах мережу характеризують сукупністю суперечливих показників якості й пов'язаною з ними векторною цільовою функцією

$$\vec{k}(\phi) = (k_1(\phi), \dots, k_i(\phi), \dots, k_m(\phi)), \quad (1)$$

яка визначає залежність показників якості $k_i(\phi)$ від структури й параметрів мережі $\phi = (s, \vec{\beta})$. При цьому для вибору оптимальних проектних рішень необхідно застосовувати методи багатокритеріальної оптимізації.

При цьому слід використовувати ординалістичний підхід до задання критерію оптимальності та вибору оптимальних проектних рішень, що базується на введенні бінарних відношень переваги між проектними рішеннями. Зокрема, при введенні відношення строгої переваги на множині допустимих варіантів мережі знаходиться підмножина Парето-оптимальних рішень. Потім використовується кардиналістичний підхід, оснований на введенні деякого умовного критерію переваги, який дає можливість звуження підмножини Парето-оптимальних рішень до єдиного проектного варіанту мережі.

Знаходження Парето-оптимальних проектних рішень може бути проведено як безпосередньо на множині допустимих рішень Φ_δ із застосуванням уведених бінарних відносин переваги, так і в критеріальному просторі оцінок вектора показників якості (1). При цьому кожний варіант СММЗ ϕ відображається з множини допустимих рішень Φ_δ у критеріальний простір оцінок $V \in R^m$

$$V = \vec{K}(\Phi_\delta) = \{ \vec{v} \in R^m \mid \vec{v} = (k_1(\phi), k_2(\phi), \dots, k_m(\phi)), \phi \in \Phi_\delta \}. \quad (2)$$

Оптимуму за безумовним критерієм переваги – критерієм Парето в критеріальному просторі відповідає підмножина Парето-оптимальних оцінок $P(V) = opt_{\succeq} V$, які відповідають варіантам мережі, що не домінуються, за відношенням строгої переваги \succ . Варіант мережі ϕ^o включається у підмножину Парето-оптимальних рішень (і відповідно для оцінок – $\vec{v} = \vec{k}(\phi^o) \in P(V) = opt_{\succeq} V$), якщо на множині допустимих варіантів Φ_δ не існують інші варіанти системи ϕ , для яких виконується векторна нерівність

$$\vec{k}(\phi) \geq \vec{k}(\phi^o). \quad (3)$$

В методі дискретного вибору послідовно виконується порівняння всіх варіантів мережі згідно (3) і на множині Φ_δ виділяють підмножину Парето-оптимальних варіантів мережі. Ці варіанти називаються також негіршими – недомінуємими варіантами. Інші варіанти системи є безумовно гіршими. Знаходження Парето-оптимальних проектних рішень може виконуватися або безпосередньо згідно (3), або з використанням спеціальних методів. Зокрема, розглянуто ваговий метод, метод робочих характеристик, метод послідовних поступок та інші. В цих методах вирішення багатокритеріальної оптимізаційної задачі зводиться до вирішення деякої множини скалярних оптимізаційних задач.

В результаті Парето-оптимізації – знаходження Парето-оптимальних проектних рішень також оцінюються багатомірні потенціальні характеристики (БПХ) мережі. БПХ визначаються потенційно найкращі значення кожного із показників якості, що можуть бути досягнуті при фіксованих значеннях інших показників якості. Окрім того, отримуються багатомірні діаграми обміну показників якості, що показують як потенційні значення одних показників залежать від значень інших показників якості. Ці характеристики відіграють важливе значення при проектуванні оптимальних СММЗ.

Звуження підмножини Парето до єдиного варіанта мережі. З метою вибору одного проектного рішення для подальших етапів проектування необхідно виконати звуження підмножини Парето-оптимальних рішень до єдиного варіанта мережі. Це вимагає залучення додаткової інформації для побудови умовного критерію переваги, що з'являється в результаті всебічного аналізу Парето-оптимальних варіантів мережі та отриманих БПХ, БДО показників якості. Ця інформація використовується для побудови деякої скалярної цільової функції, оптимізація якої приводить до вибору єдиного варіанта системи. Розглянуто різні методи звуження підмножини Парето-оптимальних рішень, що засновані на побудові скалярної функції цінності, на використанні теорії розмитих множин, на лексикографічному підході до порівняння варіантів мереж.

Розглянуті методи формування множини допустимих варіантів побудови СММЗ, знаходження Парето-оптимальних проектних рішень та звуження підмножини Парето до єдиного проектного рішення використані при вирішенні задач дискретного вибору оптимальних проектних варіантів на етапі номінального планування радіомережі та планування транспортної мережі мобільного зв'язку.

Третій розділ присвячено вибору оптимальних проектних варіантів радіомережі на номінальному етапі планування СММЗ методами багатокритеріальної оптимізації.

Проаналізовані особливості планування радіомереж мобільного зв'язку другого та третього покоління стандартів GSM та UMTS. Обґрунтовані вибір та методика розрахунку показників якості, що характеризують радіомережі мобільного зв'язку. Поставлена та вирішена практична задача вибору оптимальних варіантів радіомережі з урахуванням сукупності показників якості на етапі номінального планування СММЗ.

Сформована множина зі 100 допустимих варіантів радіомережі мобільного зв'язку стандарту GSM, які визначаються різними вихідними даними, зокрема, це запланована кількість абонентів у мережі; розміри обслуговуємої території; активність абонентів; виділена для організації мережі ширина смуги частот; припустима ймовірність блокування виклику; відсоток часу погіршення якості зв'язку.

При оптимізації радіомережі були обрані такі показники якості СММЗ як імовірність помилки, ємність мережі, кількість базових станцій у мережі, ефективність використання радіочастотного спектра, імовірність блокування, площа покриття. При оцінюванні показників якості були розраховані основні технічні параметри СММЗ.

Методом дискретного вибору згідно (3) виконано пошук підмножини Парето-оптимальних проектних рішень (негірших варіантів мереж) у критеріальному просторі оцінок введених показників якості (1). Єдиний варіант побудови радіомережі із підмножини Парето-оптимальних був обраний за умови екстремуму скалярної функції цінності у вигляді зваженої суми показників якості

$k_p = \sum_{i=1}^m c_i k_i$. Цей варіант мережі характеризується наступними параметрами:

площа обслуговуємої території – 150 кв.км; допустима імовірність блокування виклику – 0,02; щільність обслуговування – 466 акт. абон./кв. км; кількість обслуговуваних однією БС абонентів – 41; ефективність використання радіочастотного спектру – $1,22 \cdot 10^{-3}$ акт. абон./Гц; імовірність помилки – $5,277 \cdot 10^{-7}$.

У критеріальному просторі знайдено відповідну Парето-оптимальну поверхню оцінок, що описується співвідношеннями

$$k_{1opt} = f_{no}^1(k_2, k_3, \dots, k_m), \dots, k_{mopt} = f_{no}^m(k_1, k_2, \dots, k_{m-1}). \quad (4)$$

Кожна точка Парето-оптимальної поверхні має властивість m -кратного узгодженого оптимуму по Парето, тобто цій точці відповідає потенційно досяжне значення одного з показників k_{iopt} при фіксованих значеннях інших $(m-1)$ показників якості.

Співвідношення (4) також визначає багатомірні діаграми обміну суперечливих показників якості. Отримані БДО деяких показників якості, що мають суперечливий характер, представлені на рис. 1.

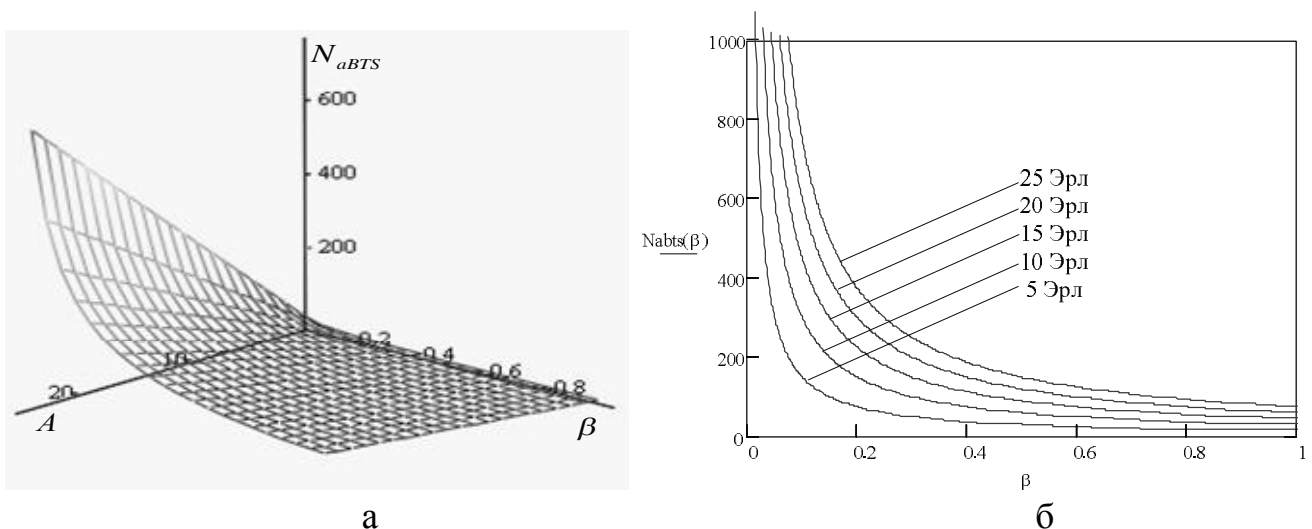


Рис. 1. Тримірна (а) та двомірна (б) діаграми обміну показників якості (числа абонентів, що обслуговуються однією базовою станцією, навантаження, активності абонентів) для радіомережі стандарту GSM

На рис. 2 наведено відображення множини допустимих варіантів радіомережі мобільного зв'язку у двомірному критеріальному просторі нормованих значень деяких показників якості. Білими точками виділені варіанти

мережі, що входять до підмножини Парето для кожного випадку. Фактично перехід від однієї такої точки до іншої являє собою БДО введених показників якості мережі.

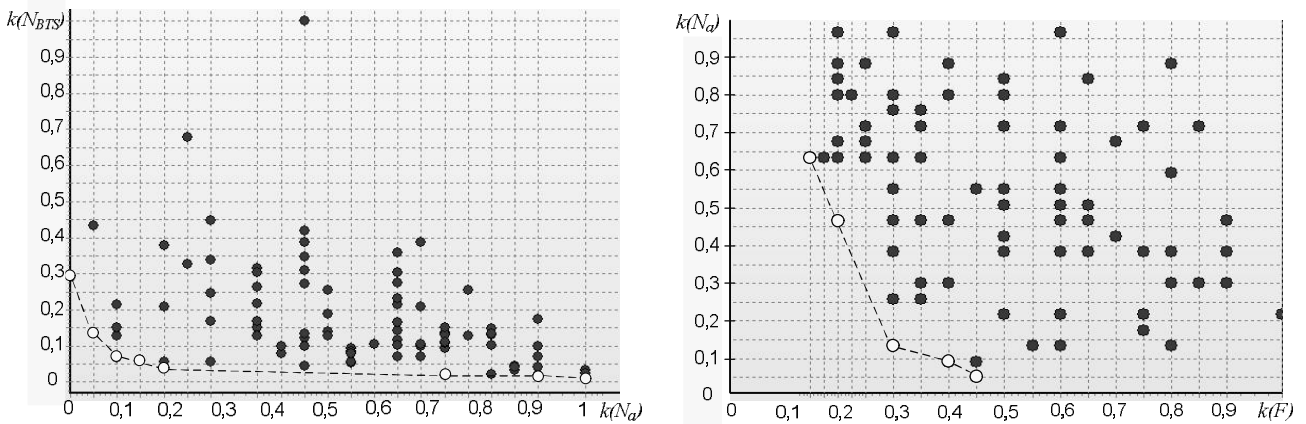


Рис. 2. Відображення допустимих варіантів радіомережі у критеріальному просторі нормованих оцінок різних показників якості

Також розглянуто особливості вирішення задачі оптимізації радіомережі за сукупністю показників якості на номінальному етапі планування для СММЗ третього покоління стандарту UMTS.

Сформована множина допустимих варіантів СММЗ стандарту UMTS, які визначаються різними вихідними даними. Розраховані необхідні параметри мереж та показники якості радіомережі: ймовірність блокування (відмови в обслуговуванні) $P_{\text{бл}}$, щільність обслуговуємих абонентів N_a/S_0 та необхідна кількість базових станцій N_{BTS} . Множина допустимих варіантів відображена у критеріальному просторі оцінок показників якості, де методом дискретного вибору згідно (3) виділена підмножина Парето-оптимальних варіантів. З підмножини Парето-оптимальних варіантів мережі за допомогою лексикографічного підходу вибрано єдиний варіант мережі. При цьому було виконано строге упорядкування показників якості за їх важливістю. Цей варіант радіомережі характеризується наступними даними: $P_{\text{бл}} = 0,02$, $N_a/S_0 = 183$ аб./км², $N_{\text{BTS}} = 18$.

Для вибору оптимальних проектних варіантів мереж на основі теорії багатокритеріальної оптимізації був розроблений програмний комплекс, який реалізує основні етапи вибору оптимального варіанту мережі з урахуванням сукупності показників якості. Програмний комплекс складається із двох частин, які вирішують наступні завдання:

- задання вихідних даних і оцінювання значень сукупності вибраних показників якості для деякої допустимої множини варіантів мережі (програма реалізована в середовищі MathCad);

- знаходження підмножини Парето-оптимальних варіантів мережі у критеріальному просторі оцінок показників якості та звуження підмножини Парето до єдиного варіанта мережі (програма реалізована в середовищі Delphi).

Програмний комплекс може бути використаний для автоматизації проектування, що дає можливість скоротити терміни та витрати на планування стільникових мереж мобільного зв'язку.

Четвертий розділ присвячено вибору оптимальних топологій з урахуванням сукупності показників якості на етапі планування транспортної мережі мобільного зв'язку.

Розглянуто особливості процесу планування транспортних мереж мобільного зв'язку та практичні складності проведення багатокритеріальної оптимізації при плануванні транспортних мереж.

У відомих підходах до планування транспортної мережі оптимізація топології мережі передачі проводиться по скалярному показнику якості, що враховує зокрема, довжину, вартість ребра мережі. З урахуванням при оптимізації більш ніж одного показника якості з'являються складності, тому що ряд показників якості мережі залежать не тільки один від одного, але й від вибраної топології мережі.

Запропоновано методи вибору оптимальних топологій транспортної мережі мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості на основі основних положень теорії багатокритеріальної оптимізації.

Вихідними даними для транспортної мережі є інформація про структуру радіомережі, отриманої на попередніх етапах її планування, зокрема, розташування базових станцій, базових контролерів і центру комутації, довжини можливих прольотів (відстані між вузлами мережі), їхні вартісні характеристики, необхідну пропускну здатність та інші дані.

При цьому визначаються та відкидаються прольоти, де немає радіовидимості або існують які-небудь причини, що перешкоджають можливості побудови лінії зв'язку на цих ділянках.

Для оцінювання транспортних мереж вводяться показники якості, що враховують: довжину радіорелейних прольотів; загальну довжину мережі; кількість прольотів у ланцюзі; вартісні характеристики прольотів (вартість будівельних робіт, вартість оренди існуючих ліній, вартість устаткування й ін.); використовувану та резервну пропускну здатність; надійність прольоту; швидкість передачі; використовуєму смугу частот; імовірність помилкової передачі біта (BER) та ін.

При формуванні допустимої множини варіантів топології транспортної мережі вважається, що кожний проліт і транспортна мережа в цілому характеризуються деякою сукупністю показників якості (1). Але спочатку пропонується використовувати скорочену сукупність показників якості, які не залежать від самої топології транспортної мережі

$$\vec{k}(\phi) = (k_1(\phi), k_2(\phi), \dots, k_n(\phi)) \quad (n \leq m). \quad (5)$$

Далі вводиться узагальнений показник якості кожного прольоту у вигляді зваженої суми обраних показників якості

$$k_{\text{обобщ}} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot k_i, \quad (6)$$

де c_i – деякі вагові коефіцієнти, що характеризують важливість кожного показника якості (причому $\sum_{i=1}^n c_i = 1$).

У припущенні, що кожний проліт транспортної мережі характеризується скалярним показником якості (6), за допомогою одного з відомих алгоритмів (Прима, Краскала) знаходиться найкоротше дерево для транспортної мережі. При виборі різних допустимих комбінацій вагових коефіцієнтів c_i , знаходиться деяка множина допустимих варіантів дерев мережі, що визначають різні топології транспортної мережі.

На етапі знаходження підмножини Парето-оптимальних варіантів топологій транспортної мережі для кожного допустимого варіанта топології оцінюються значення повної сукупності показників якості транспортної мережі (1). Таким чином кожний варіант допустимої топології транспортної мережі представляється в критеріальному просторі оцінок показників якості, де знаходиться підмножина Парето-оптимальних варіантів топології транспортної мережі, які відповідають недомінуемим варіантам згідно (3).

На заключному етапі вибирається єдиний варіант топології з підмножини Парето-оптимальних із застосуванням одного з методів звуження підмножини Парето.

Отримано результати вирішення задачі оптимізації топології транспортної мережі за двома показниками якості: показника неготовності та відносної вартості транспортної мережі. Для плану радіомережі, що містить 26 базових станцій (BTS) та 1 базовий контролер (BSC) запропонованим методом сформована множина допустимих варіантів топологій транспортної мережі.

Для кожної із топологій транспортної мережі знайдені оцінки введених показників якості: коефіцієнта неготовності та відносної вартості. У критеріальному просторі оцінок виділена підмножина Парето-оптимальних варіантів топологій. На рис. 3 наведено Парето-оптимальні варіанти топологій транспортної мережі, знайдені методом дискретного вибору згідно (3).

Інші допустимі варіанти топологій є безумовно гіршими за критерієм Парето. Серед підмножини Парето-оптимальних кожен варіант топології транспортної мережі може бути вибраний для подальшого планування, оскільки вони є незрівняними згідно (3).

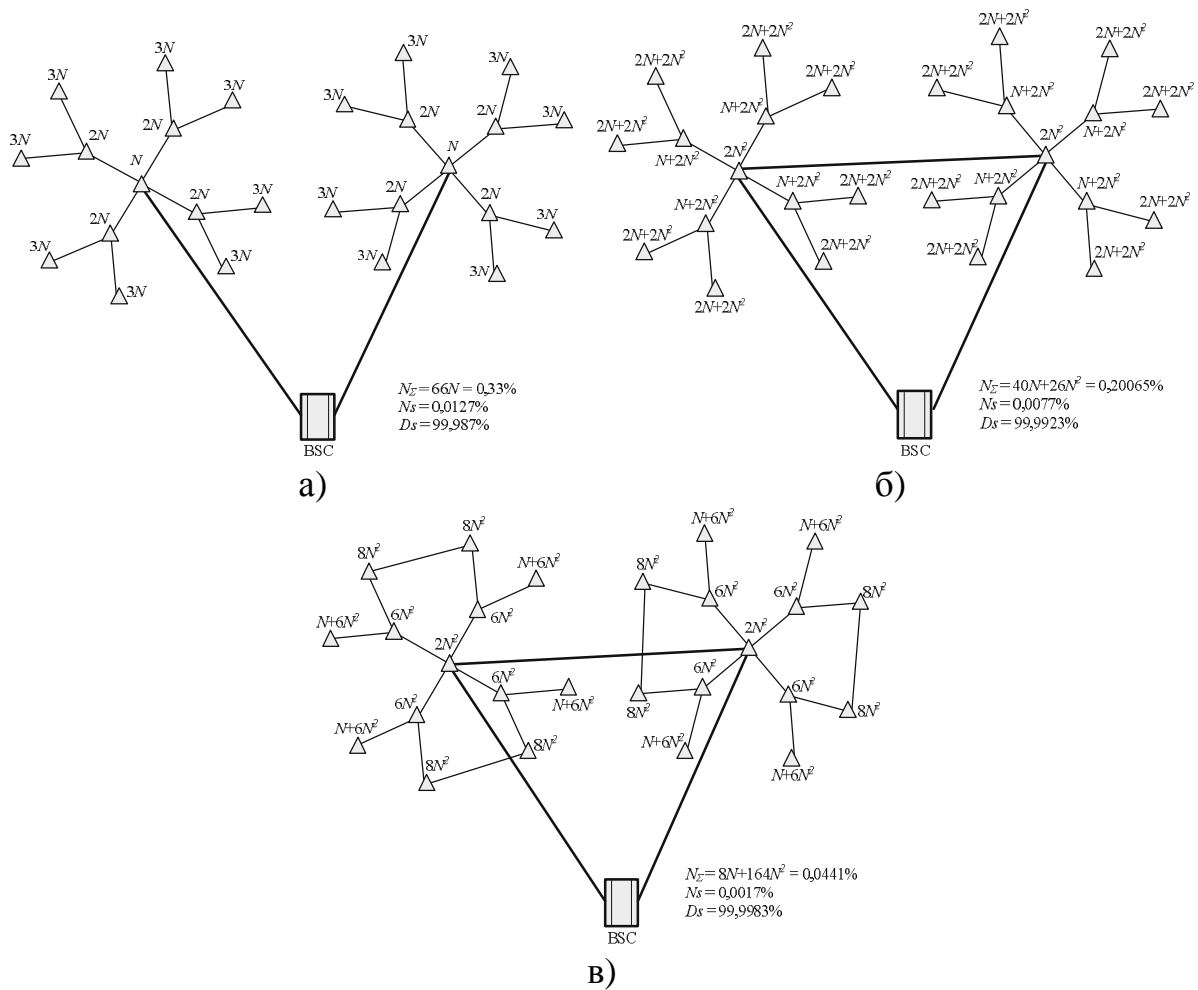


Рис. 3. Парето-оптимальні варіанти топологій транспортної мережі

Оскільки має місце швидкий розвиток СММЗ для підвищення ефективності планування мереж необхідно використовувати прогностичні значення навантаження на мережу, що плануються з урахуванням зростаючого з часом навантаження. Це визначає важливість прогнозування мережевого трафіку.

Проведено дослідження можливостей прогнозування мережевого трафіку з використанням побудованої моделі лінійного передбачення. Ця модель модернізована з урахуванням добових та тижневих періодичностей та зростаючого тренду реального трафіку (рис. 4, 5). Дослідження проведені на реальних вибірках різних типів мережевого трафіку, що були отримані в мережі мобільного зв'язку третього покоління оператора PeopleNet.

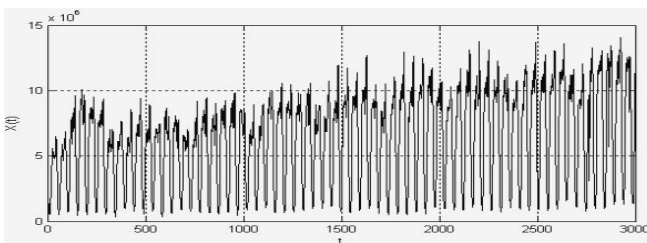


Рис. 4. Трафік передачі даних, отриманий через кожні 30 хвилин

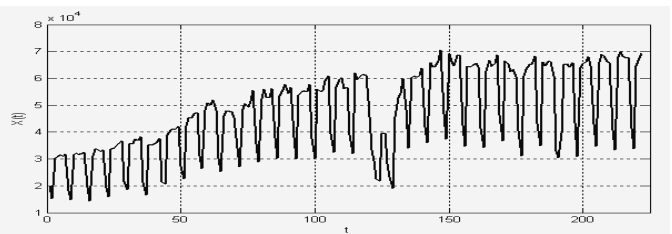


Рис. 5. Трафік передачі даних, просумований за кожну добу (222 доби)

Для побудови моделі лінійного передбачення використовуються статистичні характеристики стаціонарних даних, тому необхідно усунути тренд і сезонні коливання. Повна модель нестационарного процесу, яка може бути використана для прогнозування, буде мультиплікативно включати моделі стаціонарної, трендової та сезонної складової.

З метою виключення сезонної складової застосовувався спрощуючий оператор взяття різниці $\nabla_s = 1 - z^{-s}$, де z^{-s} - оператор зсуву $z^{-s}x[t] = x[t - s]$.

Для усунення добової періодичності оператор має вигляд

$$\omega_1[t] = \nabla_s x[t] = x[t] - x[t - 48]. \quad (7)$$

Для усунення тижневої періодичності використовувався оператор ∇_s , $s = 336 = 48 \times 7$.

Для усунення тренду застосовувався оператора взяття різниці

$$\omega[t] = \nabla^d x[t] = (1 - z)^d x[t], \quad (8)$$

де d - порядок стаціонарних приростів процесу (для лінійного тренда $d = 1$, для квадратичного тренду $d = 2$).

Різницеве рівняння, яке застосовується для прогнозу на момент t на l кроків

$$x[t + l] = (\Phi + 1)x[t + l - 1] - \Phi x[t + l - 2] + x[t + l - 48] - (\Phi + 1)x[t + l - 49] + \Phi x[t + l - 50] + a[t + l], \quad (9)$$

де Φ - параметр моделі, що оцінюється по реальним даним попереднього спостереження трафіку.

На основі побудованої моделі лінійного передбачення було проведено прогнозування мережевого трафіку. Частина вибірок була використана для побудови і оцінювання параметрів моделі, а друга частина вибірок - для перевірки адекватності моделі прогнозування. На рис. 6 представлені деякі результати досліджень короткострокового та довгострокового прогнозування мережевого трафіку на основі побудованої моделі лінійного передбачення.

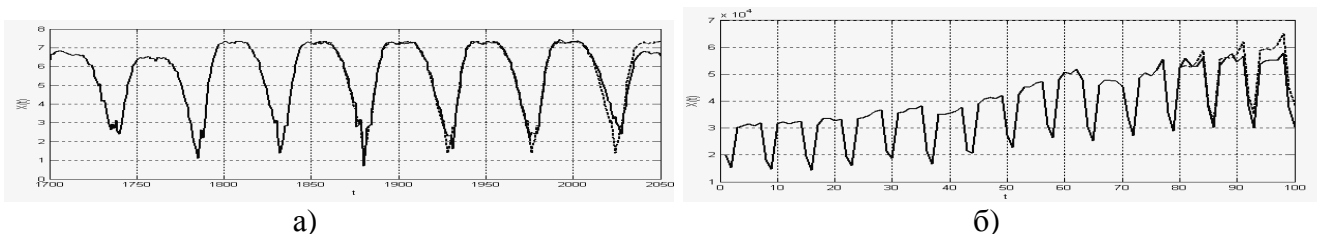


Рис. 6. Короткострокове (а) та довгострокове (б) прогнозування мережевого трафіку

Отримано залежності нормованої середньоквадратичної похибки прогнозування від глибини прогнозу для випадків короткострокового та довгострокового прогнозування різних типів мережевого трафіку. На рис. 7 наведена одна з вказаних залежностей.

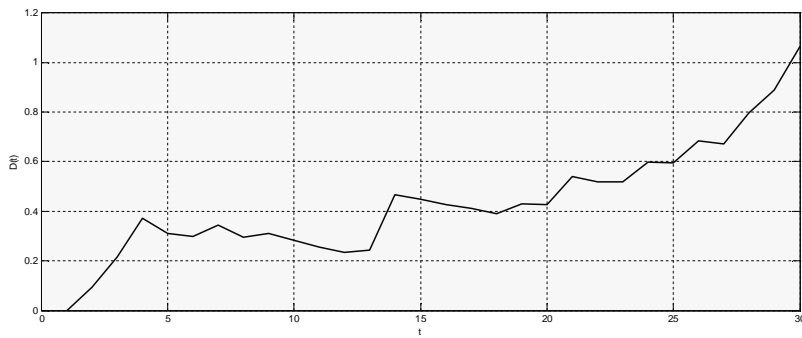


Рис. 7. Залежність нормованої похибки прогнозування трафіку передачі даних від глибини прогнозу

У висновках наведено наукові результати досліджень і сформульовані загальні практичні висновки по роботі.

У додатках наведені таблиці з розрахунковими даними по другому розділу. Додатки включають також акти про впровадження результатів роботи.

ВИСНОВКИ

В результаті дисертаційних досліджень отримано вирішення актуальної науково-прикладної задачі вибору оптимальних за сукупністю показників якості проектних варіантів радіомережі та транспортної мережі на етапі номінального планування стільникових мереж мобільного зв'язку, відмінною особливістю якого є знаходження Парето-оптимальних проектних варіантів. Це дає можливість строго врахувати на формалізованому рівні сукупність суперечливих вимог до мереж та оцінити багатомірні потенційні характеристики мереж і багатомірні діаграми обміну показників якості, а також виключити безумовно гірші варіанти побудови СММЗ і зменшити число перепланувань на етапі експлуатації СММЗ. При цьому були отримані наступні результати.

Наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод вибору оптимальних проектних варіантів радіомережі мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості на етапі номінального планування СММЗ, який відрізняється знаходженням підмножини Парето-оптимальних варіантів та виключенням безумовно гірших варіантів радіомереж.

Сформована множина допустимих варіантів побудови радіомережі мобільного зв'язку, яка на етапі номінального планування визначається різними значеннями основних параметрів мережі, зокрема, розміром території, що обслуговується, кількістю абонентів, виділеною смугою частот, ймовірністю блокування, відсотком часу погіршення якості зв'язку, активністю абонентів. Знайдено оцінки вибраних показників якості СММЗ і в критеріальному просторі їх оцінок за безумовним критерієм переваги виділена підмножина Парето-оптимальних варіантів та виключені безумовно гірші варіанти мережі. При цьому отримані багатомірні потенційні характеристики і багатомірні діаграми обміну показників якості. Далі з введенням умовного критерію переваги на множині Парето-оптимальних варіантів вибрано єдиний проектний варіант СММЗ для подальшого етапу детального планування.

2. Вперше запропоновано метод вибору оптимальних топологій транспортної мережі мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості при плануванні СММЗ, який відрізняється знаходженням підмножини Парето-оптимальних варіантів та виключенням безумовно гірших варіантів топологій транспортних мереж.

Сформована множина допустимих проектних варіантів топологій транспортної мережі, що визначаються різною структурою і параметрами мережі, яка з'єднує базові станції та контролери управління радіомережі. У критеріальному просторі оцінок показників якості транспортної мережі виключені безумовно гірші варіанти і отримана підмножина Парето-оптимальних проектних варіантів транспортної мережі, кожен з яких може бути використано при побудові транспортної мережі мобільного зв'язку.

3. Отримав подальший розвиток метод прогнозування мережевого трафіку при плануванні СММЗ, який відрізняється використанням моделі лінійного передбачення, модернізованої з урахуванням нестаціонарності реального трафіку.

Оскільки реальний трафік мережі має нестаціонарний характер, що визначається добовими і тижневими періодичними коливаннями, а також трендом, побудована модернізована модель лінійного передбачення за реальними вибірками мережевого трафіку. Спочатку були виключені періодичні сезонні (добові та тижневі) складові та тренд, а потім знайдені оцінки параметрів моделі. Після цього синтезована повна модель нестаціонарного процесу, яка мультиплікативно включає моделі стаціонарної, сезонної та трендової складової. Отримана модель лінійного передбачення була досліджена на реальних даних з метою короткострокового і довгострокового прогнозування мережевого трафіку.

Практичні результати:

1. Вирішені задачі вибору оптимальних проектних рішень з використанням методів багатокритеріальної оптимізації при плануванні стільникових мереж мобільного зв'язку на різних етапах: на етапі номінального планування радіомережі та на етапі планування транспортної мережі. В результаті запропоновані практичні рекомендації щодо використання методів багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимальних проектних рішень при плануванні СММЗ з урахуванням сукупності показників якості. Використання запропонованих методів вибору оптимальних проектних рішень з урахуванням сукупності показників якості дасть можливість зменшити число перепланувань при експлуатації СММЗ.

2. Розроблено спеціалізований програмний комплекс, який програмно реалізує запропонований метод вибору оптимальних проектних рішень з урахуванням сукупності показників якості. Програмний комплекс є основою автоматизованого проектування СММЗ, відмінною особливістю якого є застосування математичних методів і програмних засобів ЕОМ при плануванні СММЗ. Використання запропонованої технології автоматизованого проектування дозволить скоротити терміни і вартість проектування СММЗ. Програмний комплекс може увійти до складу існуючих комплексів планування СММЗ.

3. Основні результати дисертаційної роботи використані при виконанні НДР № 201 і НДР № 240-5, а також в навчальному процесі на кафедрі «Мережі

зв'язку» Харківського національного університету радіоелектроніки, що підтверджено відповідними актами про впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Bezruk V.M. Multicriterion optimization in telecommunication networks planning, designing and controlling / V.M. Bezruk, A.N. Bukhanko, D.V. Chebotareva, V.V. Varich // Open Book “Telecommunications Networks”. - Chapter 11. – Rijeka: INTECH, 2012. – P. 251 – 274.

2. Безрук В.М. Современные технологии автоматизации планирования сетей радиосвязи. Часть 1. Методы выбора проектных решений, оптимальных по совокупности показателей / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 6/3 (30). – С. 9 – 13.

3. Безрук В.М. Современные технологии автоматизации планирования сетей радиосвязи. Часть 2. Программные средства многокритериальной оптимизации сетей радиосвязи. / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва, А.В. Анищенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 1/2 (31). – С. 32 – 36.

4. Чеботарёва Д.В. Применение методов многокритериальной оптимизации при планировании сетей сотовой связи / Д.В. Чеботарёва, В.М. Безрук // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2008. – № 618. – С. 117 – 126.

5. Чеботарёва Д.В. Оптимизация планирования транспортных сетей сотовой связи с учетом совокупности показателей качества/ Д.В. Чеботарёва, В.М. Безрук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 4/3 (34). – С. 35 – 39.

6. Безрук В.М. Математические модели сетевого трафика мобильной связи третьего поколения / В.М. Безрук, В.А. Тихонов, Н.В. Кудрявцева, Д.В. Чеботарева // Комп'ютерні технології друкарства: збірник наукових праць. – Львів, 2011. – № 27. – С. 194 – 207.

7. Безрук В.М. Применение методов многокритериальной оптимизации в планировании, проектировании и управлении телекоммуникационных сетей / В.М. Безрук, А.Н. Буханько, Д.В. Чеботарева, В.С. Варич, Ю.В. Скорик // Проблемы телекомунікацій. – 2012. – № 2 (7). – С. 9 – 15.

8. Bezruk V.M. Automatic control of Radio Communication Networks Design / V.M. Bezruk, D.V. Chebotaryova, A.V. Anishchenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2009. – Vol. 68. Numb. 5. – P. 429 – 444.

9. Чеботарёва Д.В. Оптимизация сетей мобильной связи третьего поколения на номинальном этапе планирования / Д.В. Чеботарёва // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/9 (57). – С. 32 – 35.

10. Рибалко Д.В. Оцінювання ефективності варіантів мереж мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості / Д.В. Рибалко // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених „Молодь та сучасні проблеми радіотехніки РТ – 2006”, 17 – 21 квітня 2006 р. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2006. – С.50.

11. Рибалко Д.В. Планування мереж стільникового зв'язку при векторному критерії оптимальності / Д.В. Рибалко // Зб. матеріалів 11-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.». – Харків: ХНУРЕ, 2007. – Ч.1. – С.148.

12. Рибалко Д.В. Парето-оптимізація при плануванні мереж стільникового зв'язку. / Д.В. Рибалко, В.М. Безрук // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів» пам'яті професора Купченка Ю.П. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – С.153 – 155.

13. Bezruk V.M. Automation of Communication Systems Design / V.M. Bezruk, D.V. Rybalko // Міжнародна конференція „IEEE Східно-західний проект & TEST WORKSHOP EWDTW'07”. – Єрван, 2007. – С.581 – 584.

14. Безрук В.М. Багатокритеріальна оптимізація в плануванні телекомунікаційних мереж / В.М. Безрук, Д.В. Рибалко // Матеріали 17-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2007), 10 – 14 сентября 2007 г. – Севастополь: Вебер, 2007. – С.338-340.

15. Чеботарёва Д.В. Оптимизация топологии сетей мобильной связи с учетом совокупности показателей качества / Д.В. Чеботарёва // Матеріали 4-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (РТ-2008), 21–25 апреля 2008г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – С.43.

16. Безрук В.М. Многокритериальная оптимизация проектных решений методом раб очих характеристик при планировании сетей мобильной связи / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Матеріали Международной конференции «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций, компьютерной инженерии» (TCSET'2008), Львов-Славсько, 19 – 23 февраля 2008г. – Львов: Изд-во Нац. Университета «Львовская политехника», 2008. – С.412 – 413.

17. Безрук В.М. Многокритериальная оптимизация планирования транспортной сети сотовой связи / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Сборник научных трудов 3-го Международного Радиоэлектронного Форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008. Том II. Международная конференция «Телекоммуникационные системы и технологии». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЕ, 2008. – С.29 – 32.

18. Chebotareva D.V. Optimization of Planning Mobile Communication Networks by the Quality Indicators Totality / D. Chebotareva, I. Bondar, A. Anishchenko // IX International Electronics and Telecommunication Conference of Students and Young Scientists, Warsaw, Poland, 10 – 12 March 2009. – С.15.

19. Chebotareva D.V. Optimization of a Transport Cellular Communication Networks on Aggregate of Quality Indicators Totality / D. Chebotareva, R. Gorbenko // IX International Electronics and Telecommunication Conference of Students and Young Scientists, Warsaw, Poland, 10 – 12 March 2009. – С.16.

20. Bezruk V.M. Modelling And Forecasting Of The Traffic In Mobile Communication Network / V.M. Bezruk, D.V. Chebotaryova // Збірник тез Міжнародного науково-технічного симпозіуму «Новітні технології в телекомунікації» ДУІКТ-КАРПАТИ, 17 – 21 січня 2012 р. – С.20 – 22.

21. Bezruk V.M. Models of the Traffic in Mobile Communication Network / V.M. Bezruk, D.V. Chebotaryova // Материалы XI Международной конференции TCSET'2012 «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций, компьютерной инженерии», Львов-Славьско, 21 – 24 февраля 2012г. – Львов: Изд-во Национального Университета «Львовская политехника», 2012. – С.255.

22. Чеботарёва Д.В. Многокритериальная оптимизация в планировании сетей мобильной связи третьего поколения / Д.В. Чеботарёва // 8-я Международная молодежная научно-техническая конференция “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012”. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – С. 152.

23. Bezruk V. Distance Learning in Communication Systems Automated Designing / V. Bezruk, A. Bukhanko, D. Chebotaryova // 2nd World Conference on Educational Technology Research (2012). – Lefkosa, North Cyprus, 2012. – P. 24 – 28.

АНОТАЦІЯ

Чеботарьова Дарія Василівна. Планування та оптимізація мереж мобільного зв'язку з урахуванням сукупності показників якості. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2012.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі вибору оптимальних за сукупністю показників якості проектних варіантів радіомережі та транспортної мережі на етапі номінального планування стільникових мереж мобільного зв'язку, відмінною особливістю якого є знаходження Парето-оптимальних проектних варіантів.

Вперше запропоновано використання методів багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимальних проектних варіантів на етапі номінального планування радіомережі мобільного зв'язку та на етапі планування транспортної мережі мобільного зв'язку, що дає можливість строго врахувати на формалізованому рівні сукупність суперечливих вимог до СММЗ, оцінити багатомірні потенційні характеристики мереж і багатомірні діаграми обміну показників якості, а також виключити безумовно гірші варіанти побудови СММЗ і зменшити число перепланувань в процесі експлуатації СММЗ.

Розроблено спеціалізований програмний комплекс, що програмно реалізує запропоновані методи вибору оптимальних проектних рішень з урахуванням сукупності показників якості. Це дає можливість проводити автоматизоване проектування стільникової мережі мобільного зв'язку, що скорочує тривалість та вартість планування.

Запропоновано метод короткострокового і довгострокового прогнозування мережевого трафіку при плануванні СММЗ, який відрізняється використанням удосконаленої моделі лінійного передбачення з урахуванням нестационарності мережевого трафіку.

Ключові слова: стільникова мережа мобільного зв'язку, сукупність показників якості, багатокритеріальна оптимізація, номінальний етап планування,

детальне планування, транспортна мережа, Парето-оптимальна множина, прогнозування.

АННОТАЦИЯ

Чеботарева Дарья Васильевна. Планирование и оптимизация сетей мобильной связи с учетом совокупности показателей качества. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков. 2012.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи планирования и оптимизации сотовых сетей мобильной связи (ССМС) с учетом совокупности показателей качества на основе использования методов многокритериальной оптимизации, что позволяет строго учесть на формализованном уровне совокупность противоречивых требований к сети, оценить многомерные потенциальные характеристики сетей и многомерные диаграммы обмена показателей качества, а также исключить безусловно худшие варианты построения ССМС и уменьшить число перепланировок в процессе эксплуатации ССМС.

Впервые предложен метод выбора оптимальных проектных вариантов построения радиосети мобильной связи с учетом совокупности показателей качества на этапе номинального планирования ССМС, которые отличаются использованием основных положений теории многокритериальной оптимизации.

Впервые предложен метод выбора оптимальных топологий транспортной сети мобильной связи с учетом совокупности показателей качества при планировании ССМС, которые отличаются использованием основных положений теории многокритериальной оптимизации.

Получил дальнейшее развитие метод прогнозирования сетевого трафика при планировании ССМС, который отличается использованием модели линейного предсказания, модернизированной с учетом нестационарности реального трафика.

В результате решения задач выбора оптимальных проектных вариантов на основе методов многокритериальной оптимизации при планировании радиосети и транспортной сети мобильной связи предложены практические рекомендации по выбору оптимальных проектных вариантов ССМС с учетом совокупности показателей качества.

Разработан специализированный программный комплекс, который программно реализует предложенные методы выбора оптимальных проектных вариантов с учетом совокупности показателей качества на номинальном этапе планирования ССМС. Программный комплекс может войти в состав существующих программно-аппаратных комплексов планирования ССМС.

Предложенные в диссертационной работе методы и разработанный программный комплекс выбора оптимальных проектных решений с учетом совокупности показателей качества составляют основу автоматизированного проектирования ССМС, характерной особенностью которого является применение математических методов и программных средств ЭВМ при выборе

оптимальных проектных вариантов, что дает возможность сокращения длительности и стоимости планирования ССМС.

Основные научные и практические результаты работы использованы при выполнении НИР и в учебном процессе кафедры «Сети связи» Харьковского национального университета радиозлектроники, что подтверждено двумя актами внедрения.

Ключевые слова: сотовая сеть мобильной связи, совокупность показателей качества, многокритериальная оптимизация, номинальный этап планирования, детальное планирование, транспортная сеть, Парето-оптимальное множество, прогнозирование.

ABSTRACT

Chebotareova Daria Vasylyevna. The planning and optimization of the mobile network with taking into account the total of quality parameters. - Manuscript.

Ph. D. thesis in Engineering Science, speciality 05.12.02 – telecommunication systems and networks. Kharkiv National University of Radioelectronics. Kharkiv. 2012.

The thesis is aimed to solve the relevant scientific and applied problem of planning and optimization of cellular mobile connection networks (CMCN) along with taking into account the complex of quality parameters based on the application of multicriterial optimization methods.

The application of multicriterial optimization for the selection of optimal project variants on the nominal planning stage for mobile connection radio network development was proposed for the first time. Such an approach allows to perform an exact account of the array of contradicting demands on the strictly formalized level and evaluate the multi-dimensional potential network characteristics and parameters exchange diagrams, as well as eliminate the definitely inadequate variants of mobile connection network development and decrease the amount of cellular mobile connection networks reconfigurations.

A specialized programming complex was developed that carries out the proposed methods of optimal project solution selection with taking into account the complex of quality parameters. The program represents a technology for automatized planning on the nominal development stage for mobile connection cellular networks. This makes it possible to development an automated mobile connection cellular network, which reduces the duration and cost planning.

Method for prognosis of network traffic during the CMCN planning whose distinguishing feature is an application of the upgraded model of linear insight.

Keywords: mobile connection cellular network, quality parameters complex, multicriterial optimization, nominal stage planning, detailed planning, transport network, Pareo-optimal array, prognosis.

Підп. до друку 5.09.12. Формат 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,1. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-756. Ціна договірна.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Леніна, 14