

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**БАХОВСЬКИЙ ПЕТРО ФЕДОРОВИЧ**

УДК 621.391:621.317; 621.391:658.62.018.012

**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СЕРВІСУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ  
ВІРТУАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ФУНКЦІЙ В МОБІЛЬНИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

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

**Харків – 2009**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному підприємстві «Український науково-дослідний інститут зв'язку» Міністерства транспорту і зв'язку України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор  
**Віноградов Микола Анатолійович**  
Національний авіаційний університет МОН  
України (м. Київ),  
професор кафедри комп'ютерних інформаційних  
технологій (Інститут комп'ютерних технологій )

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Сорока Леонід Степанович**  
Харківський національний університет  
ім. В. Н. Каразіна,  
декан факультету комп'ютерних наук

кандидат технічних наук, доцент  
**Северінов Олександр Васильович**  
Харківський університет повітряних сил  
ім. Івана Кожедуба,  
доц. каф. математичного програмного  
забезпечення АСУ

Захист відбудеться *20 січня 2010 р.* о 14 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий *18 грудня 2009 р.*

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01

С. І. Приходько

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасний період розвитку мереж мобільного зв'язку активно розробляються та впроваджуються нові додаткові види обслуговування. Операторам необхідно зберігати ті сервіси, які у існуючих абонентів набули достатнього попиту, забезпечувати усім спектром якісних послуг тих абонентів, які пересуваються не тільки всередині своєї мережі, але й в мережах інших операторів. При цьому потребують підтримки ті функції у гостьових (візитних мережах), до яких абоненти звикли у своїх (домашніх) мережах. У той же час склад обладнання та обсяги апаратної реалізації функцій обслуговування в мережах різних операторів можуть суттєво різнитися. Очевидним і найбільш прийнятним методом розв'язання даного протиріччя є програмна реалізація функцій послуг, що існують та/або впроваджуються вперше.

Такий підхід отримав назву "віртуальне домашнє оточення" та знайшов розвиток у концепції віртуальних технічних функцій (*VTF*). Саме цю концепцію покладено в основу дисертаційного дослідження.

Широке коло питань, пов'язаних з описом протоколів та стандартів мобільного зв'язку, дослідженням їх характеристик, концепцій розвитку та розгортання мереж нових поколінь, розглядається в роботах російських і вітчизняних учених Ю. А. Громакова, Ю.М. Горностаєва, Л. М. Невдяєва, В. В. Афанасьєва, М.І. Подопрігалова, Б.С. Гольдштейна, В.І. Данілова, Н.С. Чагаєва, І.М. Єхрієля, Р.Д. Рерле, О.О. Вітченка. Крім того, цьому питанню приділяли увагу такі зарубіжні учені, як М. Torabi, R. Buhrke, D. MacDonald, J. Yan та ін.

Однак в літературі в основному зустрічаються посилання на дослідження загального характеру, які потребують конкретизації стосовно концепції віртуальних технічних функцій. Кількісні результати майже не наводяться або даються без досить детального опису умов роботи та характеристик мережі, без порівняльного аналізу.

Вирішення задачі вибору параметрів і структури телекомунікаційної мережі з упровадженням *VTF* неможливе без достатньої і достовірної інформації про характеристики додаткового навантаження на мережу, базових показників продуктивності (часу встановлення з'єднання, якості сервісу та ін.). Необхідні широкомасштабні дослідження, теоретичного та експериментального характеру. Отже вивчення характерних властивостей і статистичних характеристик реального трафіку мереж нових поколінь з впровадженням концепції *VTF* та обґрунтований вибір параметрів обладнання є, безумовно, актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та впровадження результатів.** Розглянуті в дисертаційній роботі питання пов'язані з вирішенням науково-технічних задач, сформульованих у «Концепції розвитку зв'язку та інформатизації України до 2010 року», затвердженій Постановою КМУ № 223/8 від 09.12.99 р.; а також цільової державної програми "Телекомунікаційні системи та інвестиційні ресурси".

Результати дисертаційних досліджень були використані при виконанні науково-дослідних робіт, що проводилися в ДП «УНДІЗ», ВАТ «Укртелеком», ЗАТ «УМЗ», НАК «Нафтогаз України», за участю та під безпосереднім керівництвом дисертанта по темах:

- Розроблення ГСТУ «Показники якості обслуговування викликів і якості надання основних телекомунікаційних послуг абонентам телекомунікаційних мереж рухомого зв'язку загального користування України» (тема № П15/2005-21, держ. реєстр. № 0105U008521);
- Підвищення ефективності технічної експлуатації мережі передавання даних ВАТ «Укртелеком» (тема № 579/2008-24, держ. реєстр. №0108U010084);
- Проведення досліджень щодо підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж (тема № К312/2007-25, держ. реєстр. № 0107U007482);
- Розробка доцільних варіантів реконструкції і розширення системи радіозв'язку ДК Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України» на принципах мереж наступного покоління (тема № П729/2009-24, держ. реєстр. № 0109U06852).

Є відповідні акти впровадження. Роль автора в зазначених науково-дослідних темах і

проектах, у яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в аналізі існуючих методів оцінки та засобів забезпечення надійності та ефективності впровадження концепції *VTF* в мережах мобільного зв'язку нових поколінь, а також у розробці нових моделей і методів розрахунку пропускну здатності та якості послуг.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою роботи* є розробка методів впровадження віртуальних технічних функцій в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління, які дозволяють визначити, реалізувати та супроводжувати на протязі життєвого циклу проекту раціональний варіант його побудови як керованої системи, з урахуванням заданого критерію якості реалізації послуг при заданих початкових даних.

*Основними задачами є:*

- розробка моделі побудови концепції *VTF*;
- розробка процедур оцінки ефективності сценаріїв реалізації *VTF*;
- вибір та обґрунтування параметрів навантаження в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління, в яких реалізуються віртуальні технічні функції (*VTF*).

*Об'єктом досліджень* є процес надання додаткових видів обслуговування (ДВО) з застосуванням сервісних функцій проекту *SAE/EPS* в мережах мобільного зв'язку.

*Предметом досліджень* є моделі та методи функціонування мереж мобільного зв'язку покоління *4G* з архітектурними особливостями проекту *SAE/EPS*.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи використовувалися наступні методи:

- системний аналіз та теорія складних систем – для аналізу методів побудови мереж мобільного зв'язку покоління *4G* за різними критеріями з протиріччями між ними;
- методи проектного менеджменту – для дослідження процесів управління проектом впровадження віртуальних технічних функцій у мережі мобільного зв'язку нових поколінь;
- методи теорії масового обслуговування – для розробки математичних моделей надання послуги в рамках концепції *VTF*;
- теорія телетрафіку та теорія передачі дискретних повідомлень – для дослідження статистичних характеристик потоків даних у мережах мобільного зв'язку;
- теорія графів – для опису ієрархічних структур віртуальних технічних функцій;
- методи математичного моделювання.

Експериментальні дослідження проводилися методами імітаційного моделювання на ЕОМ.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вона полягає в наступному:

- вперше одержані аналітичні залежності визначення часу затримки реалізації узагальненої віртуальної функції від навантаження на мережу, які, на відміну від існуючих, дозволяють оцінити шукані характеристики за наявністю великих перепадів навантаження, зокрема, у годину найбільшого навантаження (ГНН);
- удосконалено моделі та методи оцінки якості надання додаткових видів обслуговування, зокрема, враховано особливості структури мереж із впровадженими віртуальними функціями, розподілу функцій процесу їх реалізації між компонентами мереж та інтенсивності потоків заявок на кожену послугу;
- вперше розроблено комплексний критерій якості сервісу *VTF*, для якого отримані аналітичні вирази і розроблені імітаційні моделі.

**Практичне значення одержаних результатів.** Воно полягає в наступному:

- одержані аналітичні залежності визначення часу затримки реалізації узагальненої віртуальної функції від навантаження на мережу доведені до аналітичних виразів у замкненій формі, придатних для практичного використання;
- за моделями оцінки якості надання додаткових видів обслуговування розраховані імовірнісно-часові характеристики реалізації *VTF*, які можуть бути використані при проектуванні мереж мобільного зв'язку *SAE/EPS*;
- розроблені імітаційні моделі, на базі яких є можливість проводити оцінку сценаріїв

реалізації концепції *VTF* за комплексними критеріями якості.

**Особистий внесок здобувача.** Результати, що складають основний зміст роботи, автором отримані самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать наступні результати: в [1] – рішення задачі про асимптотичний розподіл імовірності нормованого числа заявок в джерелі повторних викликів; в [2, 4] – методика системного аналізу структурно-функціональної побудови концепції *VTF* в мережах проекту *SAE/EPS*; в [6] – методика планування обсягів надання послуг з трансляції програм радіомовлення; в [7] – огляд тенденцій розвитку ринку телекомунікацій України; в [8, 11] – постановка проблеми формування замовлень на трансляцію інформації; в [9] – методики оцінювання ефективності реалізації віртуальних технічних функцій; в [10] – розроблення окремих правил технічної експлуатації технічних засобів; в [13] – окремі сценарії реалізації концепції *VHE* в мережах проекту *SAE/EPS*; в [16] – фрагменти моделювання високої надійності функціонування первинної мережі електрозв'язку; в [19] – методика економічного узгодження доходів та бюджетних запитів для трансляції інформаційних ресурсів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференціях [14 ...19]; на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Управление проектами в развитии общества – РМ Kiev '09» (Київ, Українська асоціація управління проектами «Укрнет», 2009 р.); на міжкафедральному семінарі Національного авіаційного університету (НАУ) та Державного економіко-технологічного університету транспорту (м. Київ) у рамках постійно діючого науково-технічного семінару аспірантів та молодих учених НАУ «Процеси та потоки у мережах» (м.Київ, Україна, 2009р.); на IV науково-практичній конференції професорсько-викладацького складу та студентства Міжнародного гуманітарного університету «Комп'ютерні технології, інформаційна безпека та дизайн» (Одеса, 2009 р.); на наукових семінарах кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Інституту комп'ютерних технологій Національного авіаційного університету (м.Київ, Україна, 2007-2008 р.р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових робіт, в тому числі 11 – в фахових наукових виданнях за переліком ВАК України [1...11].

**Структура дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів з висновками, висновку до роботи, списку використаних джерел і додатків. Робота викладена на 186 сторінках, містить 132 сторінок основного тексту з 47 рисунками (з них 6 – на окремих сторінках), список використаних джерел з 109 найменувань на 11 сторінках, 3 додатки на 43 сторінках з 9 таблицями і 12 рисунками (з них 10 – на окремих сторінках).

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність обраної теми, запропоновано методику наукового дослідження, сформульовано мету і задачі роботи, зазначено практичну цінність, наукову новизну, показано зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами, наведено відомості про апробацію результатів і їх впровадження.

**У першому розділі** детально проаналізовано стан та перспективи розвитку систем мобільного зв'язку, принципів побудови і основних етапів проектування, розвитку і управління, проаналізовано основні підходи, рекомендовані міжнародними органами зі стандартизації в області телекомунікацій щодо побудови систем управління в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління, а також приведений короткий аналіз послуг, що надаються в таких мережах.

Приведено визначення концепцій *VHE* та *VTF*, визначено сценарії реалізації концепції *VTF*, сформульовано задачу оцінки сценаріїв її реалізації та обґрунтовано підхід до його рішення. В процесі реалізації концепції *VTF* за допомогою апаратних і програмних засобів виконується певна множина послуг. На рис. 1 показана абстрактна модель з трьома системами мобільного зв'язку четвертого покоління, що належать різним операторам.

Кожна з трьох систем проекту *SAE/EPS*, показаних на рис. 1, має свій власний набір послуг:  $S(i)$ ,  $S(j)$ ,  $S(k)$ , які показані кругами. Перетини цих кругів – це послуги, що є однаковими для цих мереж. Зі збільшенням числа систем проекту *SAE/EPS* зменшується загальна платформа послуг  $S(i, j, k)$ . Крім того, системи *SAE/EPS*, які будуть пропонувати своїм абонентам послугу глобального роумінгу, повинні підтримувати *VTF*, якщо в цих системах з самого початку закладені можливості абонентського сервісу, аналогічного сервісу *VHS*.

Рис. 1. Модель покриття послугами в мережах проекту *SAE/EPS*

З урахуванням результатів попереднього аналізу зроблено висновок, що при реалізації концепції *VTF* доцільним є організація централізованої абонентської бази даних для певної мережі, яка приймає участь в процесі надання відповідної віртуальної технічної функції. При переміщенні мобільної станції із однієї зони обслуговування до іншої, ці бази даних отримують необхідну інформацію з централізованої абонентської бази даних. Завдяки цьому забезпечується прозоре та безперервне передавання наборів віртуальних технічних функцій від одного оператора до іншого, у тому числі тим, що працюють за різними стандартами мобільного зв'язку. Загальна картина гармонізації стандартів мобільного зв'язку наступних поколінь показана на рис. 2.

Рис. 2. Підходи до гармонізації стандартів мобільного зв'язку

Вважається, що впровадженню систем проекту *SAE/EPS* на базі мереж мобільного зв'язку четвертого покоління передуватиме тривалий період їх сумісного існування з системами третього покоління. З урахуванням цього, основною задачею кожного оператора мереж *SAE/EPS* повинна залишатися задача надання будь-якому абоненту вище описаного звичного набору послуг при знаходженні його в роумінгу, тобто забезпечити 100% підтримку звичних функцій не дивлячись на той факт, що такі функції будуть «віртуальними», тобто – невластивими для візитної мережі. Кількість і різноманітність послуг, які потенційно можуть бути реалізовані з використанням подібних систем, дуже велика, що представляється вельми привабливим як для абонентів, так і для операторів мобільного зв'язку.

У першому розділі поставлено загальну мету дослідження та часткові задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

**Другий розділ** присвячений розробці моделі надання послуг у рамках концепції *VTF*, визначенню критеріїв оцінки сценаріїв її реалізації, розроблено метод розрахунку параметрів навантаження на компоненти мереж мобільного зв'язку, які беруть участь в реалізації концепції *VTF*.

Обґрунтовано вибір апарату для аналітичного опису концепції *VTF*. На його підставі розроблено метод оцінки варіантів побудови концепції. При цьому, як критерії оцінки будь-якого сценарію реалізації концепції *VTF*, запропоновано використовувати ступінь його відповідності показникам якості реалізації послуг, які виражаються у вигляді імовірісно-часових характеристик, заданих в рекомендаціях *ITU-T*.

У загальному випадку концепцію *VTF* можна розділити на 2 частини:

- 1) системи обробки інформації;
- 2) мережа передачі сигнальної інформації.

Система обробки інформації є набором компонент, кожна з яких, реалізує певну функцію в рамках концепції *VTF*. Щоб підтримувати *VTF*, ці компоненти повинні мати можливість взаємодіяти один з одним. Оскільки компоненти що реалізують концепцію *VTF*, можуть належати не одній, а декільком мережам, то мережа передачі сигнальної інформації складатиметься з міжмережного інтерфейсу (*NNI*) – сукупності сигнальних каналів, що зв'язують ці мережі, і сигнальної мережі між компонентами в межах кожної з мереж. У загальному вигляді вищевикладене представлено в термінах теорії графів.

Граф  $G_{cfn}^{VTF} = (S, E)$  має декілька рівнів ієрархії  $k, k+1, k+2, k+3, k+4, k+5$ . Множина вершин графу відповідає компонентам мережі, а його дуги відображають логічні зв'язки між ними. Множина вершин  $S$  складається з підмножин  $S^k$ , причому  $S^k \subset S, \bigcup_k S^k = S, S^k = \{S_j^k : j \in J^k\}$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$ , де  $S$  – множина компонентів мереж, у яких реалізовано концепцію  $VTF$  на рівні  $k$ ;  $J_k$  – кінцева множина значень індексів на рівні  $k$ .

Множина дуг  $E$  складається з підмножин, що сполучають вершини як різних, так і однойменних рівнів, причому:

$$(E^{k_k} \cup E^{k_{k+1}} \cup E^{k+1_{k+1}} \cup E^{k+1_{k+2}} \cup \dots \cup E^{k+3_{k+4}} \cup E^{k+5_{k+5}}) \subset E,$$

$$E_{ij}^{k_k} = (S_i^k, S_j^k),$$

$$E_{ij}^{k_{k+1}} = (S_i^k, S_j^{k+1}),$$

.....

$$E_{ij}^{k+5_{k+5}} = (S_i^{k+5}, S_j^{k+5}).$$

Структура графа набору  $VTF$  представлена на рис. 3.

Рис. 3. Граф структури  $VTF$

Запропонованою моделлю у вигляді деревовидного графа описується множина варіантів побудови  $VTF$ . Кожен з варіантів має різні множини розподілу функцій по реалізації послуг між компонентами і визначає підхід до дослідження характеристик різних сценаріїв реалізації концепції.

Нормативні показники якості реалізації послуг представлені у вигляді допустимого часу виконання функцій, необхідного для продовження обслуговування виклику після його припинення в так званій тригерній точці. Це точка в базовому процесі обслуговування виклику, в якій фіксуються фази надання послуг при заданому значенні обмеження умовної імовірності  $P^*$  і середнього значення часу обслуговування  $\bar{t}_i^*$ .

З урахуванням представлених міркувань, надалі, під процесом реалізації послуги, слід розуміти виконання послідовності функцій, необхідних для продовження обслуговування виклику після його припинення в тригерній точці. При цьому невиконання хоч би однієї з приведених вище умов потребує перегляду прийнятого сценарію реалізації концепції  $VTF$ .

Для оцінювання імовірісно-часових характеристик (ІЧХ) будь-якого сценарію реалізації концепції  $VTF$  і порівняння їх з нормативними показниками в роботі представлений процес реалізації послуги у системі масового обслуговування (СМО). Перед кожним обслуговуючим приладом (ОП), що виконує  $j$ -у фазу, реалізації  $i$ -ї послуги, де  $j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}$ , утворюється черга, в яку поступають заявки не тільки від  $i$ -ї послуги, але і від інших послуг, а також заявки, пов'язані з надходженням вже існуючого навантаження, позначеного як  $\Lambda_r^*$ . Для оцінки імовірісно-часових характеристик (ІЧХ) будь-якого сценарію реалізації  $VTF$  розроблено абстрактну модель ОП (рис. 4). Інтенсивність потоку заявок на  $i$ -ту послугу позначена  $\lambda_i$ .

Рис. 4. Модель реалізації  $i$ -ї послуги

Суцільними стрілками позначені заявки по реалізації від послуги, що реалізується у цей час. Штриховими стрілками показані заявок від інших послуг.  $K_1, K_2, \dots, K_r$  – проміжні вузли ОП.

Для рішення задачі класифікації моделі СМО проаналізовано характер вхідних потоків.

Вихідною умовою є припущення, що спостережувані потоки є сумами великого числа незалежних потоків малої інтенсивності, кожен з яких передбачається ординарним і стаціонарним. Відносно відсутності післядії гіпотез не висувалося. Розглянуто поведінку суми нескінченно малих випадкових процесів, які вносять неоднаковий внесок до сумарного процесу, наприклад, із-за різних провідних функцій  $\Lambda_i(t)$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , при досить великому, але обмеженому  $n$ . Звичайно, при  $n \rightarrow \infty$  розподіл суми парціальних процесів буде збігатися до пуассонового розподілу внаслідок його статистичної сталості, навіть при різних інтенсивностях процесів. Але при обмеженому  $n$  цього вже не можна стверджувати. Показано, що у випадку наявності аномального парціального процесу (процесів) з викидами інтенсивності  $\Lambda_{ja}(t)$  у порівнянні до інших складових сумарного потоку розподіл останнього буде близьким до розподілу згаданого аномального процесу. У свою чергу, якщо сумарна інтенсивність аномального процесу буде значно менше інтенсивності парціальних процесів без аномалій,  $\Lambda_i(t)$ :

$$\Lambda_{ja}(t) \ll \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \Lambda_i(t),$$

можна очікувати збіжності до пуассонового розподілу. Результат дослідження асимптотичної збіжності до найпростішого потоку є новим і представляє не тільки теоретичний, а й практичний інтерес. Тому при дослідженні можна застосовувати спрощені моделі M/G/1, M/M/1 або M/D/1 за класифікацією Кендалла.

У другому розділі також розроблено метод розрахунку параметрів навантаження на компоненти мереж SAE/EPG з набором віртуальних технічних функцій. Якщо  $\bar{C}_i$  - середнє число запитів на  $i$ -у послугу від одного абонента в годину найбільшого навантаження (ГНН), то сумарна інтенсивність потоку заявок дорівнює  $\lambda_i = N_{VTF} \bar{C}_i$ . В реалізації певної послуги може брати участь множина компонентів як візитної, так і домашньої (підтримуючої) мережі. Тоді результуюча інтенсивність потоку заявок дорівнює  $\Lambda_r = \Lambda_r^{VTF} + \Lambda_r^*$ , де  $\Lambda_r^*$  - інтенсивність вже існуючого навантаження на мережу.

Розроблений метод розрахунку параметрів навантаження мереж мобільного зв'язку з впровадженими наборами віртуальних технічних функцій може використовуватися для визначення інтенсивності потоку заявок на кожен компонент мережі.

**У третьому розділі** розроблено методи оцінки імовірнісно-часових характеристик (ІЧХ) процесів надання послуг віртуальних технічних функцій.

Задачу оцінки ІЧХ будь-якого сценарію реалізації концепції VTF зведено до визначення функції розподілу часу реалізації  $i$ -ї послуги  $H(t_i) = 1 - P(\gamma > t_i)$  і середнього значення цього часу  $\bar{t}_i$ .

Реалізація  $i$ -ї послуги є виконанням певної послідовності фаз. При цьому на кожному ОП виконується  $k_n$  фаз  $i$ -ї послуги. Враховуючи це, функцію розподілу часу реалізації  $i$ -ї послуги для досліджуваного сценарію реалізації концепції VTF можна представити у вигляді згортки:

$$H(t_i) = H_l^{k_{l_i}}(t_i) \otimes \dots \otimes H_r^{k_{r_i}}(t_i) \otimes H_R^{k_{R_i}}(t_i), \quad (1)$$

де  $k_{r_i}$  означає, що згортка  $r$ -ї функції для  $i$ -ї послуги береться  $k_{r_i}$  раз.

Функція розподілу  $H_r(t)$  для кожного ОП має вигляд

$$H_r(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau_r; \tau_r > 0 \\ 1 - p_r e^{-a_{r_i}(t-\tau_r)}, & a_{r_i} > 0 \end{cases}, \quad \tau_r = \frac{\sum_{i=1}^I \lambda_i \sum_{j=1}^J \tau_{r_{ij}} + p_r^*}{\Lambda_r}, \quad (2)$$

де  $\tau_r$  - зважений час обслуговування заявки  $r$ -го компоненту;  $I$  - загальне число послуг, що обробляються  $r$ -м ОП;  $J$  - загальне число фаз  $i$ -ї послуги на  $r$ -му ОП;



$\Lambda_r$  – інтенсивність потоку заявок, що поступають на  $r$ -й компонент;  $p_r = \sum_{i=1}^I \lambda_i \sum_{j=1}^J \tau_{r_{ij}} + p_r^*$  – завантаження  $r$ -го компоненту;  $p_r^*$  – вже існуюче завантаження  $r$ -го компоненту;  $\lambda_i$  – інтенсивність потоку вхідних заявок на  $i$ -у послугу;  $\tau_{r_{ij}}$  – сумарний час заняття  $r$ -го ОП при реалізації  $j$ -ї фази  $i$ -ї послуги. Величина  $\tau_{r_{ij}}$  складається з затримок на обробку заявки в компоненті  $\tau_{r_{ij}}^{обп}$  і часу доставки заявки між ОП  $\tau_{r_{ij}}^{\Delta\bar{N}}$ .

Середнє значення часу, на який припиняється обслуговування виклику, визначається з виразу

$$\bar{t}_i = \sum_{r=1}^R k_{r_i} \tau_r + \sum_{r=1}^R \frac{p_r k_{r_i}}{a_{r_i}}. \quad (3)$$

За виразами (2) та (3) побудовано графіки функції розподілу умовної імовірності часу реалізації послуг і середнього значення цього часу.

Створено імітаційну модель реалізації послуг та проведено дослідження варіантів концепції *VTF* на ЕОМ, за результатами яких визначається ступінь відповідності кожного з досліджуваних сценаріїв реалізації концепції *VTF* заданій якості реалізації послуг. На рис. 5...7 зображені графіки функцій розподілу умовної імовірності часу реалізації послуг і середнього значення цього часу, отриманих аналітичним шляхом та шляхом моделювання для широкого діапазону коефіцієнтів завантаження мережі.

Відмітимо задовільну збіжність результатів аналітичних розрахунків та моделювання для діапазону умов надання послуг та числа окремих фаз послуги, які потребуються найбільш часто. Крім того, для запобігання перевантаження та колапсу мережі необхідно постійно контролювати її завантаження і при необхідності перенаправляти трафік заявок до інших пунктів реалізації віртуальних технічних функцій.

Важливе значення має також затримка доставки заявок між компонентами мереж *SAE/EPS*. У роботі проаналізовано процеси просунення заявок в ОП та отримані аналітичні вирази для оцінки загального часу затримки без урахування втрат пакетів та повторних передач та з урахуванням цього фактору. Ці вирази є досить громіздкими, але у цілому простими та прийнятними для практичного застосування. Наведемо кінцевий вираз для знаходження часу доставки заявки між ОП  $\alpha$  і  $\beta$ , отримуємо в наступному вигляді:

$$\tau_{r_{ij}}^{DC} = \bar{T}_{ht(SCCP)} + \bar{T}_{ht} + \bar{T}_{od} + \bar{T}_{ex} + \bar{N}_{STP}^{\alpha\beta} \bar{T}_{STP} + \bar{N}_{SPR}^{\alpha\beta} \bar{T}_{SPR} + (\bar{N}_{STP}^{\alpha\beta} + \bar{N}_{SPR}^{\alpha\beta} + 1)(\bar{T}_p + Q_i + Q_a),$$

де  $\bar{T}_{ht(SCCP)}$ ,  $\bar{T}_{ht}$ ,  $\bar{T}_{od}$ ,  $\bar{T}_{\Delta\bar{N}}$ ,  $\bar{T}_{STP}$ ,  $\bar{T}_{SPR}$ ,  $\bar{T}_p$  – середні значення затримок заявок на різних транзитних вузлах та у каналах передачі даних;  $Q_i$  – затримка заявки із-за очікування у черзі з урахуванням помилок в ланці даних;  $Q_a$  – затримка заявки із-за очікування у черзі без урахування помилок в ланці даних;  $\bar{N}_{STP}^{\alpha\beta}$  – середнє число транзит-них вузлів *STP* між ОП  $\alpha$  і  $\beta$ ;  $\bar{N}_{SPR}^{\alpha\beta}$  – середнє число транзит-них вузлів *SPR* між ОП  $\alpha$  і  $\beta$ .

Рис. 5. Функція розподілу  $P(\gamma > t)$ .  
Коефіцієнт завантаження мережі  $p=0,5$

Рис. 6. Функція розподілу  $P(\gamma > t)$ .  
Коефіцієнт завантаження мережі  $p=0,9$

Середній час перебування заявки  $\bar{T}_{od}$ , середній час перебування заявки в транзитному пункті сигналізації  $STP$   $\bar{T}_{STP}$  і середній час розповсюдження заявки по ланці даних сигналізації  $\bar{T}_p$  задаються у рекомендаціях *ITU-T*.

На підставі отриманих результатів може бути зроблений вибір на користь того сценарію реалізації концепції *VTF*, який би за інших рівних умов відповідав встановленим нормам і забезпечував найменшу затримку часу реалізації послуги. У третьому розділі також сформульовано рекомендації по зміні відповідних характеристик компонент для досягнення заданої якості реалізації послуг.

Рис. 7. Середній час реалізації послуги при різних коефіцієнтах завантаження мережі

Отримані результати дають можливість вважати, що у широкому діапазоні умов застосування віртуальних технічних функцій можна ефективно управляти конфігураціями тимчасово створених ланок шляхом кооперацій різних мережних вузлів та передачі на них частини додаткового мережного навантаження.

У четвертому розділі проведено загальний аналіз методів реалізації сервісів *VTF*. Обґрунтовано метод розрахунку характеристик висхідної та низхідної радіоліній радіоінтерфейсу систем *SAE/EPS*.

Потужність передавача базової станції в низхідній радіолінії розподіляється серед множини мобільних абонентів. По висхідній радіолінії потужність передачі терміналом мобільного абонента передається єдиному приймачу базової станції. Істотним є ефект інтерференції в низхідній радіолінії, джерелом якої служать сусідні сектори того ж стільника. Інтерференція від інших стільників враховується в аналізі висхідної радіолінії у вигляді суми потужностей передавачів, що знаходяться на більшій відстані від приймача базової станції. Потужність низхідної радіолінії залежить від мобільного розподілу  $x$ , який визначається як відношення загальної потужності в межах активного набору до сумарної потужності шуму приймача мобільного абонента і загальної потужності сигналів, що приймаються від всіх секторів, які не входять в активний набір. Сектор включається в активний набір мобільного абонента, коли він забезпечує передачу сигналу, який демодулюється приймачем абонента.

У роботі розроблено метод розрахунку енергетичного балансу і секторної ємності радіоліній в ізольованому секторі з  $N$  мобільними абонентами. Виведено вираз для оцінювання відношення енергії інформаційного біта до спектральної щільності теплового шуму та інтерференції ( $E_b/N_t$ ), необхідне для роботи радіолінії з заданою якістю та надійністю:

(4)

де  $\alpha_j$  – коефіцієнт використання каналу (коефіцієнт активності) для  $i$ -го ( $j$ -го) мобільного абонента;  $S_j$  – потужність корисного сигналу, що приймається приймачем базової станції від  $i$ -го ( $j$ -го) мобільного абонента;  $R$  – швидкість передачі інформації в бітах і-м мобільним абонентом;  $F$  – коефіцієнт шуму приймача базової станції;  $N_0$  – спектральна щільність теплового шуму приймача базової станції;  $W$  – ширина смуги пропускання для несучої частоти;  $N$  – число активних мобільних абонентів в межах сектора;  $g$  – вигреш за рахунок розширення спектру сигналів при обробці.

Цей вираз служить основою для аналізу розмірів зони обслуговування і ємності висхідної радіолінії. Тут в чисельнику представлена енергія, передана в одному інформаційному біті, у вигляді відношення потужності корисного сигналу, що приймається базовою станцією, до швидкості передачі інформації в каналі. У знаменнику виражена сума потужності теплового шуму приймача базової станції та потужності інтерференційних радіозавад, прийнятих цим приймачем від інших  $N-1$  мобільних абонентів. При цьому передбачається ідеальне управління потужністю терміналів мобільних абонентів та гарантується, що всі мобільні абоненти тільки досягають (але не перевищують) потрібне для їх конкретної ситуації співвідношення енергії інформаційного біта

до спектральної щільності теплового шуму та інтерференції, яке необхідне для роботи висхідної радіолінії з заданими якістю та надійністю.

Для врахування інтерференції із-за наявності сигналів, що створюються передавачами в інших (сусідніх) секторах, вводяться додаткові інтерференційні множники. Інтерференція від інших секторів може розглядатися як зовнішня інтерференція. Інтерференція від мобільних абонентів, що знаходяться в межах сектора, є внутрішньою, яка представлена сумою коефіцієнтів по  $N-1$  мобільним абонентам в знаменнику рівняння (4). Відношення зовнішньої інтерференції до внутрішньої може бути приблизно постійним для сектора, оточеного множиною стільників з однорідним завантаженням секторів. Для найважчого інтерференційного випадку  $S_i=S$  рівняння (4) переходить до виду

(5)

де  $\beta$  – відношення інтерференції іншого стільника до інтерференції обслуговуючого стільника для висхідної радіолінії;  $d_{\max}$  – медіанне значення відношення енергії інформаційного біта до спектральної щільності теплового шуму та інтерференції, необхідного для роботи радіолінії з заданою якістю та надійністю за умови  $S_i=S$ .

Необхідна мінімальна чутливість приймача  $S_{\min}$  може бути виражена через очікуване значення  $S$  у такому виді:

де  $E$  – оператор математичного очікування;  $\eta_{\alpha}$  – середнє очікуване значення коефіцієнта використання каналу.

Оскільки значення коефіцієнта використання каналу прагне до 1, то для дуже великого числа одночасно працюючих мобільних абонентів середнє очікуване значення коефіцієнта використання каналу також прагне до 1. Тому для малих значень співвідношення  $g/d_{\max}$  (тобто для найважчих умов) середню необхідну чутливість приймача базової станції можна приблизно розрахувати по спрощеній формулі:

(6)

Вираз (6) свідчить, що необхідна чутливість приймача базової станції є функцією, яка монотонно убуває у залежності від числа мобільних абонентів, а, отже, і завантаження сектора. При цьому з досягненням граничного значення необхідної чутливості та подальшому збільшенні секторного завантаження починає зменшуватися зона обслуговування, розмір якої при полюсному (базовому) завантаженні скорочується до 0. Граничне число обслуговуваних мобільних абонентів для полюсного завантаження може бути розраховано для випадку, коли знаменник у виразі (6) буде рівний 0. Отримана таким чином «полюсна» точка відповідає найгіршій чутливості приймача:

(7)

де  $N_{\max}$  – теоретично досяжне число одночасно працюючих мобільних абонентів в межах сектора.

Вираз (6) з урахуванням (7) перетворюється до такого виду:

(8)

де  $R_i$  – швидкість передачі інформації в бітах в каналі  $i$ -го мобільного терміналу;  $u = N/N_{\max}$  – коефіцієнт завантаження щодо полюсної точки.

Рівняння (8) показує, що будь-яке цілочисельне значення  $N$ , менше  $N_{\max}$  (тобто будь-яке значення  $u$  менше 1), є допустимим за умови, що платою за дуже високе завантаження буде зменшення розміру зони обслуговування стільника. Практично, завантаження, що наближається до  $u=1$ , необхідно уникати із-за нестабільності зони обслуговування, яка має місце незалежно від характеру або форми управління потужністю, та із-за неприйнятних затримок часу обслуговування.

Диференціюючи рівняння (8) щодо  $u$ , отримуємо:

(9)

Цей вираз показує, що відносні зміни необхідної чутливості приймача базової станції пов'язані з відносними змінами в завантаженні через коефіцієнт чутливості  $\frac{u}{1-u}$ . Він характеризує величину відносних змін мінімальної необхідної чутливості приймача при відносній зміні коефіцієнта завантаження щодо полюсної точки.

Графік залежності коефіцієнта чутливості від коефіцієнта завантаження зображений на рис. 8. На цьому малюнку по осі абсцис відкладені значення коефіцієнта чутливості, а по осі ординат – коефіцієнта завантаження.

Рис.8. Залежність коефіцієнта чутливості приймача базової станції від коефіцієнта завантаження

Коефіцієнт чутливості залежить від заданого середнього часу завершення обслуговування, який задається при проектуванні і використовується в моделі трафіку. Вибір значення цього параметра повинен виключати роботу системи у області графіка з високою крутизною.

Математичне моделювання і результати натурних випробувань підтвердили, що прийнятний максимум коефіцієнта завантаження знаходиться в межах від 0,5 до 0,75.

Таким чином, точні та спрощені вирази для розрахунку просторових та енергетичних характеристик мобільного терміналу можуть бути застосовані при теоретичному аналізі та практичній оцінці ємності діючих та перспективних систем мобільного зв'язку. З використанням одержаних результатів розроблено метод автоматичного перемикавання секторів в системах *SAE/EPS*, при використанні якого поширюються можливості впровадження *VTF* у мережах як наступних поколінь, так і існуючих мережах з мінімальним втручанням в їх інфраструктуру.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено методи впровадження віртуальних технічних функцій в мережах мобільних телекомунікацій четвертого покоління, які дозволяють визначити, реалізувати та супроводжувати на протязі життєвого циклу проекту раціональний варіант його побудови як керованої системи, з урахуванням заданого критерію якості реалізації послуг при заданих початкових даних.

Розроблено математичну модель реалізації послуг в рамках концепції *VTF* та отримані вирази для функції розподілу часу реалізації послуги і його середнього значення, що дозволяє проводити вибір варіанту побудови системи *VTF*, яка забезпечує задану якість реалізації послуг. Отримані точні та приблизні рішення для розрахунку ємності систем проекту *SAE/EPS*, для розрахунку потужності передавача у каналі трафіку, просторового розподілу для кожного мобільного абонента мережі. Розроблені методи розрахунку енергетичного балансу висхідної радіолінії при передачі даних, що дозволяє запланувати та оцінити необхідні додаткові енергетичні ресурси систем проекту *SAE/EPS*, необхідність збільшення яких виникає при впровадженні додаткових послуг, передбачених концепцією *VTF*. Розроблені та реалізовані на ЕОМ імітаційні моделі процесів надання послуг в рамках концепції *VTF*, що дозволяють разом з аналітичними методами вибирати сценарій реалізації концепції по критерію якості реалізації послуг.

Таким чином, можна стверджувати, що мету дисертаційних досліджень досягнуто. Вирішені усі часткові задачі, які були поставлені для досягнення мети роботи:

- розроблено методи аналізу та оцінки ефективності застосування *VTF*;
- розроблено комплекс математичних моделей побудови та реалізації нових послуг з використанням *VTF*;
- обґрунтовано критерій оцінки якості реалізації сценаріїв *VTF* в системах телекомунікацій;
- розроблено процедури розрахунку параметрів навантаження в мережах мобільних телекомунікацій четвертого покоління, які беруть участь в реалізації концепції *VTF*;
- розроблено метод оцінки часу, який витрачається на передачу заявок між компонентами мереж мобільних телекомунікацій четвертого покоління, в яких реалізується концепція *VTF*.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Віноградов, М. А. Дослідження нестационарної мережі випадкового доступу з динамічним протоколом в умовах великого завантаження в рамках реалізації концепції VTF [Текст] / М. А. Віноградов, П. Ф. Баховський // Наукові записки УНДІЗ. – 2009. – №4(12). – С.5-16.
2. Баховський, П. Ф. Концептуальні питання створення та розвитку інтелектуальних мереж: основоположні зауваження [Текст] / П. Ф. Баховський, О. О. Скопа // Моделювання та інформаційні технології : Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2008. – Вип. 49. – С.154-159.
3. Баховський, П. Ф. Проблемні питання розвитку технології 3G в Україні [Текст] / П. Ф. Баховський // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – №2(4). – С.16-26.
4. Рибак, А. І. Системний аналіз структурно-функціональної побудови концепції віртуального домашнього оточення в мережах 3G [Текст] / А. І. Рибак, П.Ф. Баховський // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – №6(8). – С. 3-11.
5. Баховський, П. Ф. Особливості процесу управління телекомунікаційними мережами в умовах надзвичайних ситуацій [Текст] / П. Ф. Баховський // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – №4(6). – С.3-11.
6. Баховський, П. Ф. Планування обсягів надання послуг з трансляції програм телебачення і радіомовлення [Текст] / П. Ф. Баховський, Д. І.Бедрій // Праці УНДІРТ. – 2005. – №2(42). – С.131-132.
7. Баховський, П. Ф. Тенденції розвитку ринку телекомунікацій України та пропозиції щодо його вдосконалення [Текст] / П. Ф. Баховський, В. О. Гребенніков // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – №3(5). – С.3-13.
8. Горелкіна, С. Б. Економічні аспекти проблем ефективного формування замовлення на трансляцію телерадіопрограм, вироблених для державних потреб [Текст] / С. Б. Горелкіна, П. Ф. Баховський, Д. І. Бедрій // Зв'язок. – 2008. – №2. – С.10-13.
9. Баховський, П. Ф. Асимптотические оценки эффективности распределенной реализации виртуальных технических функций в сетях мобильной связи новых поколений [Текст] / П. Ф. Баховський, М. А. Віноградов // Наукові записки УНДІЗ. – 2009. – №4(12). – С.40-46.
10. Баховський, П. Ф. Розроблення правил технічної експлуатації засобів кабельного телебачення [Текст] / П. Ф. Баховський, О. В. Гофайзен, М. П. Дудка, Н. В. Ічаджик, В. В. Мещерякова // Праці УНДІРТ. УНДІРТ, – 2005. – №2(42). – С. 76.
11. Горелкіна, С. Б., Баховський П. Ф. Економічне узгодження доходів та бюджетних запитів для трансляції телерадіопрограм, вироблених для державних потреб [Текст] / С. Б. Горелкіна, П. Ф. Баховський // Праці УНДІРТ. – 2005. – №3(43). – С.29-35.
12. Баховський, П. Ф. Концептуальні питання створення систем зв'язку третього покоління ІМТ-2000 [Текст] / П. Ф. Баховський // Наук. записки Міжнар. гуманіт ун-ту. Економіка та управління проектною діяльністю. – 2008. – Вип. 11. – С. 94-105.
13. Баховський, П. Ф. Концепція та сценарії реалізації віртуального домашнього оточення в мережах 3G [Текст] / П. Ф. Баховський, О. О. Скопа // Наук. записки Міжнар. гуманіт ун-ту. Економіка та управління проектною діяльністю. – 2008. – Вип. 13. – С.86-94.
14. Баховський, П. Ф. Інтелектуальна мережа: Соціально-економічна концепція [Текст] / П. Ф. Баховський // Матер. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми телекомунікацій». – 28-30 жовтня 2008 р., Львів. – С.65-68.
15. Баховський, П. Ф. О задачах регионального сотрудничества в области синхронизации и единого точного времени [Текст] / П. Ф. Баховський // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы частотно-временного обеспечения сетей электросвязи», 25-26 марта 2009, г. Москва.
16. Баховський, П. Ф. Фрагменти моделювання високої надійності функціонування первинної (транспортної) мережі електрозв'язку [Текст] /

П. Ф. Баховський, М. М. Євсюк: Materials of IV International modeling school of AMSE-UAPL, September 12-17, 2000. Crimea, Alushta. – P. 9-12.

17. Баховський, П. Ф. Загальні підходи до управління телекомунікаційними мережами в умовах надзвичайних ситуацій [Текст] / П. Ф. Баховський. Матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми управління мережами та послугами телекомунікацій в умовах конкурентного ринку», 29 вересня – 1 жовтня 2008 р., Алушта // Вісник УНДІЗ. – 2008. – №2. – С.6-9.

18. Баховський, П. Ф. Проблемні питання розвитку телефонної мережі загального користування (ТфМЗК) України та діяльність ДП «УНДІЗ» у цій сфері [Текст] / П. Ф. Баховський. Матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. «Впровадження нових технологій, послуг, нормативних документів у телефонній мережі загального користування (ТфМЗК) України», 24-28 листопада 2008 р., Київ // Вісник УНДІЗ. – 2008. – №4. – С.4-5.

19. Баховський, П. Ф. Кризові явища в інфокомунікаціях України та шляхи їх подолання [Текст] / П. Ф. Баховський, В. О. Гребенніков // Матеріали III Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми телекомунікацій», 21-24 квітня 2009 р., Київ. С.23-24.

### АНОТАЦІЯ

**Баховський П. Ф. Методи забезпечення якості сервісу при впровадженні віртуальних технічних функцій в мобільних телекомунікаційних мережах.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02. – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2009.

Захищаються методи впровадження віртуальних технічних функцій в мережах мобільних телекомунікацій четвертого покоління, які дозволяють визначити, реалізувати та супроводжувати на протязі життєвого циклу проекту раціональний варіант його побудови як керованої системи, з урахуванням заданого критерію якості реалізації послуг при заданих початкових даних.

Проаналізовано математичні моделі мереж мобільного зв'язку як систем масового обслуговування, в тому числі моделі стохастичних потоків та затримок повідомлень.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження характерних властивостей наборів віртуальних технічних функцій, які необхідно враховувати при виборі параметрів та структури телекомунікаційної мережі.

Розроблені рекомендації щодо вибору основних параметрів мережі (енергетичних характеристик та просторових розподілів навантаження, пропускної спроможності і т.д.) залежно від інтенсивності потоків заявок на послуги, їх статистичних характеристик і структури мережі.

**Ключові слова:** мережа мобільного зв'язку, віртуальні технічні функції, система масового обслуговування, радіолінія, енергетичний баланс.

### АННОТАЦИЯ

**Баховский П.Ф. Методы обеспечения качества сервиса при внедрении виртуальных технических функций в мобильных телекоммуникационных сетях.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02. – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2009.

Защищаются методы внедрения виртуальных технических функций в сетях мобильных телекоммуникаций четвертого поколения, которые позволяют определить, реализовать и сопровождать в течение жизненного цикла проекта рациональный вариант его построения как управляемой системы, с учетом заданного критерия качества реализации услуг при заданных начальных данных.

При внедрении дополнительных видов обслуживания в сетях мобильной связи новых

поколений возникают технические трудности, связанные с существованием сетей прежних поколений. Необходимо принимать во внимание тот факт, что существующие сети будут длительное время эксплуатироваться наравне с вновь внедряемыми сетями. Очевидным выходом из сложившейся ситуации является гармонизация наборов услуг, адаптация их к параметрам сетей как новых, так и прежних поколений. При этом необходимо минимизировать вмешательство в инфраструктуру сетей, находящихся в эксплуатации. Наиболее успешно можно решить возникающие проблемы методами программной реализации дополнительных услуг и перераспределения возникающей при этом нагрузки на сети по маршрутам и сетевым узлам многих операторов. В диссертации разработаны методы внедрения наборов виртуальных технических функций, при использовании которых абонент может получать весь спектр заказанных услуг как в собственной (домашней) сети, так и в сетях других операторов (визитных сетях).

Проанализированы математические модели сетей мобильной связи как систем массового обслуживания, в том числе модели стохастических потоков и задержек сообщений.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования характерных свойств наборов виртуальных технических функций, которые необходимо учитывать при выборе параметров и структуры телекоммуникационной сети.

Разработанные рекомендации относительно выбора основных параметров сети (энергетических характеристик и пространственных распределений нагрузки, пропускной способности и так далее) в зависимости от интенсивности потоков заявок на услуги, их статистических характеристик и структуры сети.

**Ключевые слова:** сеть мобильной связи, виртуальные технические функции, система массового обслуживания, радиолиния, энергетический баланс

## SUMMARY

**Bakhovsky P. F. Methods for providing the quality of service at the introduction of virtual technical functions into mobile telecommunication networks.** - Manuscript.

Thesis for getting a Candidate of science (Techn.) degree according to the specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2009.

The thesis are defended on the methods for the introduction of virtual technical functions into the 4G mobile telecommunications networks which allow to define, realize and support during the project life cycle the rational version of its construction as managed system taking into account the specified criterion of the quality of service realization at the specified initial data.

The mathematical models of mobile networks as queuing systems, including stochastic flow models and delays of reports are analyzed.

Theoretical and experimental researches of characteristic properties of sets of virtual technical functions that should be taken into account during the selection of at the choice of parameters and telecommunication network structure are conducted.

Developed recommendations in relation to the choice of basic parameters of network (power descriptions and spatial partitions of the load, capacity etc.) depending on the stream intensity of streams of requests for services, their statistical descriptions and network structure.

**Keywords:** mobile communication network, virtual technical functions, queuing system, radio channel, power balance.

**Підписано до друку 10.12.2009 р. Формат 64x90<sup>1</sup>/8.  
Папір офсетний. Умовн. друк. арк. 0,9  
Друк. різнограф. Наклад 100 прим. Замовл. № 1125**

**Друк ТОВ "АНВА Прінт"  
Вул. Солом'янська, 1, оф.204, м. Київ, 03110.  
Тел. +380 44 2277728**