

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

На правах рукопису

НІКІТІН СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.327:681.5

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ В
БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА
ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ПОТОКІВ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник -
Бреславець Віталій Сергійович,
кандидат технічних наук,
доцент

Харків – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ В БЕЗДРОТОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ.....	13
1.1 Місце та роль телекомунікаційних мереж у інформаційному забезпеченні споживачів	13
1.2 Складові продуктивності телекомунікаційної мережі.....	16
1.3 Критерій оцінки сумарної пропускної здатності мережі радіодоступу.....	25
1.4 Постановка задачі досліджень	26
2 МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ.....	28
2.1 Методи множинного доступу.....	28
2.1.1 Протоколи довільного доступу.....	29
2.1.2 Протоколи з фіксованим закріпленням ресурсу каналу.....	31
2.1.3 Протоколи з призначенням ресурсу на вимогу.....	38
2.1.4 Моделювання комбінованих методів	39
2.1.5 Моделювання параметрів множинного доступу з фіксованим ресурсом каналу	41
2.2 Метод передачі інформації на основі просторового та довільного доступу	50
2.3 Моделювання просторового розділення користувачів	55
2.3.1 Обґрунтування доцільності просторового розділення користувачів.....	55
2.3.2 Оцінка необхідної ширини променя для просторово виділеного каналу	59
2.3.3 Методика оцінки параметрів ЦАР.....	61
2.3.4 Оцінка кількості просторово виділених каналів на один сектор стільника.....	70
2.2.5 Оцінка залежності кількості променів від кількості елементів ЦАР.....	72

2.2.6 Розрахунок розмірів ЦАР для системи чистого SDMA	73
2.3 Комбінований метод множинного доступу	74
3 АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ	
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ПРИ ДІЇ ЗАВАД	79
3.1 Метод передачі інформації з просторовим розділенням абонентів та оптимізацією довжини інформаційного пакету	80
3.2. Оцінка впливу завад на швидкість передачі інформації у пакетних системах передачі даних.....	84
3.2. Оптимізація довжини інформаційного пакету у пакетних системах передачі даних при дії завад.....	90
3.4. Порівняльний аналіз продуктивності систем передачі при оптимізації довжини інформаційних пакетів, що передаються.....	95
3.5. Оптимізація розміру фрагмента пакету передачі інформації у мережах радіодоступу при дії завад.....	98
3.5.1. Коротка характеристика функції розподіленої координації у бездротових технологіях.....	98
3.5.2. Аналіз схеми механізму передачі DCF в умовах високого навантаження.....	101
3.5.3 Оцінка пропускної здатності мережі радіодоступу	105
4 МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ САМООРГАНІЗОВАНОЇ МЕРЕЖІ	
БАЗОВИХ СТАНЦІЙ	119
4.1 Математичне моделювання діаграми спрямованості AP	119
4.2 Програмно-апаратна модель системи управління адаптивною безпроводовою телекомунікаційною мережею.....	124
ВИСНОВКИ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
Додаток А	146
Додаток Б.....	151
Додаток В	158
Додаток Г	165 <u>5</u>

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- AP – антенна решітка
- АС – абонентська станція
- АСУ – автоматична система управління
- БС – базова станція
- ДС – діаграма спрямованості
- ІТ – інформаційно-комунікаційні технології
- МД – множинний доступ
- ПЗ – пропускна здатність
- ТКМ – телекомунікаційна мережа
- ТКС – телекомунікаційна система
- ЦАР – цифрова антенна решітка
- CDMA – Code Division Multiple Access, множинний доступ з кодовим поділом каналів
- DAMA – Demand Assignet Multiple Access, множинний доступ з розподілом за запитом
- FDMA – Frequency Division Multiple Access, множинний доступ з частотним поділом каналів
- QoS – Quality os Service, якість сервісу
- SDMA – Space Division Multiple Access, множинний доступ з просторовим розділенням каналів
- TDMA – Time Division Multiple Access, множинний доступ з часовим поділом каналів

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток телекомунікаційних систем (ТКС) здійснюється у напрямку забезпечення необхідної якості послуг, які надаються користувачам. Особлива увага приділяється безпроводовим технологіям, на основі використання яких щороку зростає попит на надання постійно зростаючого обсягу інформації із значним підвищенням швидкості її отримання. Це супроводжується зростанням інтенсивності потоків інформації, у результаті чого вони значно перевершують пропускні можливості мереж. Особливої актуальності це протиріччя набуває у мобільних безпроводових системах зв'язку, які працюють в складних умовах розповсюдження сигналів та дії потужних електромагнітних завад. Збільшення випромінюваної потужності сигналу та розширення використовуваної смуги частот у теперішній час не дозволяють повною мірою ефективно розв'язати задачу, що виникла. Для подолання сформованого дисбалансу пропонується підвищувати пропускну здатність безпроводової телекомунікаційної системи шляхом формування паралельних інформаційних потоків.

Значний вклад в розвиток методів підвищення якості надання інфокомунікаційних послуг в безпроводових телекомунікаційних мережах внесли багато вітчизняних та закордонних вчених. Серед них Поповський В.В., Климаш М.М., Лемешко О.В., Дуравкін Є.В., Приходько С.І., Харченко В.С., Захарченко М.В., Шеннон К., Хартлі Р.Л. та ін.

Проте питанням організації якісного зв'язку в телекомунікаційних системах з радіодоступом, які працюють в умовах дії потужних електромагнітних завад, приділено недостатньо уваги. В той же час саме методи формування паралельних інформаційних потоків є ключовими при забезпеченні необхідної якості обслуговування в телекомунікаційних системах з радіодоступом. Отже, існує суперечність, яка викликана: з одного боку - зростанням вимог щодо якості надання інфокомунікаційних послуг, а з

іншого - складнощами щодо надання сервісів заданої якості з використанням безпроводових технологій в умовах дії потужних електромагнітних завад. Таким чином, розробка методів та засобів підвищення ефективності роботи телекомунікаційних систем з радіодоступом в умовах дії потужних електромагнітних завад для задоволення вимог щодо рівня якості обслуговування при наданні послуг є **актуальною науково-прикладною задачею**.

У той же час для стандартизованих технологій проведена оцінка пропускної здатності телекомунікаційних систем з радіодоступом виявила наступне. По-перше, інтенсивність потоку інформації перевищує реальну пропускну здатність безпроводових телекомунікаційних систем. По-друге, наявність потужних електромагнітних завад суттєво зменшує співвідношення сигнал/завада, що зменшує пропускну здатність системи та відповідно погіршує якість обслуговування. Тому пропонується удосконалити методи підвищення пропускної здатності телекомунікаційних систем з радіодоступом.

Отже, **тематика дисертаційних досліджень**, спрямована на підвищення пропускної здатності телекомунікаційних систем з радіодоступом шляхом розробки нових моделей і методів формування паралельних інформаційних потоків, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводились у відповідності із наступними програмами та нормативними документами: Закон України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки» від 09.01.2007 р., №537-V, Закон України «Про телекомунікації» від 18.11.2003 р., №1280-IV, Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій», планами наукової, науково-технічної діяльності Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», в рамках яких були виконані НДР «Розвиток теорії обробки інформації та ідентифікація об'єктів у єдиній інформаційній мережі

систем спостереження» (№ ДР 0110U001250, 2011 р.), «Система попередження про грозову небезпеку» (№ДР 0115U000611, 2015 р.) та госпдоговірних роботах № 20163 від 21.12.2012 р., № 20175 від 20.03.2013 р., № 20181 від 07.05.2013 р.

Участь автора у зазначених науково-дослідних темах та проектах, в яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в розробці методів і моделей підвищенні якості обслуговування в телекомунікаційних системах.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні якості обслуговування в телекомунікаційних системах за показником пропускної здатності шляхом розробки та вдосконалення моделей і методів формування паралельних інформаційних потоків.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- 1) виконати аналіз методів множинного доступу в безпроводових ТКС;
- 2) обґрунтувати напрямки підвищення пропускної здатності ТКС;
- 3) розробити комбінований метод множинного доступу в мережах радіодоступу;
- 4) розробити метод управління просторовим виділенням каналів у мережах радіодоступу;
- 5) розробити модель для оцінки поточної пропускної здатності телекомунікаційної мережі та стану її компонентів;
- 6) розробити модель управління просторовим виділенням каналів у мережах з радіодоступом;
- 7) розробити метод оптимізації довжини інформаційного пакету передачі інформації у безпроводових мережах при дії завад;
- 8) розробити програмно-апаратну модель системи управління адаптивною безпроводовою телекомунікаційною мережею;
- 9) розробити прототип модуля формування діаграми спрямованості фазованої антенної решітки для одночасного формування низки вузьконаправлених променів.

Об'єкт дослідження - процеси формування паралельних інформаційних потоків в безпроводових телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження - моделі та методи формування паралельних інформаційних потоків для підвищення пропускної здатності телекомунікаційних систем з радіо доступом.

Методи дослідження. Обґрунтування наряду підвищення якості надання інформаційних послуг з використанням телекомунікаційних систем здійснювалося на основі системного підходу, що базується на теоретичному апараті дослідження складних систем. При вдосконаленні та розробці математичних моделей були використані методи теорії зв'язку, математичної статистики, теорії ймовірностей та оптимізації. При моделюванні трафіку з пакетною комутацією – теорія телетрафіка. В ході перевірки адекватності запропонованих моделей та оцінки ефективності розроблених методів використовувалися методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Головним науковим результатом дисертаційної роботи є подальший розвиток методів формування паралельних інформаційних потоків в телекомунікаційних системах на основі врахування вимог QoS і поточного стану радіосередовища. У його рамках можна виділити такі наукові результати.

Вперше розроблено:

1) комбінований метод множинного доступу в мережах радіодоступу, який дозволяє підвищити пропускну здатність телекомунікаційної мережі, особливо в умовах дії потужних завад. Сутність методу полягає у тому, що базові станції формують багатопроменеві канали зв'язку, та для кожного користувача за його запитом створюють тимчасовий канал зв'язку у відповідному вузьконаправленому промені, попередньо визначивши місце розташування користувача;

2) метод управління просторовим виділенням каналів у мережах радіодоступу, який відрізняється від існуючих тим, що за запитом користувачів цифрова антенна решітка базової станції формує кожному з них

вузьконаправлений промінь, що дозволяє зменшити кількість променів для обслуговування користувачів;

3) модель управління просторовим виділенням каналів у мережах з радіодоступом, новизна якої полягає у тому, що за запитом користувачів цифрова антенна решітка базової станції формує кожному з них вузько спрямований промінь;

4) розроблено математичну модель оцінки поточної пропускної здатності телекомунікаційної мережі та стану її компонентів на основі просторового розділення користувачів. Запропонована модель дозволяє виконати оцінку впливу завад на швидкість передачі інформації у пакетних системах передачі даних, оцінити характеристики бездротового середовища передачі даних та надати бездротовому пристрою можливість динамічно змінювати параметри MAC-рівня в залежності від зміни параметрів середовища;

5) метод оптимізації довжини інформаційного пакету передачі інформації у бездротових мережах при дії завад. Відмінність від існуючих полягає у тому, що оптимальна довжина переданого пакету формується в залежності від рівня завад і типу модуляції, що дозволяє підвищити швидкість передачі інформації, пропускну здатність мережі та якість обслуговування в цілому.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених моделей та методів в існуючих технологіях забезпечення вимог QoS в телекомунікаційних системах.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені математичні моделі і методи стали основою для розробки відповідних алгоритмів, програм та пристроїв для управління ресурсами в телекомунікаційній системі. Практичне значення результатів полягає в наступному.

1. Розроблений комбінований метод множинного доступу в мережах радіодоступу дозволяє виконувати паралельну передачу інформації з кожним

користувачем при використанні усього частотного ресурсу телекомунікаційної системи, що дозволяє на 52,7% підвищити пропускну здатність ТКС та на 51,9-64% збільшити кількість абонентів, що обслуговує одна базова станція.

2. Застосування розробленого методу управління просторовим виділенням каналів у мережах радіодоступу дозволяє за запитом кожного користувача формувати базовою станцією вузьконаправлений промінь, що зменшує кількість променів для обслуговування користувачів.

3. Запропонований метод передачі інформації у пакетних системах забезпечує оптимальну довжину інформаційного пакету, який використовується при обміні інформацією з конкретним користувачем на основі оцінки відношення сигнал/завада у каналі обміну, що на порядок підвищує швидкість передачі інформації, особливо в умовах дії завад.

4. Розроблена програмно-апаратна модель системи управління адаптивною безпроводовою телекомунікаційною мережею автоматизує процес моніторингу та інтерактивного аналізу зовнішньої електромагнітної обстановки, що дозволило підвищити точність результатів вимірів на 5-7%.

5. На основі розробленого прототипу стає можливою розробка пристрою управління багатопроменевою діаграмою спрямованості цифрової антенної решітки для одночасного формування низки вузьконаправлених променів.

Розроблені технічні рішення захищені патентами України на корисну модель № 70174 від 25.05.2012 р. «Спосіб передачі інформації», № 70955 від 25.06.2012 р. «Спосіб передачі інформації» та Свідоцтвом № 24621 від 31.05.2008 р. про реєстрацію авторського права на твір «Компьютерная программа интерактивного анализа экспериментальных данных и генерации отчетов». Практична значимість отриманих результатів дисертації підтверджується їх застосуванням при виконанні госпдоговірних робіт у науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті «Молнія» (акт реалізації від 15.12.2015 р.) та впроваджено у навчальний процес кафедри

систем інформації Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (акт реалізації від 23.03.2014 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі найважливіші результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить:

- обґрунтування можливості виконання паралельної передачі інформації з кожному користувачеві в мережах радіодоступу у розробленому комбінованому методі множинного доступу [5, 8, 11, 14, 15, 19, 21];

- математичні розрахунки для формування базовою станцією вузьконаправленого променя за запитом кожного користувача при вдосконаленні методу управління просторовим виділенням каналів у мережах радіодоступу [4, 13, 16, 17];

- ідея оптимізації розміру фрагменту пакету передачі інформації при розробці методу підвищення швидкості передачі інформації у системах радіодоступу при дії завад [3, 10];

- математичне моделювання, розробка та реалізація програмного та апаратного забезпечення програмно-апаратної моделі системи управління адаптивною безпроводовою телекомунікаційною мережею [1, 6, 7, 9, 12, 22, 23, 24];

- математичне моделювання та апаратну реалізацію прототипу пристрою управління багатопроменевою діаграмою спрямованості цифрової антенної решітки [2, 18, 20].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися та були схвалені на: III Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ – 2008. МК «Электромагнитная совместимость». – (Харьков: АНПРЭ, 2008.); XIX МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (1-3 червня 2011р., Харків); XX МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (15-17 травня 2012р.,

Харків); I МНТК «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем» IPST-2012, (25-29 вересня 2012р., Крим, Алушта); XXIII Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо'2013. (Севастополь, 8—13 сентября 2013 г.); XIII МНТК «Проблеми інформатики та моделювання», (ПІМ-2013): (23 – 29 вересня 2013 г., г. Ялта, Крим); II МНТК «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем» IPST-2013, (28 вересня по 02 жовтня 2013р., Крим, Алушта); XXVI МНПК «Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации» (23 – 28 сентября 2013р., Крим, Алушта); I МНТК «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» ЭМС-2015.(27 мая 2015г. Харьков); XV МНТК «Проблеми інформатики та моделювання», (ПІМ-2015), (14–18 вересня 2015, м.Одеса); Second International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (IEEE PIC S&T’ 2015, *October 13-15 2015*) Kharkiv, Ukraine.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано у 24 наукових працях: 2 статті у Міжнародних науково-теоретичних журналах [1, 2], 4 статті у фахових науково-технічних журналах [3, 5, 7, 8], 2 статті у науково-технічних збірках наукових праць [4, 6], 2 патенти України [10, 11], одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму [9].

Апробація результатів дисертації відображена у 13 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях [12 - 24], зокрема чотири [12, 18, 22, 24] апробації на конференціях, які входять до бази міжнародної організації IEEE.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Никитин С.А. Гибридная модель модуля управления когнитивной самоорганизующейся сети базовых станций [Текст] / А.А.Серков, И.И.Обод, С.А.Никитин // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – № 15(158). Вып. 27/1. – С. 228 – 232.

2. Nikitin S. Prototype of the Management Module for Cognitive Self-Organizing Base Stations Network [Text] / A. Serkov, I. Obod, S. Nikitin // Nauka i Studia. – Przemysl: Nauka i Studia, 2015. – № 16 (147). – P. 74 – 79.

3. Нікітін С.О. Метод підвищення ефективності використання радіочастотного діапазону для мереж IEEE 802.22WRAN. [Текст] / О.А.Серков, С.О.Нікітін, Л.О.Нікітіна //Вісник НТУ “ХПІ” Зб. наук. праць. Тем. вип. “Техніка і електрофізика високих напруг”. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2011 – № 49 – С. 139-145.

4. Нікітін С.О. Адаптивна оптимізація швидкості передачі у просторово-виділених каналах бездротових телекомунікаційних мереж [Текст] / С.О.Нікітін // Кафедра систем інформації: Зб. наук. праць / Під ред. проф. В.О. Кравця та проф. О.А. Серкова– Х., 2013. – С. 239 – 244.

5. Нікітін С.О. Комбіновані методи множинного доступу у телекомунікаційних мережах [Текст] / О.А.Серков, І.І. Обод, С.О.Нікітін // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2013. – Вип. 6(113). – С. 30-35.

6. Нікітін С.О. Модель адаптивної самоорганізованої мережі базових станцій [Текст] / С.О.Нікітін, О.А.Серков, М.В.Ірха, С.МІванов // Кафедра систем інформації [Текст]: Зб. наук. праць / Під ред. проф. Кравця В.О. та проф. Серкова О.А. – Х.: 2014. – С. 244 – 248.

7. Никитин С.А. Система раннего предупреждения грозовой опасности [Текст] / А.А. Серков, С.А. Никитин, В.И. Кравченко, В.В. Князев // Вісник НТУ “ХПІ” Зб. наук. праць. Тем. вип. “Техніка і електрофізика високих напруг”. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2015 – №51 (1160) – С. 95-99.

8. Нікітін С.О. Методи підвищення пропускну́ї здатності мереж радіодоступу / В.С.Бреславець, С.О.Нікітін // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2016. – Вип. 2 (139). – С. – 89-91.

9. Свідоцтво України № 24621 від 31.05.2008 про реєстрацію авторського права на твір. Компьютерная программа интерактивного анализа экспериментальных данных и генерации отчетов [Текст] / О.А.Серков, С.О.Нікітін, В.О.Кравець, Л.О.Нікітіна.

10. Патент України на корисну модель № 70174, МПК (2012.01) H04L 12/00. Спосіб передачі інформації [Текст] / І.І.Обод, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін, І.В. - № у 2011 14690; заявл. 12.12.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.

11 Патент України на корисну модель № 70955, МПК (2012.01) H04L 12/00. Спосіб передачі інформації [Текст] / І.І.Обод, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін, І.В. - № у 2012 00074; заявл. 03.01.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

12. Нікітін С.О. Програмний комплекс для обробки результатів експериментів [Текст] / О.А.Серков, В.І.Кравченко, С.О.Нікітін, Л.О.Нікітіна // 3-й МРФ «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ – 2008. Сб. науч. тр. Том VI. МК «ЭМС». – Х.: АНПРЭ, 2008. – С. 96 – 99.

13. Нікітін С.О. Метод просторової селекції сигналів та притлумлення завад [Текст] / О.А.Серков, С.О.Нікітін, С.Ю.Скоблiков // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доп. ХІХ МНПК, Ч.IV (1-3 червня 2011р., Харків). – Х.: НТУ «ХП» –С.140.

14. Нікітін С.О. Порівняльний аналіз методів доступу в безпроводі́дних мережах [Текст] / І.І.Обод, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін, Чиор Ель Хаджи Шейку // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доп. ХХ МНПК, Ч.IV (15-17 травня 2012р., Харків). – Х.: НТУ «ХП». – С.78.

15. Нікітін С.О. Когнитивні інфокомунікаційні системи [Текст] / В.О. Кравець, О.А.Серков, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доп. XX МНПК, Ч.IV (15-17 травня 2012р., Харків). – Х., НТУ «ХП». – С.76.

16. Нікітін С.О. Технічні засоби керування діаграмою спрямованості антени для мереж IEEE 802/22 WRAN [Текст] / О.А.Серков, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доп. XX МНПК, Ч.IV (15-17 травня 2012р., Харків). – Х., НТУ «ХП». – С.102.

17. Нікітін С.О. Метод керування діаграмою спрямованості фазованої антенної решітки [Текст] / О.А.Серков, Л.О.Нікітіна, С.О.Нікітін // Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем IPST-2012: Тези доп. I МНТК, (25-29 вересня 2012р., Крим, Алушта). – Х., НТУ «ХП» - С.11.

18. Никитин С.А. Модели и методы управления ресурсом в адаптивных телекоммуникационных сетях / С.А.Никитин, А.А.Серков // 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013). Севастополь, 8-13 сентября 2013 г.: материалы конф. в 2 т. — Севастополь : Вебер, 2013. — 1339 с.

19. Никитин С.А. Методы повышения пропускной способности каналов связи телекоммуникационной сети [Текст] / А.А.Серков, С.А.Никитин, // Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации: Тез. докл. 26 МНПК, (23 – 28 сентября 2013р., Крым, Алушта). – Х., УкрГАЗТ.

20. Нікітін С.О. Модель керування ресурсом у безпроводових телекомунікаційних мережах [Текст] / О.А.Серков, С.О.Нікітін, // Проблеми інформатики и моделирования (ПИМ-2013): Тез. докл. 13 МНТК, (23 – 29 сентября 2013 г., г. Ялта, Крым). – Х., НТУ «ХП», 2013. – С. 13.

21. Никитин С.А. Методы повышения качества каналов связи телекоммуникационной сети [Текст] / А.А.Серков, И.И.Обод, С.А.Никитин, // Информационные проблемы теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем IPST-2013: Тез. докл. II МНТК, (28 сентября - 02 октября 2013р., Крым, Алушта). – Х.: НТУ «ХПИ».

22. Нікітін С.О. Концепція побудови регіональної системи моніторингу грозової небезпеки [Текст] / О.А.Серков, В.І. Кравченко, С.О.Нікітін // Сб. научн. трудов I МНТК "Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводних мереж зв'язи" (ЭМС-2015). 27 - мая 2015, г. Харьков. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – С. 93 – 95.

23. Никитин С.А. Система сбора и обработки распределенной информации [Текст] / А.А.Серков, С.А.Никитин, И.В.Савран // Труды XV МНТК "Проблеми інформатики и моделирования (ПИМ-2015)", 14 – 18 сентября 2015, г. Одесса. - С. 23.

24. Nikitin S. Thunderstorm Hazards Early Warning System / A. Serkov, S. Nikitin, V. Kravchenko V. Knyazev // Second International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (IEEE PIC S&T' 2015, October 13-15 2015) Kharkiv, Ukraine.– С. 137-138.

25. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст]: Учебник для вузов. 4-е изд. / В. Г.Олифер, Н. А.Олифер. — СПб.: Питер, 2010. — 944 с.

26. Олифер, Н.А. Средства анализа и оптимизации локальных сетей [Электронный ресурс] / Н.А. Олифер, В.Г. Олифер. – Режим доступа: http://citforum.ru/nets/optimize/locnop_01.shtml. - Загол. з екрану.

27. Васильев, К.К. Теория электрической связи [Текст]: учебное пособие / К.К. Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, А.Г. Нестеренко; под общ. ред. К.К. Васильева. – Ульяновск: УЛГТУ, 2008. – 452 с.

28. Обод, И.И. Сравнительный анализ методов множественного доступа в мобильных информационных сетях [Текст] / И.И. Обод, Кинан

Арус. // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2013. – Вип. 1 (108). – С. 30-35.

29. Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks [Текст] / Andrew S. Tanenbaum. - Prentice Hall, Upper Saddle River Andrew S. Tanenbaum, NJ, 2003. - 892 pp.

30. ТОМАСИ, У. Электронные системы связи [Текст] : пер. с англ./ У. ТОМАСИ. – М.: Техносфера, 2007. – 1360 с.

31. Бернад, С. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст]: пер. с англ. / С.Бернард. - 2 изд., - М.: «Вильямс», 2007. — 1104 с.

32. Arokiamary, V.J. Mobile computing [Текст] / V.J.Arokiamary. - Pune, India : Technical Publications Pune, 2008. – 176 с.

33. Poole, J. Antennas and Propagation. MIMO Formats - SISO, SIMO, MISO, MU-MIMO [Электронный ресурс] / J.Poole // Radio-electronics.com. Resources and analysis for electronics engineers. – 2015. – Режим доступа: <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/formats-siso-simo-miso-mimo.php>. - Загол. з екрану.

34. Shannon, C.E. A mathematical theory of communication [Текст] / C.E.Shannon // Bell systems Technological Journal, 27. 1948, pp. 379-423.

35. Leon, W. Digital and Analog Communication Systems[Текст] / W.Leon. - Prentice Hall, UpperSaddleRiver. Couch II, 1997. 236 p.

36. Tutorial on set up and communications delays for all UHF SATCOM DAMA modes of operation [Электронный ресурс] // Defense information systems agency joint interoperability and engineering organization (JIEO). Fort Monmouth, New Jersey 07703-5613. – 2011. – Режим доступа: <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA336247&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>. - Загол. з екрану.

37. Phillip M. Feldman. RAND: An Overview and Comparison of Demand Assignment Multiple Access (DAMA) [Электронный ресурс] // Concepts for

Satellite Communications Networks. – 1996. RAND. – Режим доступа:

<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a317607.pdf>. - Загол. з екрану.

38. Финк, Л.М. Теория передачи дискретных сообщений [Текст] / Л.М.Финк. - 2-е изд., переработанное, дополненное. — М.: Советское радио, 1970. — 728 с.

39. Григорьев, В.А. Сети и системы радиодоступа [Текст] / В.А.Григорьев, О.И.Лагутенко, Ю.А.Распаев. - М.: Эко-Трендз, 2005. - 384 с.

40. Alazemi, H.M.K. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes [Текст] / H.M.K.Alazemi, A.Margolis, J.Choi, R.Vijaykumar, S.Roy // Computer Communications. – 2007. vol. 30, no. 18, pp. 3652-3661.

41. Шахнович, И. В. Современные технологии беспроводной связи [Текст] / И. В.Шахнович. - Изд. второе, исправленное и дополненное. — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.

42. Патент України на корисну модель № 59698, МПК (2011.01) H04L 12/00. Спосіб передачі інформації [Текст] / І.І.Обод, Д.С.Дригваль, А.Д.Крига, Є.О.Мірошніченко, І.В. - № и 2010 13390; заявл. 10.11.2010; опубл. 25.05.2011, Бюл. № 10.

43. Кунегин С.В. Повторное использование частот. [Электронный ресурс] / С.В.Кунегин. - Режим доступа:

<http://www.aboutphone.info/kunegin/mobile/povtch.html>. - Загол. з екрану.

44. Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами [Текст] / М.М.Маковеева, Ю.С.Шинаков. - Учеб.пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002.

45. Воскресенский, Д.И. Проектирование фазированных антенных решёток [Текст] / Д.И.Воскресенский. - М.: Радиотехника, 2003 г.

46. Кунегин С.В. Характеристики ФАР. [Электронный ресурс] / С.Кунегин. - Режим доступа: <http://kunegin.narod.ru/ref3/far/chap2.htm>. - Загол. з екрану.

47. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. 'Теория передачи сигналов [Текст] / А.Г.Зюко, Д.Д.Кловский, М.В.Назаров, Л.М.Финк. – М.: Радио и связь, 1986 — с.304
48. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM [Текст] / В.И.Попов. - М.: Эко-Трендз, 2005. - 296 с.: ил.
49. Макаренко С. И. Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонент-ского доступа: учебное пособие / С.И. Макаренко, В.Е.Федосеев. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 179 с.
50. Основы цифровых технологий. Часть II. Методы модуляции. Помехоустойчивость [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://www.konturm.ru/newsprint.php?id=help/stat290805>. - Загол. з екрану.
51. Chen, D. Modulation and demodulation for cooperative diversity in wireless systems [Текст] / D. Chen, J. N. Laneman. // IEEE Transactions on Wireless Communications, - 2006. - Vol. 5, №. 7. - P. 1785.
52. Обод, І.І. Оцінка інформаційної ємності мобільних інформаційних мереж [Текст] / І.І.Обод, І.Л.Яценко. // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2014. – Вип. 5 (121). –с. 136-138.
53. Кравчук, С. О. Анализ пропускной способности системы связи SDMA [Ntrcn] / С. О.Кравчук, М.В.Лаврик. // Наукові записки УНДІЗ: Зб. наук. пр. – Х.: УНДІЗ, 2010. – Вип №2(14). с. 121-125.
54. Schulze, H. Theory end Application of OFDM and CDMA. Wideband Wireless Communications [Текст] / H.Schulze, C.Luders // British library Cataloguing in Publication Data. - John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
55. Пилипенко, А.М. Особенности применения технологии MIMO для повышения пропускной способности беспроводных сетей связи [Электронный ресурс] / А.М.Пилипенко. // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 12. - Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/12/60066>. - Загол. з екрану. - (Дата обращения: 25.05.2016).

56. Семенов, А. Адаптивные решения в беспроводных сетях [Электронный ресурс] / А.Семенов. // Сети и телекоммуникации. №6 (70), июнь 2004. - Режим доступа: <https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=8764>. -

Загол. з экрану. – (Дата обращения: 10.06.2004).

57 Адаптивный подход к оптимизации производительности беспроводных сетей [Электронный ресурс] // Журнал КомпьюАрт. - Режим доступа: <http://www.compuart.ru/article.aspx?id=10735&iid=435>. - Загол. з экрану.

58. Печенежская, Т.П. Адаптивные беспроводные сети: нормативная база и технологии для GREEN COMMUNICATION. [Текст] / Т.П.Печенежская, М.Э.Яновский. // Системи управління, навігації та зв'язку: Зб. наук. пр. –Полтава: ПНТУ, 2011. – Вип. 4 (20). – С. 43-46.

59. Миронов, Ю. Б. Адаптивные методы повышения производительности мобильных беспроводных сетей [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.12.13: защищена 14.01.2011 / Миронов Юрий Борисович. – Москва, 2011. - 129с. - 28с.

60. Разгуляев Л. Перспективные мобильные адаптивные сети передачи информации для СВ США [Электронный ресурс] / Л.Разгуляев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. - №1. - с.35-39. – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/11-1-0-567>. - Загол. з экрану.

61. Петрова, Е.А. Оценка гарантированной информационной скорости передачи в сетях широкополосного радиодоступа с учетом внутрисистемных помех [Электронный ресурс] / Е.А.Петрова. // Журнал радиоэлектроники. Электронный журнал, ISSN 1684-1719 – 2014. N 10 . – 15с. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/alt/oct14/7/text.pdf>.

62. Выборнов О.В. Прогнозирование потенциальной нагрузки секторов сетей широкополосного радиодоступа на основе анализа отношения сигнал/помеха с использованием геоинформационных технологий [Текст] / О.В.Выборнов, А.М.Измайлов, С.В.Козлов, В.Н.Лаврушев, Е.А.Спирина //

Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. №4.

63. Конахович Г.Ф., Чуприн В.М. Сети передачи пакетных данных [Текст] / Г.Ф.Конахович, Чуприн В.М. - МК-Пресс, 2006. - 272с.

64. Хелд, Г. Технологии передачи данных [Текст] / Г.Хелд. – ВHV, 2003. 720с.

65. Калмыков, В.В. Транспорт и доступ в инфокоммуникационных сетях. Том 7 [Текст] / В.В.Калмыков, А.М.Меккель, Н.А.Соколов, Ю.С.Шинаков. – Международная академия связи МАС, 2006. – 264 с.

66. Уолренд, Д. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс [Текст]: пер. с англ. / Д.Уолренд. – Постмаркет, 2008. – 480 с.

67. Пескова, С.А. Сети и телекоммуникации [Текст] / С.А.Пескова, А.В.Кузин, А.Н.Волков. – Академия, 2006. – 352 с.

68. Гольдштейн, Б.С. Сети святы [Текст]: Учебник для ВУЗов / Б.С.Гольдштейн, Н.А.Соколов, Г.Г.Яновский. - СПб.:БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

69. Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В.М.Вишневский, А.И.Ляхов, С.Л.Портной, И.Л.Шахнович. - М.: Техносфера, 2005. – 342 с.

70. Bianchi, G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function [Текст] / G.Bianchi // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. - 2000. Vol. 18. P. 535-548.

71. Вишневский, В.М. Оптимизация работы высокоскоростной беспроводной сети в условиях помех [Текст] / В.М.Вишневский, А.И.Ляхов, М.Ю.Якимов // - М.: Электросвязь, 2007. №8. с. 16-19.

72. Vishnevsky, V.M. Study of Beaconing in Multi-Hop Wireless PAN with Distributed Control [Текст] / V V.M.ishnevsky, A.I.Lyakhov, A.A.Safonov, S.S.Mo, A.D.Gelman // IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008. Vol. 7. № 1, pp. 113-126.

73 Ляхов, А.И. Аналитическая модель передачи данных в сети IEEE 802.16 [Текст] / Л.А.И.яхов, Д.В.Лукин // Автоматика и телемеханика, 2009. № 11. С. 87-100.

74 Lyakhov A. Yakimov M. Analytical Study of QoS Oriented Multicast in Wireless Networks [Текст] / A.Lyakhov, M.Yakimov // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011. V.11. Article ID 307507.

75 Shvets E. Analytical model of IEEE 802.11s MCCA based streaming in the presence of noise [Текст] / E.Shvets, A.Lyakhov, A.Safonov, E.Khorov // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2011. V.39. No. 2. P.38-40.

76. Ляхов, А.И. Проблема неравномерного распределения пропускной способности канала в сетях IEEE 802.11 [Текст] / А.И.Ляхов, И.А.Пустогаров, А.С.Гудилов // Информационные процессы, 2008. Т. 8. № 3. С. 149-167.

77. Dongxia, X. An access delay model for IEEE 802.11e EDCA [Текст] / X.Dongxia, S.Taka, L.V.Nai // IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009. Vol.8, pp.261-275.

78. Кирьянов А.Г., Ляхов А.И., Сафонов А.А., Хоров Е.М. Метод оценки эффективности механизмов управления соединениями в беспроводных самоорганизующихся сетях [Текст] / А.Г.Кирьянов, А.И.Ляхов, А.А.Сафонов, Е.М.Хоров // Автоматика и телемеханика. 2012. № 5. С. 39–56.

79. Ipatov V.P. Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications .– John Willy & Sons Ltd, 2004 - 398p.

80. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст]: пер. с англ. / Б.Скляр. - М.: Издат. Дом «Вильямс».- 2003.-1104 с.

81. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополненное [Текст] / И.В.Шахнович. — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.

82. Вишневский, В. М. Оценка пропускной способности локальной беспроводной сети при высокой нагрузке и помехах [Текст] /

В.М.Вишневский, А.И.Ляхов // Автоматика и телемеханика, 2001. № 8. - с.81–96

83. H. Gharavi, B. Hu. "Directional Antenna for Multipath Ad Hoc Routing", National Institute of Standards and Technology, 2009.

84. Слюсар В. Цифровые антенные решетки – будущее радиолокации [Текст] / В.Слюсар // Военная электроника, 2001. №3. - с. 42-48.

85. Прокис, Д. Цифровая связь [Текст]: пер. с англ. / Д.Прокис. – М: Радио и связь, 2000. – 324 с.

86. Ермолаев, В.Т. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи [Текст] / В.Т.Ермолаев, А.Г.Флакман. - Нижний новгород, 2006. - 99с.

87 Ермолаев, В.Т. Применение адаптивных антенных решеток для повышения скорости передачи информации в беспроводных компьютерных сетях [Текст] / В.Т.Ермолаев, А.А.Мальцев, А.Г.Флакман, Е.А.Маврычев, С.А.Тираспольский, О.В.Болховская // Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ. - 2002. -с. 22-28.

