

УДК 621.391

Толубко В.Б., д.т.н.; Беркман Л.Н., д.т.н.; Крючкова Л.П., д.т.н.; Ткачов А.Ю.

## ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОСЛУГАМИ МЕРЕЖАМИ МАЙБУТНЬОГО

**Tolubko V.B., Berkman L.N., Kriuchkova L.P., Tkachov A. Y. Increasing the quality of the system of services management of the networks of the future.**

The work analyzes the way of LTE technology development. The current OFDM technology is investigated and properties are defined that allow to provide requirements for LTE-based access systems. OFDM and its various modifications - is an excellent solution for the architectures of modern networks operating in megapolises. The investigation of methods of processing multipositional phase modulated signals characteristic of LTE systems has been carried out. It is established that in communication systems, hardly demanding requirements to noise immunity of information transmission, the most effective use is the use of multiposition signals with amplitude-phase modulation. The universal algorithm for optimal reception of multi-position AFM signals in multichannel modems with inter-orthogonal signals is proposed and proposed for realization.

**Key words:** telecommunication, network, LTE, OFDM, signals

**Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткачов А.Ю. Підвищення показників якості системи управління послугами мережами майбутнього.**

У роботі проведено аналіз шляху розвитку технології LTE. Досліджено актуальну для сьогодення технологію OFDM та визначено властивості, які дозволяють забезпечити вимоги для систем доступу на базі LTE. OFDM та її різноманітні модифікації – є відмінним рішенням для архітектур сучасних мереж, які працюють в умовах мегаполісу.

Проведено дослідження методів обробки багатопозиційних фазомодульованих сигналів, характерних для систем LTE. Встановлено, що в системах зв'язку, де особливо жорсткі вимоги до завадостійкості передачі інформації, найефективнішим є використання багатопозиційних сигналів з амплітудно-фазовою модуляцією. Досліджено та запропоновано до реалізації універсальний алгоритм оптимального прийому багатопозиційних АФМ сигналів в багатоканальних модемах із взаємоортогональними сигналами.

**Ключові слова:** телекомунікації, мережа, LTE, OFDM, сигнали

**Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткачов А.Ю. Повышение показателей качества системы управления услугами сетей будущего.**

В работе проведен анализ пути развития технологии LTE. Исследована актуальная для настоящего технологию OFDM и определены свойства, которые позволяют обеспечить требования для систем доступа на базе LTE. OFDM и ее различные модификации - является отличным решением для архитектур современных сетей, работающих в условиях мегаполиса.

Проведено исследование методов обработки многопозиционных фазомодульованих сигналов, характерных для систем LTE. Установлено, что в системах связи, где особенно жесткие требования к помехоустойчивости передачи информации, наиболее эффективным является использование многопозиционных сигналов с амплитудно-фазовой модуляцией. Исследованы и предложены к реализации универсальный алгоритм оптимального приема многопозиционных АФМ сигналов в многоканальных модемах с взаимноортогональными сигналами.

**Ключевые слова:** телекоммуникации, сеть, LTE, OFDM, сигналы

### Вступ

**Постановка задачі.** Згідно з прогнозами, при підвищенні якості та збільшенні обсягу наданих послуг кількість управляючої інформації в системі управління стрімко зростає. Внаслідок цього система управління може поглинути основну мережу.

© Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Ткачов А.Ю., 2018

Система управління адекватно поняттю - "велика система". Останнє характеризується кількома специфічними ознаками. Це, насамперед, багатомірність розмаїття структури; багатозв'язність елементів (взаємозв'язок підсистем на одному рівні та між різними рівнями ієрархії); різномірність бази елементів; багатократність зміни складу і стану (змінність структури, зв'язків і складу системи); багатокритеріальність; багатоплановість.

**Мета та задачі дослідження.** Дослідження інфокомунікаційних мереж та розробка методики розрахунку обсягу управляючої інформації для забезпечення точності показників якості систем і мереж майбутнього Future Networks. Необхідність реалізації мереж майбутнього дає можливість з великою швидкістю надати користувачам вільний доступ до інформаційно-комунікаційних ресурсів, в будь який час та в будь якому місці. Тому високошвидкісні системи передачі інформації вже активно впроваджуються в Україні.

**Методи досліджень.** Для досягнення поставлених у дипломній роботі задач використано: методи теорії інформації, методи теорії інваріантності, методи системного аналізу, елементи методів теорії ієрархічних багаторівневих систем, методи оптимального управління, методи імітаційного моделювання.

**Предмет дослідження** - мережа майбутнього FN.

Для досягнення мети вирішуються такі наукові задачі:

- 1) аналіз основних завдань щодо еволюційного переходу перспективної мережі наступного покоління до телекомунікаційної мережі майбутнього;
- 2) дослідження технології OFDM та її різноманітних модифікацій як однієї з платформ, яка дозволяє впроваджувати технологію LTE в системи доступу;
- 3) аналіз та порівняння механізмів самоорганізації та самоідентифікації мереж FN;
- 4) розробка методики самоорганізації моделі математичного моделювання відповідних мережних процесів на базі динамічних систем, яка найбільш адекватна і дає змогу визначити основні параметри мережі із забезпеченням потрібних параметрів і показників якості функціонування зазначених мереж;

### **1. Загальні відомості та підходи до створення єдиного інформаційного суспільства.**

В наш час одною із головних задач є створення та розвиток національного сегмента інформаційного суспільства і входження України до світової інформаційної спільноти.

Інформаційне суспільство відіграє дуже важливу роль у різних сферах людської діяльності (в економіці, політиці, освіті, медицині, державному управлінні та особистому житті), з використанням інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), що дає змогу створювати, накопичувати та розповсюджувати інформацію з метою інтелектуального зростання та суспільного прогресу.

Інформаційне суспільство ґрунтується на загальному для всіх країн фундаменті, яким є інформаційно-комунікаційна інфраструктура.

Створення нових технологій – це шлях до створення єдиного інформаційного суспільства, невід'ємною частиною якого є створення, обробка та передача інформації. Перехід від різномірних телекомунікаційних мереж майбутнього покоління FN (Future Networks) – мультисервісних мереж є реальністю.

Перехід до FN можна вважати радикальним рішенням щодо модернізації телекомунікаційної системи. Змінюються не тільки технологічні принципи передавання і комутації. Досить істотні зміни відбуваються на ринку інфокомунікаційних послуг, у системі технічної експлуатації.

Відмінною особливістю ідеологій FN є використання технологій IP (Internet Protocol) для передачі та для комутації. Ця властивість стимулює розробку принципів побудови інфокомунікаційних мереж, які в загальному вигляді можуть бути представлені трьома рівнями: транспортним, управління комутацією та передаванням інформації, управління послугами.

Основними особливостями інфокомунікаційних послуг є:

- “мультисервісність”, розуміємо як незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;
- “широкосмуговість” – це можливість гнучкої й динамічної зміни швидкості передачі інформації в широкому діапазоні залежно від поточних потреб користувача;
- “мультимедійність” – це здатність мережі передавати багатокомпонентну інформацію (мова, дані відео, аудіо) з необхідною синхронізацією цих компонентів у реальному часі і використанням складних конфігурацій з'єднань;
- “інтелектуальність” – це можливість керування послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача або постачальника послуг;
- “інваріантність доступу” – розуміємо як можливість організації доступу до послуг незалежно від використовуваної технології;
- “багатооператорність” – це можливість участі декількох операторів у процесі надання послуги і поділ відповідно до їх області діяльності.

Існуючі мережі зв'язку загального користування з комутацією каналів і комутацією пакетів у цей час не відповідають перерахованим вище вимогам. Обмежені можливості традиційних мереж є стримуючим чинником на шляху впровадження інноваційних інфокомунікаційних послуг.

### **1.1. Глобальне Інформаційне Суспільство – як мета розвитку техногенної цивілізації**

В наш час розвиток світової економіки дуже сильно залежить від основних факторів телекомунікаційних технологій. Отже, нові технології – це шлях до створення Глобального Інформаційного Суспільства (ГІС) та електронної економіки.

Концепція ГІС мінялася кілька разів впродовж останніх років, тому треба конкретизувати, що ж ми розуміємо під Глобальним Інформаційним Суспільством. Спочатку ГІС розуміли як об'єднання та організацію всіх інформаційних ресурсів, до яких користувачі мали доступ. У такому вигляді для реалізації ГІС вистачало швидкісного Інтернет. Пізніше, до ГІС була вже включена відеоінформація, інтерактивні ігри, та все те, що називається індустрією розваг. Завдяки цьому, з'явилась нова концепція, яка мала назву Triple Play (послуги передачі даних, голосу та відео). Є гіпотеза, що дуже важливу роль в наступній концепції ГІС гратимуть питання ідентифікації положення людини в просторі. Інноваційні технології 4G вже використовуються в сферах безпеки і охорони громадського порядку, телемедицини та дистанційної освіти. Концепції ГІС об'єднує те, що все це втілюється за допомогою нових технологій та послуг. Головною задачею телекомунікацій є створення, передача та обробка інформації. Нові технології все більше завойовують світовий ринок, тому найкращим рішенням є створення такої мережі, яка забезпечить розвиток міжнародної економіки.

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) прогнозує в період з 2015 року до 2020 року впровадження принципів створення мережі нового покоління – FN (Future Networks). В рекомендації МСЕ Y.3001, яка була прийнята в травні 2011 року йде мова про еволюційний розвиток мережі наступного покоління NGN (Next Generation Networks) з поступовим переходом до мережі майбутнього, а також розвиток глобальної інформаційної інфраструктури з використанням Інтернет протоколів (IP). Це потрібно через те, тому що з'являються нові прикладні області, такі як: інтернет речей (Internet of Things), розумні мережі (Smart Grid) та хмарні обчислення (Cloud Computing).

Мережа майбутнього – це глобальна інформаційна інфраструктура, яка об'єднує в собі вже існуючі інформаційно-комунікаційні мережі. Існують чотири чинники (рис. 1.1), які будуть впливати на створення мережі майбутнього:

- сервісний чинник, передбачає в мережі майбутнього надання великої кількості послуг для задоволення потреб користувачів. Очікується, що число та об'єм послуг буде швидко зростати. Також передбачається введення нових послуг без суттєвих капіталовкладень та без збільшення експлуатаційних витрати, забезпечуючи високу надійність та безпеку мережі.

- чинник даних, в зв'язку з гігантською обробкою даних, передбачає оптимізацію архітектури мультисервісних телекомунікаційних мереж. Користувачі мають змогу швидко та легко користуватися інформацією, незалежно від місця розташування.

- екологічний чинник, передбачає, що створена мережа майбутнього буде цілком безпечна для навколишнього середовища. Виконання дизайну архітектури майбутньої мережі повинен бути такий, щоб мінімізувати вплив на екосистему, а також мінімізувати споживання матеріалів, енергії та викидів парникових газів;

- соціально-економічний чинник, передбачає, що соціально-економічні проблеми в суспільстві будуть зменшувати рівень доступу до ресурсів мережі, в зв'язку з втратою платоспроможності. Пропонується переглянути витрати на забезпечення життєвого циклу послуги в сторону зменшення і уніфікувати послуги з метою надання послуг доступу до ресурсів FN широкому колу мешканців.

Таким чином, можна зробити незаперечний висновок, що процес глобалізації в світі продовжиться з паралельним зміцненням та збільшенням потужності обробки даних глобальною інформаційною інфраструктурою. Для побудови FN будуть використані переважно кремнієві та оптичні технології, швидкість передачі даних в мережі буде сягати більше 1 Тбіт/с.

Зрозуміло, що архітектура мережі майбутнього повинна бути гнучкою та ретельно розробленою, щоб враховувати безперервну зміну вимог з врахуванням факту просування чесної конкуренції. Стандартизація архітектури FN процес довготривалий і за оцінками фахівців МСЕ потребує декілька років, тому є сенс уточнити, що собою являє мережа наступного покоління, як основа для створення мережі майбутнього.

Треба проаналізувати, що ж являє собою мережа наступного покоління NGN. Міжнародний союз електрозв'язку дає наступне визначення мережі наступного покоління: "NGN – це мережа з пакетною комутацією, що здатна надавати користувачам послуги електрозв'язку і використовувати для цього декілька ширококутних технологій транспорту з можливістю встановлення якості обслуговування (QoS), де пов'язані з обслуговуванням функції не залежать від технологій, що забезпечують транспорт. NGN забезпечує вільний доступ користувачів до мереж телекомунікацій і конкуруючим постачальникам послуг, підтримує універсальну рухливість, яка забезпечує надання послуг користувачам в будь-якому місці і в будь-який час".

В більшості випадків NGN призначена для надання користувачам взаємно узгоджених, поширених і надійних послуг зв'язку і інформаційних послуг. NGN (згідно з визначенням МСЕ) відрізняється від Інтернет мережі. Інтернет – це мережа, що базується на пакетній комутації, але це відкрита мережа, яка створена шляхом приєднання мереж. У основі NGN і Інтернету лежать різні принципи побудови і експлуатації мереж. NGN і автономна мережа Інтернет можуть співіснувати за відповідних умов, але необхідно розуміти, що NGN відрізняється від Інтернету високою надійністю і ступенем інтеграції. NGN відрізняється від Інтернету ще тим, що для неї потрібні додаткові інвестиції, велика пропускна спроможність і наявність

функціональних можливостей, внаслідок чого витрати на побудову і технічне забезпечення NGN – вищі, ніж для Інтернету. З одного боку, NGN може розглядатися як мережа ширококутвого зв'язку, керована оператором, яка об'єднує надання послуг кінцевим користувачам по всіх рівнях транспорту, що базуються на пакетах, з'єднаннях і послугах передачі даних, голосу і відео, що надаються верхніми рівнями. З іншого боку, архітектура NGN також дозволяє відокремлювати ролі різних рівнів для цілей експлуатації

пасивної мережі, експлуатації активної мережі і надання послуг. Інвестиційні характеристики і можливості відносно NGN відрізняються, наприклад, у учасників з числа комерційних організацій, місцевих органів влади, комунальних організацій, тощо. Оператори телекомунікацій здійснюють модернізацію NGN по двом складовим – базовою NGN (транспортна або магістральна мережа з використанням технологій DWDM/Ethernet SDH/ATM/IP MPLS) і NGN доступу (обслуговування кінцевих користувачів, наприклад, мідна/кабельна абонентська лінія фіксованого доступу з використанням технологій xDSL чи FTTH або лінія безпроводового доступу з використанням технологій WiFi, 3G, WiMax чи LTE).

## **1.2. Принципи побудови систем OFDM**

На сьогодні найновіші телекомунікаційні проводові та безпроводові стандарти використовують технологію OFDM.

Технологія OFDM – це одночасна передача потоку цифрових даних по багатьом частотним каналам (з багатьма носівними або носівними коливаннями) і на сьогодні розглядається як одна з найбільш перспективних для побудови широкосмугових систем цифрового радіозв'язку по багатопроменевих каналах, що забезпечує досить високу спектральну ефективність цих систем. Однією із привабливих властивостей даної технології вважається відносно висока стійкість стосовно частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад. У системах з одним носівним коливанням, завмирання на даній частоті або вузькосмугова завада, що попадає на цю частоту, можуть повністю перервати передавання даних. У багаточастотних системах в аналогічних умовах виявляються подавленими лише незначна частина носівних коливань. Завадостійке кодування може забезпечити відновлення даних, загублених на подавлених носівних.

При OFDM високошвидкісний потік даних розбивається на велике число низькошвидкісних потоків, кожний з яких передається у своєму частотному каналі (на своїй носівній частоті), тобто в частотних каналах тривалість каналних символів може бути обрана досить велика, що значно перевищує час збільшення затримки сигналу в каналі. Отже, в кожному частотному каналі вражається лише незначна частина каналного символу, яку можна вилучити з наступної обробки в приймачі за рахунок введення часового захисного інтервалу між сусідніми каналними символами при контрольованому зниженні швидкості передачі.

Висока спектральна ефективність забезпечується досить близьким розташуванням частот сусідніх носівних коливань, які генеруються спільно так, щоб сигнали всіх носівних були ортогональні. Це досягається завдяки використанню дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), яке може бути ефективно виконано із застосуванням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Слід зазначити, що таке перетворення використовується в приймачі даної системи передачі при демодуляції прийнятого сигналу. Завдяки цьому абонентське устаткування виявляється порівняно простим, оскільки виключається необхідність використання наборів генераторів гармонійних носівних коливань і когерентних демодуляторів, які необхідні при звичайному частотному розподілі каналів.

## **2. Методика визначення затримки управляючої інформації.**

В системах управління сучасними телекомунікаційними мережами одним з найбільш важливих параметрів є середня затримка, необхідна для доставки управляючої інформації до місця призначення.

Головною методологічною основою для аналізу затримки є теорія масового обслуговування. Проте її використання найчастіше потребує пропозицій для спрощення складного математичного апарату.

Тому в деяких випадках точні кількісні розрахунки затримки виконати неможливо. Моделі згаданої теорії нерідко стають основою для достатньо точних апроксимацій затримки, а також дозволяють одержати позитивні та якісні результати.

Аналізуючи систему управління розглянемо два характерних види мереж: з комутацією пакетів і комутацією каналів. Перший вид - з комутацією пакетів через мережу від джерела до одержувача за деяким маршрутом, вибір якого визначається проектом мережі. У другому - комутація каналів для пари користувачів (в даному випадку – це об'єкти системи управління), які повинні з'єднатися між собою, установлюється маршрут передачі від одного до іншого. Такі параметри, як число і довжина пакетів, що надходять до мережі або проходять через неї в будь-який момент часу, число викликів, що надходять на вхід мережі за заданий час, тривалість зайняття, у загальному випадку схильні до статичних змін. Тому, для вивчення їхнього впливу на систему й одержання відповідних кількісних характеристик системи, повинні застосовуватися ймовірнісні методи. Ключову роль в аналізі мереж відіграє *теорія черг*.

Відзначимо, що в оригіналі queuing theory або просто queuing, у науково-технічній літературі широко розповсюджений термін *теорія масового обслуговування*. Науку про застосування теорії черг, або теорію масового обслуговування, стосовно задач розрахунку мереж зв'язку, називають *теорією телетрафіка*. Як відомо, при дослідженні мереж з комутацією пакетів проблеми черг виникають абсолютно природно. Пакети, що поступають на вхід мережі або проміжного вузла на шляху до пункту призначення, нагромаджуються, обробляються з метою вибору відповідного каналу передачі до наступного вузла, а потім зчитуються каналом в визначений час їх передачі. Час, затрачений на очікування передачі в накопичувачі, є важливим показником, що характеризує роботу мережі. Оскільки затримка передачі, тобто час очікування, входить як складова до однієї з основних характеристик, що безпосередньо відчуються користувачем. Час очікування звичайно залежить від часу обробки у вузлі і довжини пакету, залежить також від пропускнуої спроможності каналу передачі, який виражається числом пакетів, переданих за секунду, інтенсивністю надходження пакетів у вузол (число пакетів за секунду), і дисципліни обслуговування, що застосовується при обробці пакетів.

Теорія черг виникає також при дослідженнях мереж з комутацією каналів, і не тільки при вивченні обробки викликів, але і з аналізу залежності між числом доступних каналів (кожний з яких одночасно може обробляти один виклик) і ймовірністю того, що виклик, який потребує встановлення з'єднання буде заблокований або поставлений в чергу для очікування на обслуговування.

### **Висновки**

1. Проведено аналіз основних завдань щодо еволюційного переходу до перспективних телекомунікаційних мереж наступного NGN та майбутнього FN поколінь. FN надаватиме єдину, але широко відому послугу під назвою “зв'язок”.

2. Досліджено актуальну для сьогодення технологію OFDM і її різноманітні модифікації як одну з платформ, яка дозволяє впроваджувати технології LTE в системи доступу, що важливо для практичного застосування. Визначено властивості, які є відмінним рішенням для архітектур сучасних мереж в умовах мегаполіса.

### **Список використаної літератури**

1. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: системи мультимплексування. - К.: Техніка, 2005. – 312 с.

2. Бакланов И.Г., NGN: принципы построения и организации// под ред. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400с.

3. Бондарчук А.П., Твердохліб М.Г. Покращення оптимального проектування мережі FGN для трьох показників якості // Цифрові технології. Випуск 8. - 2010. - С. 125-127.
4. Варфоломеева О.Г. Методика розрахунку показників ефективності системи управління мережами телекомунікацій із застосуванням методу експертних оцінок // Зв'язок.-2005.- №7(59). - С. 22-25.
5. Витерби Э.Д. Принципы когерентной связи. –М.: Сов. радио. 1970. – 392 с.
6. Гребешков А.Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи.// М.: Эко-Трендз, 2003. - 288 с.
7. Стеглов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. – Підручник для ВНЗ. К.: Техніка, 2001. – 392 с.
8. Стеглов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. –Підручник для ВНЗ. К.: Техніка, 2002. – 792 с.
9. Стеглов В.К., Кільчицький Є.В. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій. – К.: Техніка, 2002. – 438 с.
10. Стеглов В.К., Беркман Л.Н., Кільчицький Е.В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
11. Стеглов В. К., Костік Б.Я., Беркман Л. Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях. - К.: Техніка, 2005.- 395 с.
12. Поповский В.В. Защита информации и телекоммуникационные системы. (в 2-х томах) – Х.: СМІТ, 2006 –Т.1 –238 с.; Т.2 –292 с..
13. Якубайтис Э.А. Открытые информационные сети // М.: Радио и связь, 1991.- 208 с.

#### *Автори статті*

**Толубко Володимир Борисович** – доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна.

**Беркман Любов Наумівна** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Крючкова Лариса Петрівна** – доктор технічних наук, професор кафедри Систем інформаційного та кібернетичного захисту, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Ткачов Артем Юрійович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

#### *Authors of the article*

**Tolubko Volodymyr Borysovych** - sciences doctor (technic), professor, rector of the State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Berkman Lyubov Naumivna** - sciences doctor (technic), professor, vice-rector for scientific and pedagogical work, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Kriuchkova Larysa Petrivna** - sciences doctor (technic), professor of the Department of Systems of information and cybernetic protection, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Tkachov Artem Yuriyovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 20.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Власов