**Актуальність теми.** Як показує практика, безпровідні технології все більше впроваджуються в наш повсякденний світ. Такі технології як WiFi, Bluetooth, GSM стали вже невід'ємною частиною нашого життя. Сучасні мобільні мережі розвиваються в напрямку впровадження концепцій наступного покоління NGN (Next Generation Network) [1, 2]. На даний момент основними представниками таких мереж є WiMAX і LTE мережі . Згідно з прогнозом [3] 60% людей до кінця 2018 будуть мати покриття LTE.

Основними перевагами використання стандарту LTE є те, що мережі, побудовані на його основі, оптимізовані для передачі даних і реалізовані у вигляді комутації пакетів і не включають в себе домен комутації пакетів для надання послуг передачі мови.

Попит на послуги мобільного широкосмугового доступу зростає, і оператори запускають високошвидкісні мережі на основі LTE. Тим не менш, послуги передачі мови приносять близько 70% загального доходу операторів і ясно, що ця функціональність повинна бути реалізована і в мережах LTE.

Мережі LTE працюють на стику провідної і безпровідної мережі . Практика показує, що основні втрати якісних характеристик обслуговування (QoS) відбуваються на кордоні різних середовищ передачі. При передачі мультимедійної інформації по комбінованим мережам з різними технологіями передачі даних, важливим є виконання вимог до якості надання мультимедійної інформації користувачеві. При цьому для трафіку реального часу такого, як трафік VoIP і відео зв’язку, важливими є такі мережеві характеристики: затримка, втрачені та пошкоджені пакетів і джіттер затримки. Згідно з [4] найбільший внесок у затримку і втрати пакетів вносить неоптимальний буфер компенсації джитера (буфер відтворення). До 40% допустимої затримки, визначеної в рекомендації [5], може становити затримка буфера компенсації джиттера. Ще однією проблемою є те, що кінцеві пристрої можуть компенсувати обмежений розмір джитера (порядку 50 мс).

Отже, актуальною є наукова задача, яка полягає в розробці методів попередньої компенсації джитера на кордонах провідних і безпровідних мереж.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Дисертаційна робота пов'язана з реалізацією основних положень «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції Національної програми інформатизації», «Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007 - 2015 року» та «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні». Результати роботи використані при виконанні науково-дослідницької роботи № 1261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління» (№ держреєстрації 0111U002627), яка виконувалась кафедрою телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. У зазначеній науково-дослідницький роботі дисертант був виконавцем.

*Мета і завдання дослідження* полягає в підвищенні якості обслуговування в гібридних мережах, які містять мобільну та стаціонарну компоненту.

У ході вирішення наукової задачі сформульовані і вирішені окремі завдання дослідження:

1. Провести аналіз статистичних характеристик джитеру в стаціонарних і безпровідних мережах.

2. Визначити основні причини формування джитера.

3. Визначити статистичні характеристики нестаціонарності джитера і зробити класифікацію нестаціонарних явищ затримки.

4. Обґрунтувати та розробити математичну модель джитера, що дозволяє відображати динаміку змін стану мережевої затримки.

5. Розробити алгоритми стохастичної оцінки параметрів джитера та управління з метою його мінімізації.

6. Розробити практичні пропозиції щодо вибору параметрів і місць установки агента мінімізації джитера на кордоні стаціонарної й мобільної мережі.

*Об'єкт дослідження:* процес передачі трафіку реального часу через гібридні мережі.

*Предмет дослідження:* метод підвищення якості обслуговування на основі потокових агентів на стику мобільних і стаціонарних мереж.

*Методи дослідження.* У ході розробки алгоритму статистичної оцінки параметрів джитера були використані методи теорії зв'язку, математичної статистики, теорії ймовірності випадкових процесів, теорії рішень, непараметричні методи обробки, робастний фільтр Калмана - Бьюси. Для розробки математичної моделі джитера був використаний апарат теорії викидів. У ході проведення оцінки ефективності використовувалися методи імітаційного моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. У результаті аналізу стану складових каналів зв'язку, включаючи мобільну та стаціонарну компоненту, виявлено причини виникнення нестаціонарності і великого діапазону змінення параметрів джиттера. Проаналізовано механізми формування джитеру в гібридних мережах, отримані статистичні дані характеристик джиттера.

2. Розроблено більш адекватна загальна, в порівнянні з відомими, нестаціонарна математична модель затримки прибуття пакетів, що дозволяє враховувати засміченість подання спостережуваного процесу випадковими викидами і стрибками.

3. Розроблено новий адаптивний метод компенсації джитера на базі робасних процедур інваріантних до розподілу ймовірностей процесу затримки.

4. Розроблено нові рекомендації щодо застосування буфера компенсації джитеру в мережах LTE на основі потокових агентів, що встановлюються на кордоні провідної і безпровідної мережі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані наукові результати мають практичне значення, оскільки вони орієнтовані на подальше впровадження в реальні системи зв'язку, зокрема, в дисертаційних дослідженнях запропоновано новий метод попередньої компенсації джитера на кордоні провідної і безпровідної мережі на основі потових агентів, що дозволяє забезпечити підвищення якості передачі мовного трафіку в гібридних мережах. Крім того, результати дисертаційної роботи використані при виконанні науково-дослідницької роботи № 1261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління». Також отримані результати були використані для написання розділу 5.12 книги «Методи наукових досліджень в телекомунікаціях» [6]. Результати досліджень щодо підвищення якості передачі мовного трафіку в пакетних мережах використані в навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки, зокрема, в дисципліні «Мобільні системи зв'язку» при виконанні лабораторних робіт.

**Особистий внесок здобувача.** У статтях, виконаних у співавторстві, особисто автору належать наступні результати:

У роботі [7] автору належить синтез алгоритму оцінки мережевий затримки.

У роботі [8] автору належить розробка алгоритму оцінки джитера на основі рекурсивних фільтрів.

У роботі [9] автору належить аналіз ефективності використання робастного фільтра Калмана для оцінки процесу затримки.

**Апробація результатів дисертації** проводилася в ході чотирьох міжнародних науково-технічних конференцій і форумів.

**Публікації.** Основні результати за темою дисертації викладені у шести наукових статтях, в чотирьох тезах конференцій і в одному звіті за НДР.

**ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано ціль і питання досліджень, а також дана коротка характеристика дисертаційної роботи.

**У першому розділі** проведено огляд тенденцій розвитку телекомунікаційної галузі і зокрема проведено огляд розвитку мобільних і стаціонарних технологій. В результаті проведеного огляду зроблено висновки, що мобільні мережі стають основними мережами доступу, в той час, як транспортними мережами є провідні волоконно-оптичні мережі. Як показує практика, найбільші втрати якісних характеристик відбуваються на кордонах операторських мереж і мереж з різними механізмами розповсюдження. У наслідок чого дослідження спрямовані на забезпечення необхідної якості обслуговування для мобільних абонентів є актуальними.

Проведено аналіз вимог QoS для надання сервісів реального часу. Основними чинниками, які впливають на якість передачі мови в IP мережах, є джитер, затримка, пошкоджені та втрачені пакети. Згідно з аналізом найбільший внесок у затримку і втрати пакетів вносить неоптимально налаштований буфер компенсації джиттера.

Проаналізовано загальний принцип дії буфера компенсації джиттера. Показано, що буфер перетворює джитер затримки в інші характеристики такі, як загальна затримка і загальні втрати пакетів. За допомогою буфера досягається компроміс між затримкою і втратами, який представлений у вигляді порогу в діапазоні зміни затримки буфера.

Проведено систематизацію основних принципів управління буфером компенсації джиттера. На основі аналізу було обрано адаптивний принцип управління з підстроюванням часу затримки першого пакету кожного мовного потоку. Обраний принцип заснований на тому, що додаткова затримка буферизації вноситься тільки в паузах між мовною активністю, що дозволяє виключити вплив буфера на довжину мовної активності (рис. 1). В іншому випадку робота буфера могла б привести до проблем з розбірливістю мови.