

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження технології зв'язку четвертого покоління та оцінка ефективності використання метода оптимізації хендOVER в мережі LTE

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи РТ-918м

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми _____

(прізвище та ініціали)

Керівник Костенко В.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кошоваленко Ю.А.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма інформаційні мережі зв'язку
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ

к.т.н., доц. Морщавка С.В.« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

Богатирі Іван —
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технології зв'язку четвертого покоління та аналіз ефективності використання метода оптимізації хендвера в мережі LTE
 керівник роботи к.т.н. доцент Костенко В.О.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» 11 2019 року № 365

2. Строк подання студентом роботи 13.12.19

3. Вихідні дані до роботи Дослідити технології зв'язку четвертого покоління та аналізувати ефективність метода оптимізації хендвера в мережі LTE

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести огляд літературних джерел технології LTE advanced. Розглянути процедури передачі обслуговування в мережах стільникового зв'язку LTE. Провести експеримент з діючого стаціонару. Провести моделювання в системі Matlab процедури передачі обслуговування (Handover).

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація у PowerPoint з висвітленням всіх питань магістерської роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-4	Костенко В. О. к.т.н. доцент		
5	Лівосидко Т. В. доц. кафедри		
6	Якімцов Ю. В. доц. кафедри		
11 - керівник	Мороз Т. В. асистент кафедри		

7. Дата видачі завдання « 02 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд технології LTE Advanced	03.03.-13.03.19	вик. Як
2	Основи процедури передачі обслуговування в мережах стільникового зв'язу LTE	14.03.-12.04.19	вик. Як
3	Експериментальна частина	13.04.-20.05.19	вик. Як
4	Моделювання в системі MATLAB процедури передачі обслуговування (handover)	21.05.-18.06.19	вик. Як

Студент(ка)

(підпис)

Богаті І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Костенко В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 97 сторінок, 21 рисунок, 18 таблиць, 8 джерел

Об'єктом дослідження магістерської роботи є базова мережа 4G.

Метою проекту є розгляд основних принципів побудови базових мереж 4G. Визначення залежності швидкості прийому/передачі трафіка від дальності базової станції. Розрахунок режимів роботи низхідної та висхідної ліній зв'язку LTE. Вимірювання залежності швидкості передачі сигналу від дальності зв'язку. Розробка імітаційної моделі, що дозволить оцінити ключові показники ефективності процедури передачі обслуговування між базовими станціями в мережі LTE при різних параметрах системи. Отримання графіків залежності числа невдалих ранніх та пізніх хендверів, а також ймовірність частоти передачі обслуговування між базовими станціями в залежності від параметрів, встановлених в соті (hyst, Offset, Time to Trigger). Ґрунтуючись на отриманих результатах, визначити оптимальні параметри.

Концепція бездротових мереж четвертого покоління досить складна і вимагає ретельного аналізу радіочастотних та протокольних проблем. Тому дослідження даної технології, представляє інтерес і велику складність.

КОНВЕРГЕНЦІЯ, ПАКЕТНА МЕРЕЖА, РІВНІ АРХІТЕКТУРИ, SOFTSWITCH, МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ВУЗОЛ ДОСТУПУ, БАЗОВА СТАНЦІЯ, ОРТОГОНАЛЬНИХ, МОДУЛЯЦІЯ, БЕЗПРОВІДНА МЕРЕЖА, ХЕНДОВЕР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ LTE ADVANCED	12
1.1 Основні параметри стандарту LTE Advanced	12
1.2 Структурна схема побудови мережі LTE Advanced.....	13
1.3 Основні положення радіодоступу	17
1.3.1 Технологія OFDM	18
1.3.2 Використання технології MIMO в мережах LTE Advanced.....	19
1.3.3 Розширення, додані в стандарт.....	21
2 ОСНОВИ ПРОЦЕДУРИ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE	26
2.1 Види хендвера в мережах стільникового зв'язку	26
2.2 Алгоритм процедури Handover (HO) в мережі LTE	29
2.3 Вимірювання, вироблені мобільною станцією в мережі LTE	31
2.4 Події, використовувані в LTE (Events).....	34
2.5 Event A3	35
2.6. Event A5	38
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	39
3.1 Встановлення параметрів та вибір обладнання для експерименту	39
3.2 Розрахунок зони покриття мережі LTE в місті.....	42
3.3 Оцінка допустимої швидкості передачі в каналі мережі LTE для «близьких» і «далеких» користувачів в області U	42
3.4 Розрахунок енергетичного бюджету для мережі LTE.....	43
3.5 Розрахунок чутливості приймача LTE	45

3.6 Розрахунок максимально допустимих втрат мережі LTE.....	48
3.7 Розрахунок лінії в гору (UL) LTE.....	50
3.7.1 Розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача базової станції	51
3.7.2 Визначення необхідної потужності сигналу.....	53
3.7.3 Розрахунок ефективно випромінюваної потужності мобільної станції	54
3.7.4 Визначення максимально допустимих втрат	54
3.8 Розрахунок радіолінії вниз (DL) LTE.....	55
3.8.1 Визначення мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача МС.....	55
3.8.2 Визначення необхідної потужності сигналу.....	56
3.8.3 Розрахунок ефективно випромінюваної потужності базової станції.....	56
3.8.4 Розрахунок допустимих втрат на трасі	56
3.9 Оцінка ємності мережі LTE	57
4 МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ MATLAB ПРОЦЕДУРИ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ (HANDOVER).....	60
4.1 Опис і вхідні дані для імітаційної моделі	60
4.2 Алгоритм роботи імітаційної моделі.....	61
4.2.1 Результати моделювання	62
4.2.2 Дослідження впливу параметрів Hyst і Offset на ймовірність виникнення пізніх і ранніх хендовера.....	63
4.2.3 Знаходження оптимальних параметрів Hyst і Offset для соти	64
5 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	66
5.1 Обґрунтування актуальності теми.....	66

5.2	Визначення трудомісткості та довго тривалості роботи.....	67
5.3	Розрахунок кошторису витрат на практичну реалізацію проекту.....	70
5.3.1	Розрахунок витрат на матеріали.....	71
5.3.2	Розрахунок основної та додаткової заробітної плати	71
5.3.3	Єдиний соціальний внесок.....	72
5.3.4	Витрати на спеціальне устаткування	73
5.3.5	Загально виробничі витрати	75
5.3.6	Бальна оцінка економічної ефективності проекту	76
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	81
6.1	Аналіз потенційних небезпек	81
6.2	Заходи щодо забезпечення безпеки.....	82
6.3	Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці	85
6.4	Заходи з пожежної безпеки.....	89
6.5	Організація і проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт	91
	ВИСНОВКИ	96
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	97

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗКС 7	– загальний канал сигналізації №7
ІМЗ	– інтелектуальна мережа зв'язку
ММПіУ	– метод мережевого планування і управління
МПД	– мережу передачі даних
МРЗ	– мережу рухомого зв'язку
AS	– (Application Server) сервер додатків
ATM	– (Asynchronous Transfer Mode) асинхронний режим передачі
FR	– (Frame Relay) ретрансляція кадрів
IEEE	– (Institute of Electrical and Electronic Engineers) Інститут інженерів в області електроніки і електротехніки
IP	– (Internet Protocol) протокол Інтернету
LTE	– Long-Term Evolution
MCU	– (Multipoint Control Unit) пристрій для реалізації багатоточкової аудіо- та відеоконференції
MIMO	– метод просторового кодування сигналу
NGN	– (Next Generation Network) мережа наступного покоління
OSP	– (Open Settlements Protocol) відкритий протокол взаєморозрахунків
QoS	– (Quality of Service) якість обслуговування
RTP	– (Real-time Transport Protocol) протокол передачі реального часу;
SIP	– (Session Initiation Protocol) протокол ініціювання сеансу зв'язку
SSP	– (Service switching point) вузол комутації послуг
VPN	– (Virtual Private Network) віртуальна приватна мережа

ВСТУП

З розвитком людства збільшився попит на надання послуг в сферах зв'язку та інтернету, що призвело до бурхливого розвитку різних технологій фіксованого та мобільного зв'язку. Особливу і величезну роль в наш час займає сфера інтернету, в якій здійснюється обмін даними, перегляд потокових відеофайлів, а також надання в режимі онлайн всіляких послуг компаній. Мережі, які існували до цих пір, не могли об'єднати в собі всі ці можливості. У 2008 році міжнародне об'єднання Third Generation Partnership Project (3GPP), що розробляє перспективні стандарти мобільного зв'язку, затвердив LTE, як мережу четвертого покоління після 3G. Long Term Evolution (довгостроковий розвиток) – це інтеграція з уже існуючими протоколами, підвищення швидкості та ефективності передачі даних, зниження витрат і так само поліпшення і розширення послуг, що надаються. Сервіси, які можуть запропонувати мережу четвертого покоління, починаються від передачі голосу і даних до мультимедіа та відео. Для реалізацій цих вимог мережа повинна мати високу швидкість прийому/передачі сигналу. В ідеалі технологія LTE може надати швидкість передачі 173 Мбіт/с на прийомі і 58 Мбіт/с на передачу. Перевагою мережі є не тільки висока швидкість, але і радіус покриття базової станції від 5 км до 30 км. У даній роботі розглядається архітектура мережі LTE, різні технологічні режими і можливості мережі в реальних міських умовах із щільною забудовою.

Різні методи самооптимізації в мережі LTE описані в дев'ятому релізі специфікацій 3GPP і охоплюють оптимізацію навантаження, покриття і ємності мережі, динамічну корекцію параметрів мобільності і автоматичне керування міжсотової інтерференції. Для вирішення подібних завдань підтримуються різні функції самооптимізації. Під оптимізацією мається на увазі автоматичне визначення параметрів мережі, які забезпечують максимально можливу якість обслуговування абонентів (знаходження нових

сусідніх станцій і видалення неактивних сусідів, координація рівнів потужності для зменшення інтерференції між сусідніми базовими станціями, оптимізація процесів хендовер і конфігурації QoS). Однією з основних завдань мережі LTE, які будуть бездротовою системою зв'язку, є забезпечення швидкої і безперебійної передачі обслуговування від однієї базової станції (eNodeB) до іншої. Без процедури хендовера кінцевий користувач не зможе отримувати послуги мережі стільникового зв'язку безперервно без розриву з'єднання. Динамічна корекція параметрів мобільності спрямована на скорочення кількості неуспішних спроб передачі обслуговування (хендовер), на більш раціональне використання ресурсів управління за рахунок скорочення числа часто повторюваних перемикань між двома базовими станціями ('ping-pong' ефект). В існуючих мережах мобільного зв'язку оптимізація хендовера виконується вручну протягом тривалого часу (дні, тижні). Такий підхід не є задовільним, оскільки оптимізація повинна виконуватися набагато частіше. Використання оптимізаційного алгоритму, дозволить поліпшити ключові характеристики продуктивності мережі і якість обслуговування абонентів. Основною метою даної роботи є встановлення залежності між різними параметрами мережі і ефективністю процедури хендовера, а також знаходження оптимальних умов. Ефективність процедури хендовера має великий вплив на ключові показники ефективності мережі (KPI), такі як:

- доступність зв'язку (доступність встановлення з'єднання) – ймовірність встановлення з'єднання;
- показник безперервності зв'язку – відсутність передчасного роз'єднання встановленого сполуки між двома абонентами по причинах, не залежних від них;
- пропускна здатність мережі.

Під оптимізацією процедури передачі обслуговування (хендовер) передбачається динамічна корекція параметрів мобільності на основі статистичної інформації про помилки. Основні параметри, що впливають на

ефективність процедури хендовера: гістерезис (hyst), Offset, Time to Trigger. Таким чином основним завданням оптимізації є визначення оптимальних параметрів мережі стільникового зв'язку (гістерезис (hyst), Offset, Time to Trigger). Дослідження в цій галузі проводять безліч вчених. Мета даної роботи – розробити модель, максимально наближену до реальних умов роботи системи, врахувати всі переваги і недоліки вже наявних моделей. Імітаційна модель, дозволить оцінити ключові показники ефективності процедури передачі обслуговування між базовими станціями системи LTE при різних параметрах системи. За допомогою імітаційної моделі планується отримати графіки. Залежно від пропускної здатності стільника, числа невдалих ранніх і пізніх хендоверів в залежності від параметрів, встановлених в соті (гістерезис (Hyst), Offset, Time to Trigger). На основі отриманих даних визначити оптимальні параметри. Для розробки моделі була обрано середовище Matlab.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ LTE ADVANCED

1.1 Основні параметри стандарту LTE Advanced

Стандарт LTE Advanced пропонує ефірний інтерфейс володіє великою еластичністю. Тип мережі має назву E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (розвивається універсальна наземна мережа радіодоступу). Далі представлені основні параметри стандарту LTE Advanced (Rel 10). Технологія множинного доступу може бути двох типів. Прямий канал – OFDMA і зворотний канал – SC-FDMA. Робочий діапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4-2,5 ГГц; 2,6-2,7 ГГц.

До вже наявних частотних діапазонів так само додаються такі:

- 450-470 МГц;
- 698-862 МГц;
- 790-862 МГц;
- 2.3-2.4 ГГц;
- 3.4-4.2 ГГц;
- 4.4-4.99 ГГц.

Швидкість передачі:

- прямий канал (DL) MIMO 4TX × 4RX: 1 Гбіт / с;
- зворотний канал (UL): 500 Мбіт / с;
- ширина смуги радіоканалу: до 100 МГц;
- радіус комірки: 5 - 30 км;
- ємність комірки (кількість обслуговуваних абонентів);
- більше 200 користувачів при смузі 5 МГц;
- більше 400 користувачів при смузі більше 5 МГц.

Система повинна підтримувати роботу з мобільними користувачами, які можуть рухатися зі швидкістю до 350 км/год (або навіть до 500 км/год, залежно від використовуваних частот). Продуктивність системи повинна бути поліпшена при роботі з користувачами, які переміщуються зі швидкістю

від 0 до 10 км/ч. Для більш мобільних користувачів (переміщаються з більш високими швидкостями) продуктивність системи як мінімум не повинна бути гірше, ніж в Rel.8 [1].

У LTE-Advanced додається підтримка MIMO:

- прямий канал (DL) $8\text{TX} \times 8\text{RX}$;
- зворотний канал (UL) $4\text{TX} \times 4\text{RX}$;
- значення затримки (latency) 10мс.

Для низхідного каналу спектральна ефективність дорівнює значенню 3.7 біт/с/Гц/ сектор (при конфігурації 4x4, тобто 4 передають і 4 прийомні антени), а для висхідного каналу – 2.0 біт/с/Гц / сектор (при конфігурації 1x4).

Технологія підтримує наступні види модуляцій, для прямого каналу (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM. Для зворотного каналу (UL): QPSK, 16 QAM. Дуплексне розділення каналів – FDD (Frequency Division Duplex) і TDD (Time Division Duplex).

1.2 Структурна схема побудови мережі LTE Advanced

В рамках технології LTE Advanced для організації мереж LTE була запропонована нова мережева інфраструктура SAE (System Architecture Evolution).

В основу базової мережі SAE покладена концепція «все через IP» і ту обставину, що доступ до неї може здійснюватися як через мережі радіодоступу другого і третього поколінь (UTRAN/GERAN), так і через мережі не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а так само через мережі, що використовують провідні IP-технології (ADSL + FTTH). SAE описує розподіл необхідних функцій до логічних вузлів і необхідні інтерфейси між вузлами. Як показано на рисунку 1.1, системна архітектура розділена на дві частини: мережа радіодоступу (Radio access network-RAN) і core network.

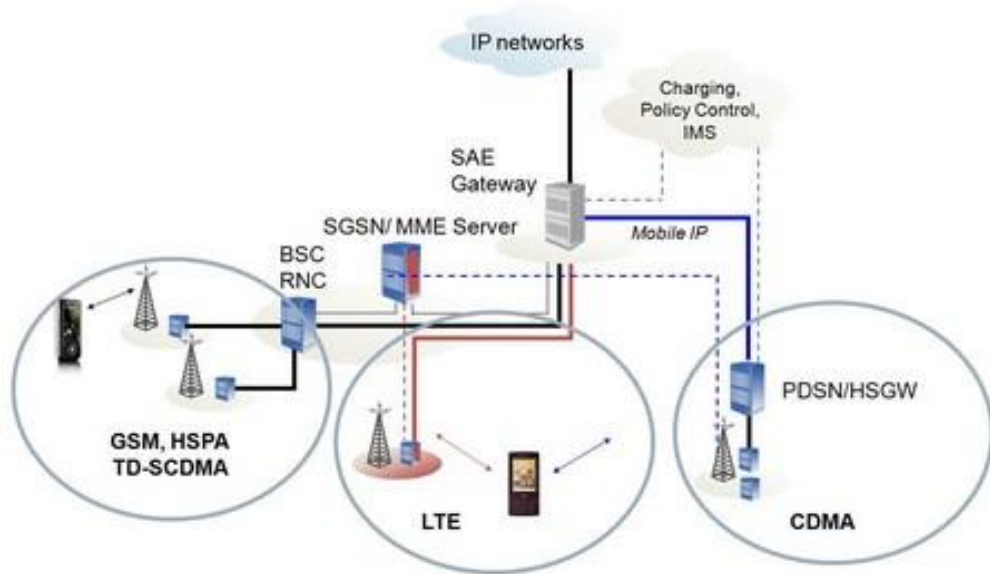


Рисунок 1.1 – Системна архітектура мережі LTE

Далі (рис. 1.2) представлена спрощена схема реалізації архітектури SAE в рамках мережі LTE.

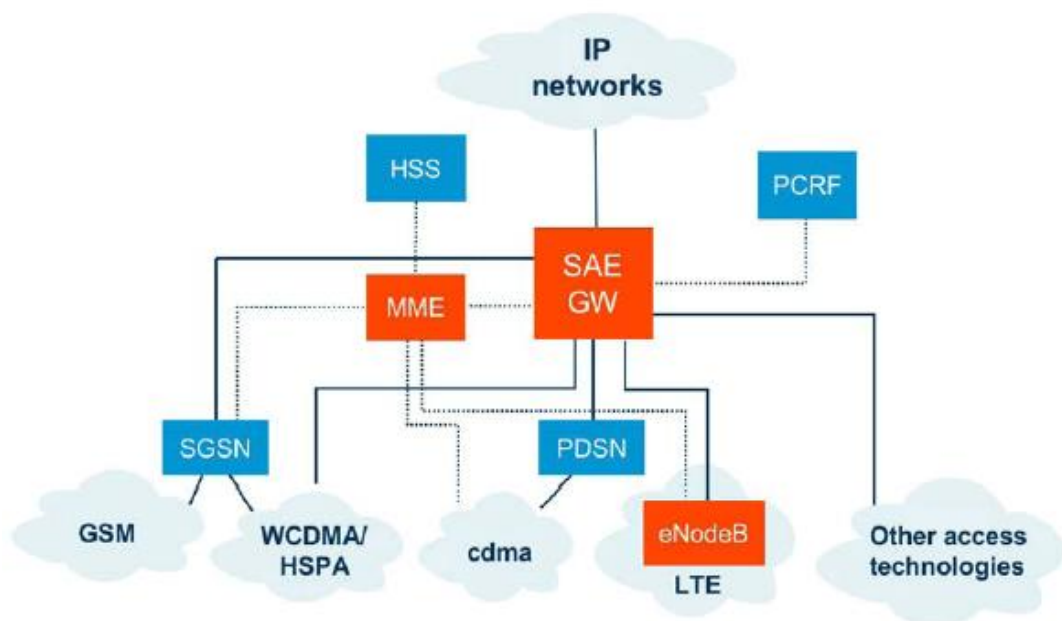


Рисунок 1.2 – Архітектури SAE в рамках мережі LTE

Шлюз може виконувати функції мережі пакетних даних (PDN) і обслуговуючого шлюзу, при цьому може бути налаштований як на будь-яку з цих ролей, так і на обидві. Функціонально MME відділений від шлюзу – для полегшення розгортання мережі, для переходу на незалежну технологію і для максимально гнучкої масштабованості. PDN-шлюз служить загальною опорною точкою для всіх технологій доступу, забезпечуючи стабільну IP-точку присутності для всіх користувачів незалежно від мобільності. MME – модуль управління мобільністю (Mobility Management Entity,) забезпечує зберігання службової інформації про абонента і управління нею. Це основний керуючий елемент в мережі LTE. Він здійснює тільки функції управління і не працює з одними даними. Має безпосередній зв'язок з UE (областю призначеного для користувача устаткування). PCRF (Вузол виставлення рахунків абонентам – Policy and Charging Rules Function): Policy Function (управління політикою) також може бути розділене на 2 функції: контроль шлюзу (gating control) і контроль якості.

Під контролем шлюзу (gating control) розуміється своєчасність і безпомилковість визначення таких подій як початок надання, зміна параметрів, завершення надання послуги і т.п.

Управління якістю включає в себе безперервний моніторинг і підтримання заданих абонентськими параметрами [2] характеристик якості надання послуг (QoS).

HLR/HSS (Home Subscriber Server – сервер абонентських даних мережі) являє собою велику базу даних і призначений для зберігання даних про абонентів.

HLR/HSS служить для зберігання такої інформації:

- призначених для користувача ідентифікаторів, номерів і адресної інформації;
- дані безпеки абонентів: інформація для контролю доступу в мережу, аутентифікації і авторизації;

- інформація про місцезнаходження абонента на міжмережевому рівні, тобто якщо навіть абонент покине поточну мережу LTE оператора, то в HSS збережеться інформація, про те в яку мережу він перейшов для його пошуку в разі вхідного дзвінка;

- інформація про профіль абонента.

LTE заснована на «плоскій» мережевій архітектурі [3], при якій базові станції (або-eNodeB в термінології LTE) безпосередньо підключені до вдосконаленої пакетної опорної мережі (EPC). З боку користувача з'єднання встановлюється з обслуговуючим шлюзом (SGW), з керуючої сторони – з системою підтримки мобільності (MME).

В 3GPP Release 10 [4] підтримується функція ретрансляції, що дозволяє мобільним терміналам обмінюватися даними з мережею через вузол ретрансляції, з'єднаний по бездротовому зв'язку з донорним вузлом eNodeB, з використанням технології радіодоступу LTE і спектра LTE, як показано на рисунку 1.3. З точки зору терміналу вузол ретрансляції представляється «звичайної» базовою станцією. Це означає, що застарілі призначені для користувача пристрої також можуть підключатися до мережі через вузол ретрансляції. Функція ретрансляції може стати одним із способів швидкого і економічно ефективного розширення покриття мережі LTE. Сюди входять як розширення зони обслуговування, так і збільшення швидкості передачі даних.

Область мережі радіодоступу логічно розділена на два рівні: рівень радіомережі (RNL, Radio Network Layer) і рівень транспортної мережі (TNL, Transport Network Layer). Взаємодія входить в область мережі радіодоступу БС здійснюється на основі X2-інтерфейсу. Крім того, має місце транзитне сполучення між базовими станціями і базової мережею через блок управління мобільністю (БУМ: S1 – MM-інтерфейс) або обслуговуючий вузол (ОУ). S1-інтерфейс підтримує множинні відносини між набором БС і блоками БУМ/ОУ.

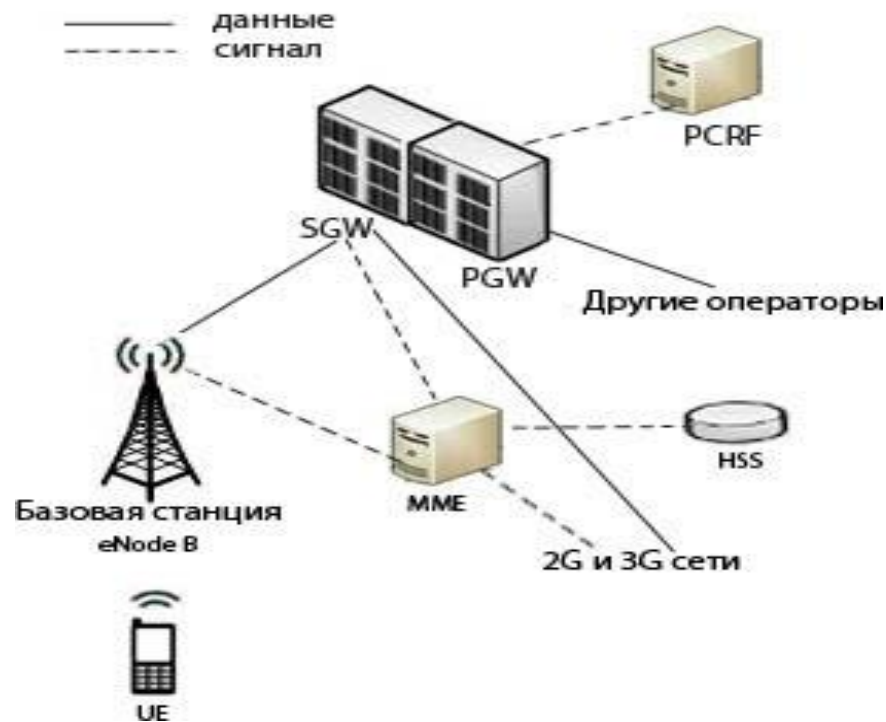


Рисунок 1.3 – базова станція в роботі

1.3 Основні положення радіо доступу

Найбільш важливі технології, включені в нову мережу радіодоступу:

- OFDM Ортогональна модуляція з частотним розділенням, багатовимірне (час, частота) динамічне розподілу ресурсів та адаптація;
- Multiple Input Multiple Output (MIMO) багато антена передача;
- турбо-кодування і гібридний автоматичний запит повтору (ARQ);
- ряд розширень доданих в стандарт (Carrier Aggregation, Relay Nodes, CoMP).

Ці технології будуть описані в наступних пунктах.

1.3.1 Технологія OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing є свого роду несучими метод передачі з відносно великою кількістю піднесучих. OFDM пропонує безліч переваг. По-перше, за допомогою техніки багаторазової передачі несучої, символ часу може бути істотно більше.

Чим розповсюдження затримки каналу, яке зменшує значно або навіть видаляє втручання межсимвола (ISI). Іншими словами, OFDM забезпечує високу надійність. По-друге, через його певну структуру, доступ частоти (OFDMA) має на увазі високий ступінь offfreedom.

При використанні методу FDD LTE кожен символ OFDM передається по піднесучих 15 або 7.5 кГц. Один підкадер триває 1 мілісекунду, розділену на 0.5 мілісекунди, і містить кілька послідовних символів OFDM (14 і 12 для 15 і 7.5 кГц).

SC-FDMA також відома як DFT-spread модуляція OFDM. В основному, SC-FDMA ідентична OFDM, якщо не застосовувати початковий FFT перед модуляцією OFDM. Мета такої модифікації полягає в тому, щоб зменшити пік, зменшити середню потужність передачі, таким чином зменшуючи витрати енергії в призначених для користувача терміналах.

Особливість OFDM сигналів полягають в наступному:

- мультиплексування сигналів на піднесучих частотах, модульованих інформаційними символами за обраним законом (QPSK, 16QAM, 64QAM);
- ортогональність сигналів на піднесучій частоті (взаємна кореляційна функція дорівнює нулю) або, принаймні, їх квазіортогональність (на практиці);
- кожен OFDM-символ має захисний часовий інтервал для виключення межсимвольної інтерференції, який вибирається з урахуванням імпульсної характеристики лінії зв'язку (фізичного середовища поширення радіосигналу).

1.3.2 Використання технології MIMO в мережах LTE Advanced

Технологія MIMO в мережах LTE Advanced (Rel.10) грає одну з важливих ролей у забезпеченні високих швидкостей передачі даних.

MIMO (множинний вхід – множинний вихід) – технологія, яка представляє собою бездротовий доступ, що передбачає використання декількох передавачів і приймачів для одночасної передачі більшої кількості даних. Технологія MIMO використовує ефект передачі радіохвиль, званий багатопробіжним поширенням, коли передаються сигнали які відбиваються від безлічі об'єктів і перешкод, приймаюча антена сприймає сигнали під різними кутами і в різний час. Із застосуванням технології MIMO стає можливим збільшити стійкість каналів зв'язку, зменшити відносне число бітів, прийнятих з помилкою. Робота систем MIMO може бути організована за двома принципами: за принципом просторового ущільнення і за принципом просторово-часового кодування.

У першому випадку різні передавальні антени передають різні частини блоку інформаційних символів або різні інформаційні блоки. Передача даних ведеться паралельно з двох або з чотирьох антен. На приймальній стороні проводиться прийом і розподіл сигналів різних антен. У другому випадку, з усіх передавальних антен здійснюється передача одного і того ж потоку даних з використанням схем попереднього кодування.

Під MIMO буде розумітися просторове мультиплексування (Spatial Multiplexing) – той варіант MIMO, який дозволяє досягти більш високої пропускної здатності. У LTE-Advanced додається підтримка MIMO 8x8 в низхідному каналі (від базової станції до мобільних станцій) і MIMO 4x4 в висхідному каналі (від мобільної станції до базової станції). Для цього вводяться нові режими передачі (TM, Transmission Mode) і додаються нові категорії мобільних станцій. Нові режими передачі відрізняються від визначених раніше (Release 8 & 9) в таких аспектах [5]:

- число потоків даних (Layers), тобто скільки різних потоків даних може передаватися одночасно;
- використання різних портів (antenna ports);
- використання різних пілотних сигналів (CRS, DM-RS);
- різне попереднє кодування (precoding);

Технологія LTE-Advanced передбачає підтримку до 8 передавальних антен при низхідній передачі даних і використання поліпшеної структури опорних сигналів (reference-signal). При висхідній передачі передбачається підтримка до 4 антен (рисунок 1.4).

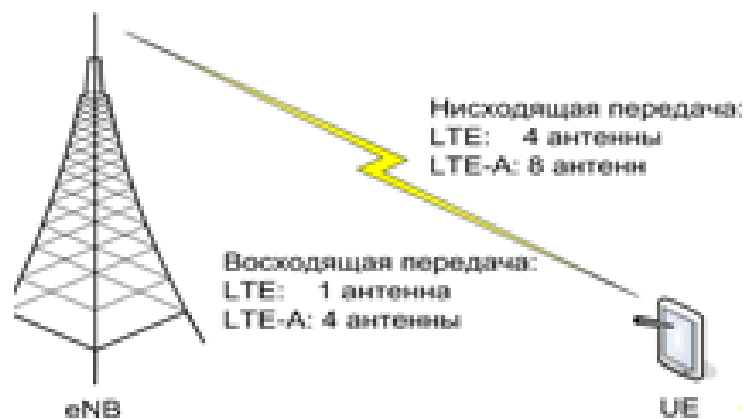


Рисунок 1.4 – Схема MIMO

У низхідному каналі для однієї UE в одному інтервалі часу передачі (time transmit intervals, TTI) може передаватися до двох транспортних блоків (Transport Block, TB). Кожен з транспортних блоків може бути закодований своєю модуляційно-кодує схемою (Modulation and Coding Scheme, MCS). Для передачі HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request – автоматичний запит повторної передачі) підтверджень в висхідному каналі, використовується один біт для кожного з транспортних блоків.

У висхідному каналі UE може передавати до двох транспортних блоків одночасно. Як і при низхідній передачі, транспортні блоки можуть бути закодовані різними MCS.

1.3.3 Розширення, додані в стандарт

Carrier Aggregation. Найпростішим способом збільшення пропускної здатності системи є використання більш широкого каналу. В рамках LTE-Advanced цей метод відомий як Carrier Aggregation ("об'єднання несучих"). Для того, щоб забезпечити сумісність з попередніми версіями стандарту (Release 8 і Release 9), в Release 10 розширення каналу здійснюється шляхом об'єднання кількох несучих, що функціонують по Release 8/9. Об'єднання несучих, можливо при повному або частковому передрукуванні дуплекса: FDD (Frequency Division Duplex) і TDD (Time Division Duplex).

Однією з вимог IMT-Advanced є вимога до пропускної здатності (до 1 Гбіт/с) каналу зв'язку між базовою станцією і мобільною станцією. Для того, щоб забезпечити необхідні значення пропускної здатності в LTE-A передбачена підтримка до 5-ти частотних каналів по 20 МГц шириною. Таким чином, загальна ширина каналу може досягати 100 МГц (рисунок 1.5).

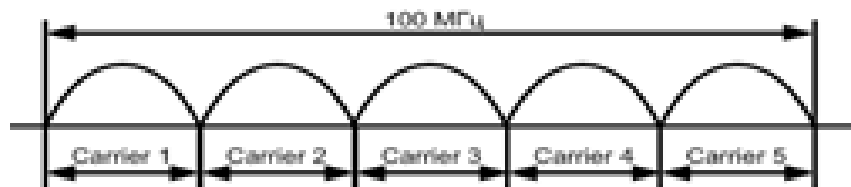


Рисунок 1.5 – Ширина каналу

Для того, щоб забезпечити сумісність з LTE Rel.8 передбачена можливість зміни кожного каналу (carrier) як ніби це звичайний канал LTE Rel.8. Однак, необов'язково, щоб одночасно всі канали були сконфігуровані в цьому ключі. Використовувані канали можуть займати сусідні частотні діапазони (continuous), а можуть перебувати і в різних частотних областях (non-continuous). Це дозволяє забезпечити додаткову гнучкість при використанні наявних у оператора частотних діапазонах.

У разі використання декількох каналів, які займають сусідні частотні діапазони, потрібно обов'язково вводити інтервал в 300 кГц. Відзначимо, що з точки зору реалізації, варіант використання частотних каналів однакового розміру і займають сусідні частотні діапазони є найменш трудомістким. Реалізація підтримки частотних каналів різного розміру і різних частотних діапазонів є найбільш трудомісткою. Як правило, передбачається, що кожен частотний канал обслуговується базовою станцією незалежно (розподіл ресурсів, HARQ процедури і т.д.). Однак, можливі варіанти спільного обслуговування частотних каналів (cross-carrier). Такий варіант може бути використаний, наприклад, в гетерогенних мережах. Для зниження енерговитрат мобільної станції можливе використання тільки одного частотного каналу для передачі даних (primary carrier) з динамічним підключенням додаткових каналів (якщо мобільна станція підтримує дану опцію) у випадках, коли необхідно передати великі обсяги даних.

Relay Nodes. Також в LTE-Advanced додається підтримка вузлів ретрансляції (Relay). Використання таких вузлів дозволяє закрити "дірки" в покритті і поліпшити радіоумови для користувачів, що знаходяться на кордонах стільників. Вузли ретрансляції з'єднуються з базовою станцією, яка в цьому випадку називається Donor eNB (DeNB), за допомогою телефону, який називається Un-інтерфейс. При цьому, може використовуватися той же частотний діапазон, що і для обслуговування мобільних станцій (в цьому випадку станції ретрансляції називаються як Type 1 RN), або різні частотні діапазони (Type 1a RN).

Coordinated Multipoint, CoMP. Одним з нових аспектів, який планується включити в стандарт LTE Advanced, є координована передача і прийом (Coordinated Multipoint, CoMP). Якщо говорити простими словами, то під цим терміном мається на увазі обслуговування одного абонентського пристрою декількома базовими станціями (хоча в деяких випадках це твердження не зовсім вірно). Координована передача і прийом розглядаються як спосіб, за допомогою якого можна збільшити пропускну здатність на

кордонах секторів (cell edge). Особливо в разі перевикористання одних і тих же частот в різних осередках.

При цьому підвищення пропускної здатності в низхідному каналі (DL) досягається за рахунок зменшення рівня інтерференції (так званої Inter Cell Interference, ICIC). А при висхідній передачі (UL) – за рахунок обробки прийнятого сигналу на декількох базових станціях (рисунок 1.6).

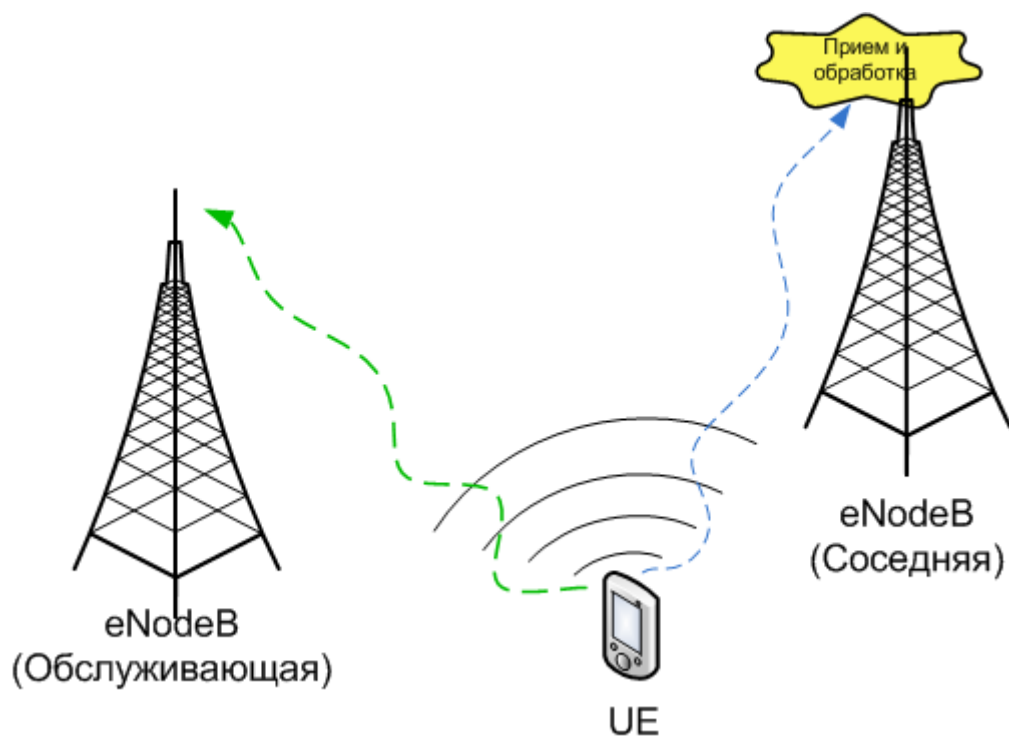


Рисунок 1.6 – Координована передача і прийом

Розглянемо можливі варіанти організації координованої передачі в низхідному каналі. Серед основних варіантів можна виділити наступні: спільна передача (joint processing, JP) і координоване планування (coordinated scheduling, CS). У разі спільної передачі передані дані доступні на всіх БС, з яких ведеться передача. Однак, існує два різних варіанти реалізації цього підходу. У першому варіанті здійснюється одночасна передача з декількох БС. А в другому варіанті БС, яка здійснює передачу даних, вибирається

динамічно. Тобто передача здійснюється тільки з однієї БС в кожен момент часу (при цьому дані для передачі доступні на декількох БС).

У разі координованого планування передач дані завжди передаються тільки з однієї БС, при цьому рішення про розклад передач робиться з урахуванням інформації від декількох БС.

При координованому прийомі даних (тобто при висхідній передачі) можна виділити так само два різних варіанти її організації. Перший варіант – це прийом сигналу від МС на декількох БС (спільний прийом, joint reception, JR). І другий варіант – це, так само як і при низхідній передачі, координоване планування передач з метою зменшення або повного зникнення інтерференції. Крім цього, можлива комбінація обох названих варіантів.

Залежно від архітектури системи і пропускної здатності ліній передачі даних, які є у оператора зв'язку, існують різні варіанти реалізації координованого прийому даних. Наприклад, кінцеві вузли (БС або радіо модулі) можуть відправляти прийняті дані в якийсь центральний вузол, який буде виробляти їх обробку. В цьому випадку можна досягти максимально-можливий виграш від використання координованого прийому. Однак, для його реалізації потрібні високошвидкісні лінії передачі даних. Інший варіант частина обробки прийнятого сигналу на стороні кінцевого вузла і тільки після цієї обробки відправляти прийняті дані в центральний вузол для подальшої їх обробки. Чим більше функцій обробки залишається в кінцевому вузлі, тим менша кількість даних необхідно відправляти в центральний вузол і, відповідно, тим менше швидкісні лінії потрібні. Однак, чим більше обробки прийнятого сигналу здійснюється в кінцевих вузлах, тим виграш від використання координованого прийому стає менше.

Для функціонування координованого прийому необхідно, щоб всі БС, які здійснюють прийом даних, були синхронізовані за частотою і часом. А крім цього необхідно дотримуватись вимог до затримки передачі даних між БС (в разі розподіленого рішення) або центральним вузлом і кінцевими вузлами (у разі централізованого рішення).

У LTE (Release 8) якщо у UE є і дані для передачі, і контрольна інформація, яка повинна бути доставлена на БС, то в цьому випадку завжди буде використовуватися фізичний розподілений канал (physical Uplink Shared Channel – PUSCH), де будуть передаватися обидва типи інформації. Тобто канал PUSCH використовується тільки для передачі контрольної інформації в тому випадку, коли у UE немає інших даних для передачі.

Відмінність LTE-A від LTE полягає в тому, що в LTE-A допускається одночасна висхідна передача інформації по каналах PUSCH і PUSCH. Можливість передачі в несуміжних ресурсних блоках.

Відповідно до стандарту LTE Rel.8 для передачі в PUSCH каналі повинні використовуватися суміжні ресурсні блоки (це було зроблено для того, щоб зменшити значення Peak to Average Power Ratio, PAPR). У стандарті LTE-A це обмеження прибрано, тобто UE може використовувати кілька ресурсних блоків, які йдуть не по порядку. Така зміна дозволяє використовувати так званий Frequency Selective Scheduling, коли для передачі UE виділяються ресурсні блоки, що знаходяться на тих частотах, на яких спостерігається менша кількість перешкод.

2 ОСНОВИ ПРОЦЕДУРИ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МЕРЕЖАХ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE

2.1 Види хендовера в мережах стільникового зв'язку

У стандарті UMTS виділяються два види хендовера, м'які і жорсткі, які встановлені відповідно до специфікації Європейського інституту по стандартизації в галузі телекомунікацій (ETSI).

М'який хендовер (soft handover) (рис.2.1).

Абонентська станція (UE) встановлює зв'язок в одні і ті ж проміжки часу з декількома базовими станціями (BTS), які з'єднані з одним, або різними контролерами радіомережі (RNC). UE надається перелік скремблirгування кодів сусідніх БС. Після отримання АС вимірює потужності їх сигналів в пілотних каналах (CPICH) і каналах синхронізації (SCH).

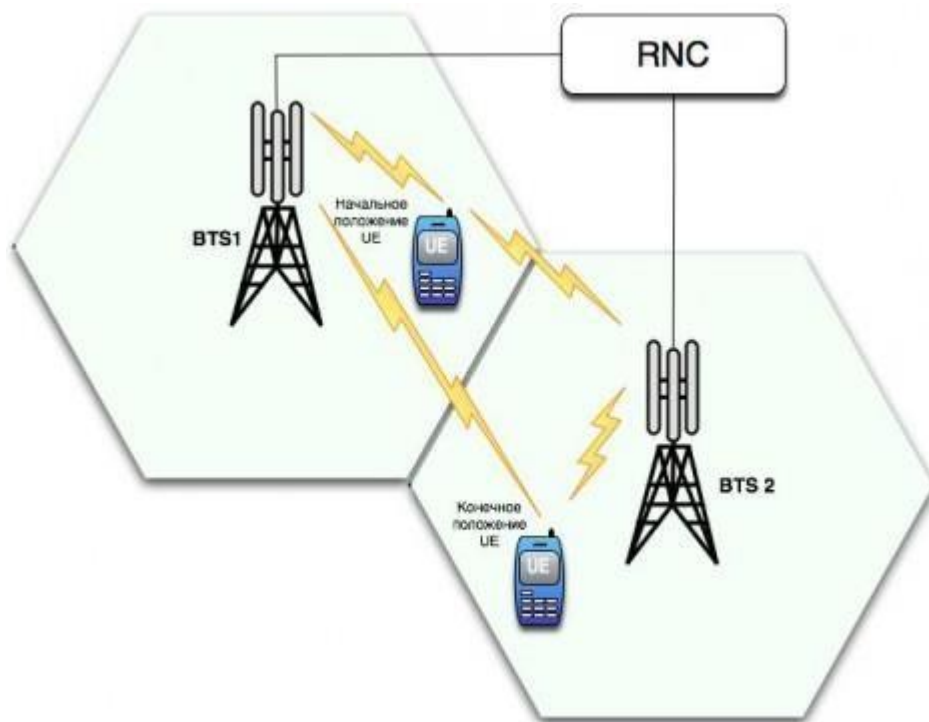


Рисунок 2.1 – М'який хендовер

М'який хендовер відбувається в момент часу, коли потужності стають пропорційними з потужністю відповідних каналів, одержуваних від обслуговуючої BS. Виникнення м'якого хендовера можливо тільки на одній частоті.

Особливим випадком м'якого хендовера є – «м'ягчайший» хендовер (softer handover). Відмінність м'ягчайшого хендовера від м'якого в тому, що він відбувається коли абонентська станція переміщається з одного сектора в інший в межах однієї секторизованої базової станції.

Вибір кадру з найменшим числом помилок здійснюється контролером BTS, а не контролером радіомережі. Тому в м'яких хендоверах, разом з мікрорознесенням в Rake-приймачах базових станцій при передачі висхідного сигналу відбувається і макрорознесені сигнали в контролері радіомережі (RNC). Результуючий сигнал вгору утворює RNC, створюючи послідовність кадрів, які були прийняті від різних базових станцій в залежності від якості їх прийому.

Жорсткий хендовер (рис. 2.2).

Виникає при переміщенні UE із зони дії однієї BTS в зону дії іншої, яка працює на іншій частоті. Коли відбувається жорсткий хендовер мобільна станція спочатку завершує процес доступу до послуг мережі в зоні дії обслуговуючої БС, а потім починає його в зоні дії наступної базової станції. Одночасний доступ до послуг мережі від двох БС неможливий.

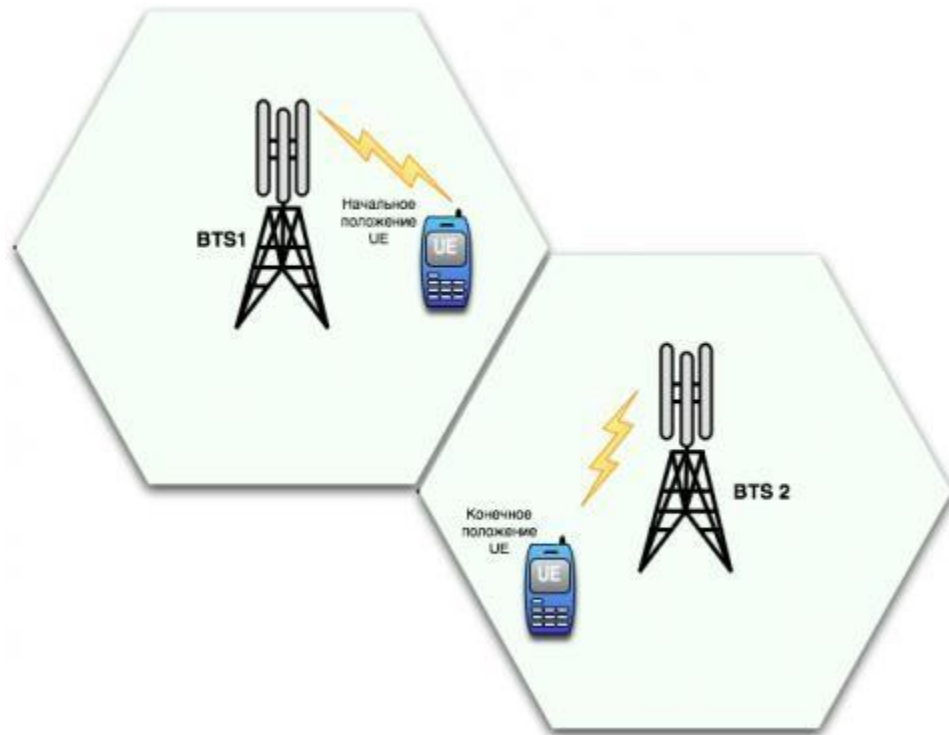


Рисунок 2.2 – Жорсткий хендовер

При роботі в режимі реального часу можлива короткочасна втрата даних, але якщо немає жорстких вимог до затримок, трафік передається без втрат, так як існує система повторної передачі даних.

Жорсткий хендовер може бути міжчастотним. Виникає при перемиканні на іншу частоту, наприклад, якщо зміна мобільною станцією макросотової мережі на мікросотову, коли на місцевості розгорнуто дві мережі UMTS різної конфігурації на різних частотах, а також міжсистемних (між UMTS і GSM).

Всі хендовери ґрунтуються на спеціальних вимірюваннях [6], які виконуються UE і активними BTS. На основі аналізу результатів цих вимірювань рішення про запуск хендовера може виходити від RNC – (Network Evaluated Handover – NEHO) або пакета станції. В цьому випадку хендовер відносять до класу MEHO (Mobile Evaluated Handover). рішення про запуску процедури хендовера приймає контролер радіомережі, так як

канальні ресурси мережі знаходяться в його розпорядженні. Залежно від причин виклику хендовера, їх можна розбити на кілька класів:

а) хендовер порятунку (відбувається при падінні рівня сигналу до критичного значення);

б) хендовер якості обслуговування (відбувається при зміні виду наданої послуги, наприклад, при переході від передачі пакетного трафіку до мовного);

в) хендовер перевантаження (відбувається при необхідності вирівнювання навантаження між окремими БС при передачі інформації).

2.2 Алгоритм процедури Handover (НО) в мережі LTE

Процедура хендовер починається з відправки мобільною станцією звітів про вимірювання на базову станцію. Користувач обладнання (UE) періодично виконує вимірювання спадного каналу, а саме, потужність опорних сигналів (RSRP). Якщо виконується певна умова, наприклад рівень потужності на сусідній базовій станції (eNodeB) стає вище ніж на обслуговуємії, то мобільна станція (UE) посилає звіт з відповідними вимірами. На підставі отриманих звітів, базова станція (Source eNodeB) яка обслуговує мобільний термінал вибирає цільову базову станцію (Target eNodeB) і використовуючи інтерфейс X2, передбачений для взаємодії базових станцій, відправляє запит на підготовку ресурсів (НО Request). Після отримання даного запиту, цільова базова станція починає підготовку ресурсів і відправляє позитивну квитанцію (НО Request Ack). Отримавши підтвердження про підготовку ресурсів, що базова станція яка обслуговує термінал інформує користувача про те, що ресурси успішно підготовлені (НО Command) і він може переходити на обслуговування до Target eNodeB.

Нижче подано діаграму (рисунок 2.3) процедури Handover (НО).

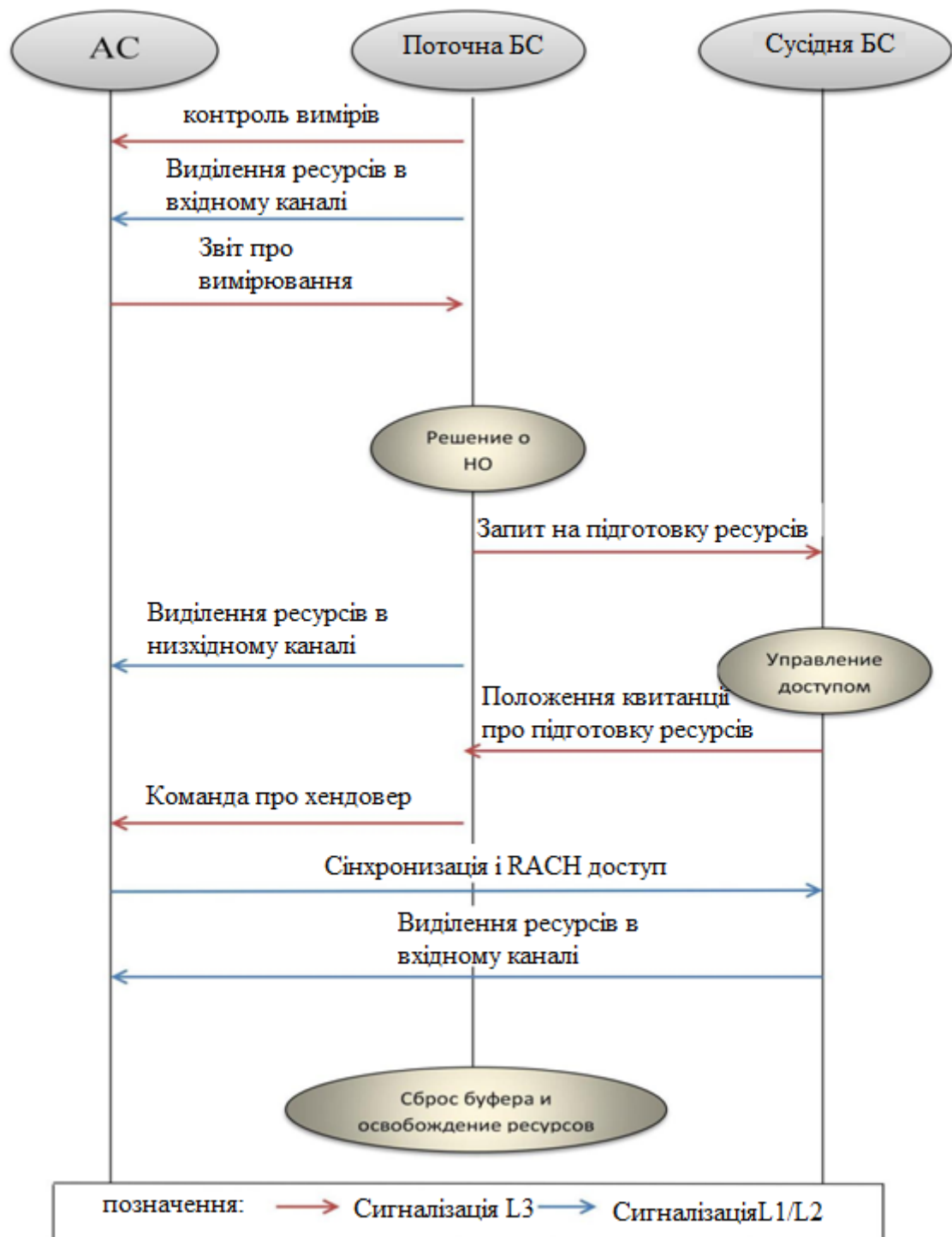


Рисунок 2.3 – Діаграма обміну сигнальною інформацією при процедурі хендовер

2.3 Вимірювання, вироблені мобільною станцією в мережі LTE

Перше завдання, яке вирішує мобільна станція щоб працювати в мережі LTE, це вибір обслуговуючої станції. Цей вибір головним чином залежить від стану радіоканалу між абонентської і базовою станціями, також вплив надають конфігураційні параметри. Навіть після вибору відповідної базової станції мобільна станція продовжує стежити за станом радіоканалу не тільки обраної БС, а й сусідніх. Якщо результат вимірювань покаже, що радіоканал однієї з сусідніх базових станцій покращився, і якість каналу між мобільною станцією і поточної обслуговуючої базової станцією є вищим, то мобільна станція повинна поставити обслуговуючу базову станцію до відома про це. Коли БС дізнається про цю подію, вона може почати процедуру хендовера.

Нижче описані вимірювання, які використовуються в мережі LTE для оцінки радіоумови.

Можливі дві характеристики, за свідченнями яких можна визначити необхідну якість радіоканалу: RSRP або RSRQ. RSRP (Reference Signal Received Power) – це середнє значення потужності прийнятих пілотних сигналів (Reference Signal). RSRQ (Reference Signal Received Quality) – описує якість прийнятих пілотних сигналів. Цю характеристику розраховують за такою формулою:

$$RSRQ = RSRP / (RSSI/N), \quad (2.1)$$

де N – кількість ресурсних блоків, за якими проводилось вимірювання.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – середнє значення потужності сигналів в OFDMA символах, які містять пілотні сигнали (якщо MIMO не використовується, то це символи 0 і 4). Значення RSRP вимірюється в дБм (dBm), а значення RSRQ в дБ (dB). Для вибору відповідної соти, тобто соти з максимально можливим рівнем сигналу,

потрібно відстежити потужність сигналів всіх, хто знаходиться поруч базових станцій в даній точці. Це необхідно для таких процедур, як підключення до мережі (UE attach), вибір соти (cell selection, cell reselection), а також процедура хендовера (handover). Щоб дізнатися значення RSRP абонентська станція проводить спеціальні вимірювання.

RSRP (Reference Signal Received Power) – як уже говорилося раніше, це середнє значення потужності прийнятих пілотних сигналів (Reference Signal).

Пілотний сигнал (Reference Signal) – сигнал, призначений для контролю і порівняння умов поширення радіохвиль від різних мобільних станцій, розташований в певному місці в ресурсному блоці.

Вимірювання RSRP може проводитися для однієї, або для двох антен. Передача RSRP відбувається в блоці системної інформації №3 (SIB3, System Information Block 3). У цьому ж блоці передають ширину частотного діапазону, для якої повинен вимірюватися RSRP. Ця величина задається в ресурсних блоках (може бути 6, 15, 25, 50, 75 або 100).

Значення RSRP вимірюється в дБм (dBm). При повідомленні базової станції RSRP передається не його значення, а індекс з таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Індекс при актуальному значенні RSRP

Індекс	Актуальне значення RSRP, дБм
0	$RSRP < -140$
1	$-140 \leq RSRP < -139$
2	$-139 \leq RSRP < -138$
3	$-138 \leq RSRP < -137$
4	$-137 \leq RSRP < -136$
...	...
N	$n-139 \leq RSRP < n-140$
...	...
96	$-45 \leq RSRP < -44$
97	$-44 \leq RSRP$

Максимальне значення RSRP обчислюється з обмеження на максимальну вхідну потужність для мобільної станції, яка дорівнює -25 дБм. Далі береться мінімальна ширина каналу – 1,4 МГц, яка містить в собі 72 ресурсних елемента.

В результаті виходить $-25 - 10 * \text{LOG}(72) = -44 \text{ дБм}$.

Величина RSRQ (Reference Signal Received Quality).

Формула для обчислення цієї величини:

$$RSRQ = RSRP / (RSSI / N) \quad (2.2)$$

Значення RSRQ вимірюється в дБ (dB). При повідомленні базової станції RSRQ передається також не його значення, а індекс з наступної таблиці 2.2.

Таблиці 2.2 – Індекс при актуальному значенні RSRP

Індекс	Актуальне значення RSRQ, дБ
0	$RSRQ < -19.5$
1	$-19.5 \leq RSRQ < -19$
2	$-19 \leq RSRQ < -18.5$
3	$-18.5 \leq RSRQ < -18$
...	...
33	$-3.5 \leq RSRQ < -3$
34	$-3 \leq RSRQ$

Передбачається, що йде прийом тільки пілот-сигналів, а передачі по трафіку немає. З цього припущення обчислюється максимальне значення RSRQ. В цьому випадку передаються два пілотних сигналу в OFDMA символи, це означає:

$$RSRQ = RSRP / (RSSI / N) = RSRP / (2 * RSRP * N / N) = 0.5 = -0.3 \text{ дБ}. \quad (2.3)$$

Абсолютна точність вимірювання RSRQ визначається 3GPP як $\pm 2.5 - \pm 3.5$ дБ.

2.4 Події, використовувані в LTE (Events)

Абонентська станція виробляє вимірювання, параметри цих вимірювань задає повідомлення RRC Connection Reconfiguration [7]. Виділяють 5 видів подій (measurement reporting events) при яких відбувається оповіщення базової станції (для стандарту LTE специфікації 3GPP TS 36.331):

- Event A1: рівень сигналу від обслуговуючої базової станції (БС) перевищив встановлене значення;
- Event A2: рівень сигналу від обслуговуючої БС став гірше, ніж встановлене значення;
- Event A3: рівень сигналу від сусідньої БС став краще, ніж від обслуговуючої БС на встановлене значення;
- Event A4: рівень сигналу від сусідньої БС перевищив встановлене значення;
- Event A5: рівень сигналу від обслуговуючої БС став гірше, ніж встановлене значення. У той час, як рівень сигналу від сусідньої БС перевищив інше встановлене значення.

Будь-яке з 5 подій може використовувати RSRP і RSRQ. Поточна БС і сусідня БС можуть працювати, як в одному і тому ж частотному діапазоні, так і в різних стандартизованих частотних діапазонах. Для визначення, чи виконується умова якої-небудь події, застосовується фільтрація вимірювань на 3-му рівні моделі OSI. Щоб подія вважалась подією, необхідно, щоб воно дотримувалося протягом певного періоду часу. Крім цього, критерій події повинні дотримуватися як мінімум протягом сконфігурованого періоду часу. Цей період часу називається 'time-to-trigger' і його тривалість може набувати наступних значень: 0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 640, 1024,

1280, 2560, 5120 мс. Налаштування вимірювань (measurement) і звітність (reporting) E-UTRAN для управління мобільністю UE може настроїти його так, щоб воно відправляло інформацію про вимірювання. Визначено наступні елементи для конфігурації UE:

а) об'єкти вимірювань. Тут вказуються частоти, на яких повинні здійснюватися вимірювання. Також може вказуватися список осередків;

б) конфігурація звітності. Тут задається тип звітності періодичний або подієвий (event triggered), а також, яку саме інформацію має відправляти UE;

в) особливості вимірювань. Тут визначаються відповідні об'єкти вимірювань і конфігурація звітності;

г) конфігурація величини (quantity). Тут визначається, яка фільтрація застосовуватиметься для кожного вимірювання;

д) інтервали виміру. Тут визначаються періоди часу, коли eNodeB не виділятиме спадні і восхідні ресурс UE, для того, щоб воно змогло виконати необхідні вимірювання.

E-UTRAN задає конфігурацію тільки для одиночного об'єкту вимірювання, при цьому, може використовуватися більше одного ідентифікатора вимірювань для одного і того ж об'єкта. Ідентифікатори, використовувані для об'єктів вимірювання та конфігурації звітності, є унікальними незалежно від типу вимірювань. UE в повідомленні "Measurement Report" може відправити результати вимірювань, які відносяться тільки до одиночного вимірювання, тобто вимірювання не комбінуються при відправці звіту.

2.5 Event A3

Для настання події A3 (Event A3) необхідно, щоб рівень сигналу від сусідньої БС став вище рівня сигналу від обслуговуючої БС на встановлене значення (використовується для активації хендвера (handover)). Тобто, коли спрацьовує така умова:

$$\text{Measneigh} - \text{Hyst} > \text{Measserv} + \text{Offset},$$

де: Hyst – гістерезис (значення, яке використовується для того, щоб уникнути дуже частого перемикавання станів). Діапазон значень цієї величини від 0 до 30 дБ;

Measneigh – значення потужності сигналу від сусідньої БС, виміряний мобільною станцією;

Measserv – значення потужності сигналу від обслуговуючої БС, виміряний мобільною станцією;

Offset – значення, на яке сигнал від сусідньої БС повинен бути більше, ніж сигнал від обслуговуючої БС для того, щоб настала подія. Цей параметр може бути встановлений від -30 до +30 дБ.

Подія A3 перестає бути активною (і мобільна станція перестає відправляти звіти про вимірювання) якщо виконується умова:

$$\text{Measneigh} + \text{Hyst} < \text{Measserv} + \text{Offset}$$

На рисунку 2.4 показаний приклад результатів вимірювання абонентської станції з моментами активації і деактивації події A3 і відправкою звітів про вимірювання [8].

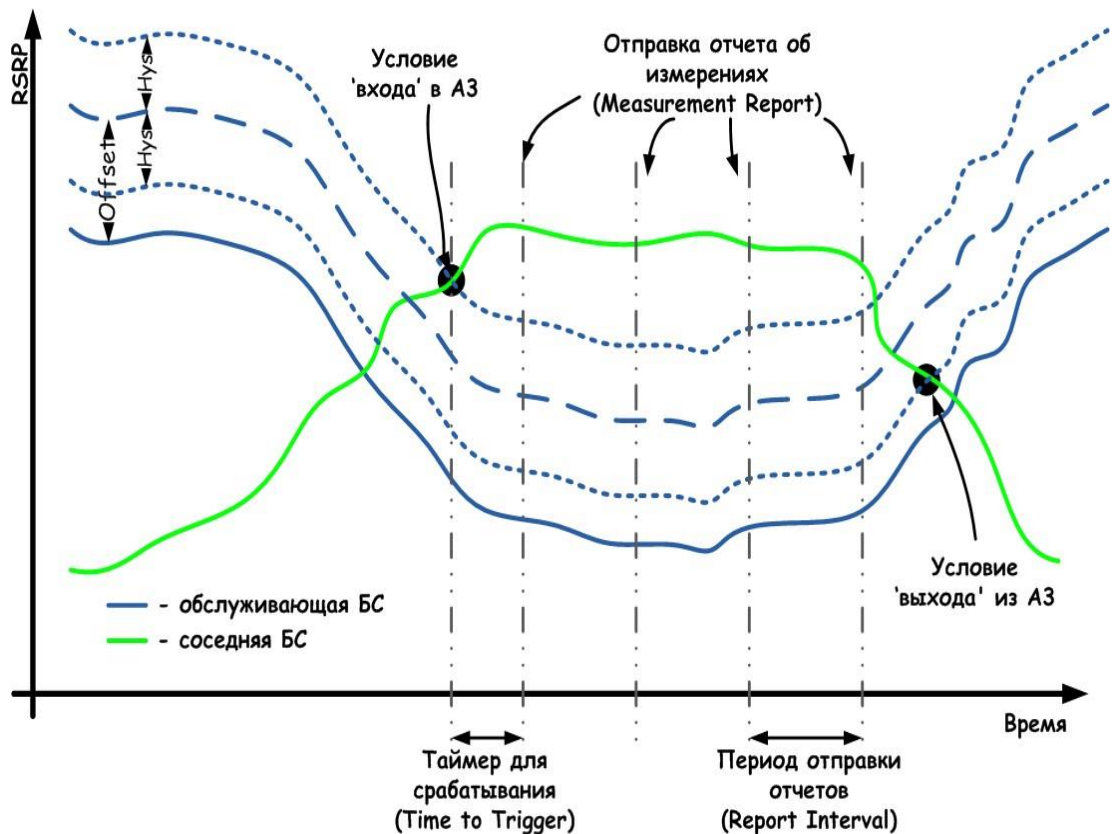


Рисунок 2.4 – Приклад результатів вимірювання абонентської станції з моментами активації і деактивації події А3

На рисунку 2.4 продемонстровані результати вимірювання RSRP після застосування фільтрації на 3-му рівні. Синім кольором позначені вимірювання рівня сигналу від обслуговуючої БС. А зеленим кольором – від сусідньої БС.

Коли потужність сигналу від сусідньої БС стає вище потужності сигналу від обслуговуючої БС, плюс Offset і Hysteresis, подія А3 вважається нестала. Але БС станція буде проінформована про вимірювання тільки якщо ця умова буде дотримуватися протягом певного тимчасового інтервалу (Time to Trigger). І далі цей звіт буде відправлятися з певним конфігурацією періодом (Report Interval). Як тільки потужність сигналу від сусідньої БС буде менше, ніж потужність сигналу від обслуговуючої БС мінус Hysteresis, мобільна станція припинить відправляти звіти про вимірювання.

2.6. Event A5

Для настання події A5 (Event A5) необхідно погіршення рівня сигналу від обслуговуючої БС до встановленого значення. А рівень сигналу від сусідньої БС повинен перевищити інше встановлене значення. Тобто, коли виконуються наступне дві умови:

$$\text{Meas}_{\text{serv}} + \text{Hyst} < \text{Threshold1} \text{ і } \text{Meas}_{\text{neigh}} - \text{Hyst} > \text{Threshold2},$$

де Hyst – гістерезис (значення, яке використовується для того, щоб уникнути дуже частого перемикання станів – активна дана подія). Ця величина може приймати значення від 0 до 30 дБ. Threshold1 і Threshold2 – порогові значення потужності, з якими порівнюються сигнали від обслуговуючої БС і від сусідньої БС, відповідно (рис. 2.5).

Подія A5 перестає бути активною (і мобільна станція перестає відправляти звіти про вимірювання) при виконанні наступних умов:

$$\text{Meas}_{\text{serv}} - \text{Hyst} > \text{Threshold1} \text{ або } \text{Meas}_{\text{neigh}} + \text{Hyst} < \text{Threshold2}.$$

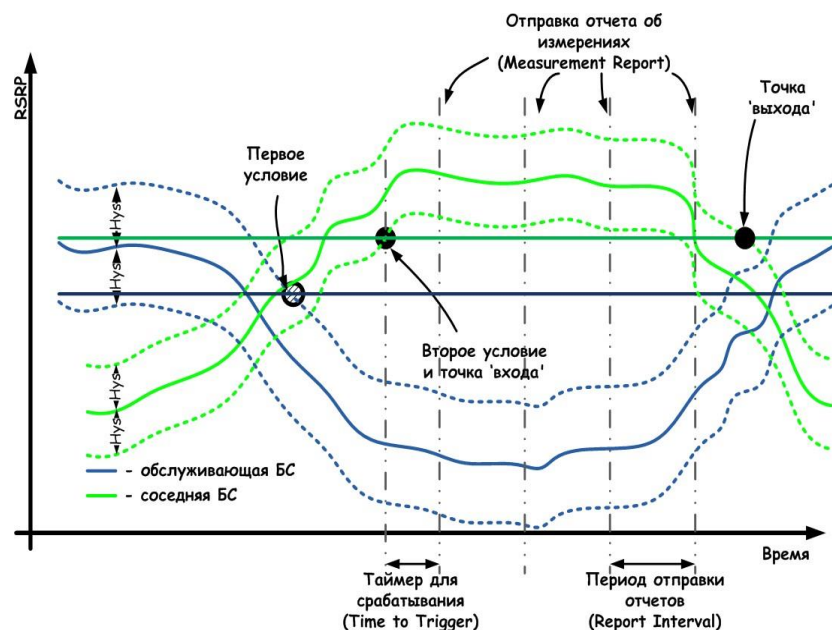


Рисунок 2.5 – Приклад результатів вимірювання абонентської станції з моментами активації і деактивації події A5

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Встановлення параметрів та вибір обладнання для експерименту

Радіус дії встановленої базової станції LTE може відрізнятися в залежності від використовуваних частот, потужності сигналу і радіоумова в кожному окремому випадку. Як правило, цей показник становить близько 5 кілометрів, однак при достатньому піднятті антени і потужності сигналу може досягати 30 і навіть 100 кілометрів.

Фактична швидкість для абонентів «ALTEL 4G» буде залежати від таких факторів, як близькість до базової станції та завантаження каналу [5]. Для проведення експерименту необхідний модем і визначення розташування однієї базової станції, котра розташована в м. Запоріжжя п. Фестивальна на висоті підвісу – 17 м (рис. 3.1, 3.2).

Об устройстве

```

Номер USIM-карты
IMEI-код 866948010025131
Домен сети LAN m.home
IP-адрес 192.168.0.1
IP-адрес беспроводной сети 10.66.197.67
WAN
Версия программного WEB_ALTELKAZMF823V1.0.0B04
обеспечения
Версия прошивки BD_ALTELKAZMF823HDV1.0.0B02
Версия аппаратного MF823-1.0.0
обеспечения

```



Рисунок 3.1 – характеристика модема
4G

Рисунок 3.2 – двухсекторна базова
станція LTE

Таблиця 3.1 – Значення швидкості прийому і передачі в залежності від дальності БС

№	Відстань від БС (м)	Пінг (мс)	Швидкість отримання (Мбіт/с)	Швидкість передачі (Мбіт / с)
1	100	30	50.23	14.00
		33	53.05	15.02
		28	52.23	14.13
		29	52.42	14.01
		28	53.01	14.63
2	300	32	31.53	11.81
		34	33.60	12.43
		31	34.90	12.50
		30	33.00	12.15
		30	35.08	12.70
3	500	30	24.73	11.13
		31	27.52	10.60
		30	25.02	9.63
		31	27.02	10.07
		30	25.78	10.08
4	700	29	29.05	10.27
		30	24.07	9.23
		34	22.42	9.15
		30	22.23	9.37
		30	24.27	9.45

Математичне сподівання і дисперсія для швидкості отримання:

$$M[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i \quad D[X] = M[|X - M[X]|^2] \quad (3.1)$$

- 1) $M(100) = 52,188$ (Мбіт/с) $D(100) = 2724,649 - (52.188)^2 = 1.06$
- 2) $M(300) = 33,622$ (Мбіт/с) $D(300) = 1.705$
- 3) $M(500) = 26,014$ (Мбіт/с) $D(500) = 1.194$

$$4) M(700)=24,408 \text{ (Мбіт/с)} \quad D(700)= 6.075$$

Математичне сподівання і дисперсія для швидкості передачі:

$$1) M(100) = 14,358 \text{ (Мбіт/с)} \quad D(100)=0.163$$

$$2) M(300)=12,318 \text{ (Мбіт/с)} \quad D(300)= 0.955$$

$$3) M(500)=10,302 \text{ (Мбіт/с)} \quad D(500)=0.265$$

$$4) M(700)=9,494 \text{ (Мбіт/с)} \quad D(700)=0.161$$

На рисунку 3.3 наведена гістограма швидкості прийому передачі трафіку.

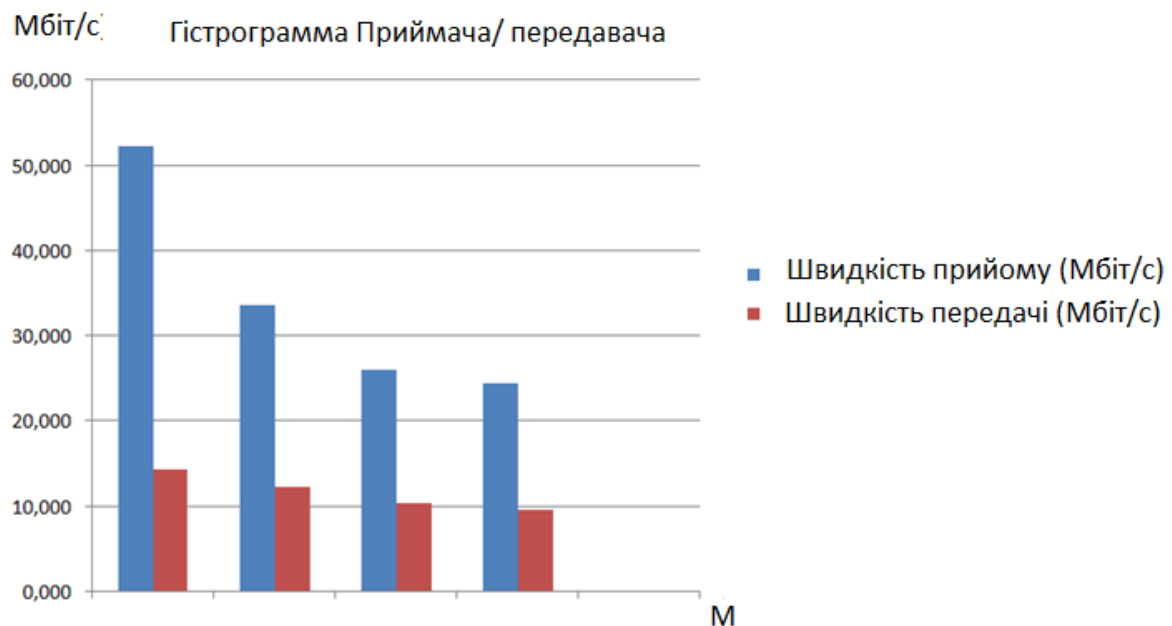


Рисунок 3.3 – Гістограма швидкості прийому передачі трафіку

На підставі отриманих даних з таблиці 3.1 можна сказати що завантаження каналу не перевищує 34 мс, що є хорошим показником. Швидкість отримання не перевищує 53 Мбіт/с, що в два рази менше теоретичної швидкості. А швидкість передачі не перевищує 15 Мбіт/с, в три рази менше ніж прописано оператором 50 Мбіт/с. Зазначні коливання

швидкості прийому від 53 Мбіт/с до 22Мбіт/с, залежність швидкості від відстані до одного кілометра в рази зменшується. Дані висновки говорять про відносно хорошій якості мережі, і про можливість масового попиту на ринку телекомунікацій.

3.2 Розрахунок зони покриття мережі LTE в місті

Для мережі LTE 1800 визначимо радіус зони покриття, якщо відомі значення втрат L , дБ, висоти базової станції НБС і абонентської станції НМС, м. Будемо розраховувати за формулою:

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{\text{БС}} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{\text{МС}}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{\text{БС}})}} \quad (3.2)$$

Допустимі втрати становлять 149,2 дБ (GSM) і 155,1 (LTE).

$L = 155,1$ дБ; НБС = 17 м; НМС = 1,5 м; тип зони покриття – місто. Згідно формули (3.2) $R = 2.66$ км.

3.3 Оцінка допустимої швидкості передачі в каналі мережі LTE для «близьких» і «далеких» користувачів в області U

Швидкість передачі в каналі LTE для «близьких» (в центрі стільника) користувачів (Мбіт/с):

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2 (1 + \eta 1(u)) \quad (3.3)$$

для «далеких» (на кордоні стільника) користувачів:

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2 (1 + \eta 2(u)), \quad (3.4)$$

де W – смуга для користувачів, розташованих в центрі і на кордоні соти для DL, якщо відома смуга системи W , МГц;

$\eta_1(u)$ – SINR для центру соти;

$\eta_2(u)$ – SINR для кордону стільника, МГц;

η – SINR.

Розрахувати швидкість передачі в каналі:

$$W=10 \text{ МГц}, \eta_1(u)=5, \eta_2(u)=0.45$$

Швидкість передачі для користувачів в центрі соти:

$$R_1(u) = \frac{4}{7} 10 \log_2(1+5) = \frac{4}{7} \cdot 10 \cdot 2,59 = 14,8 \text{ Мбіт/с}$$

Швидкість передачі для користувачів на кордоні сот:

$$R_2(u) = \frac{3}{7} 10 \log_2(1+0,34) = 2,5 \text{ Мбіт/с}$$

3.4 Розрахунок енергетичного бюджету для мережі LTE

Наведемо розрахунок енергетичного бюджету систем LTE з тимчасовим і частотним поділом каналів дуплексної передачі з робочою частотою 2600 МГц (рис. 3.4). Система з тимчасовим дуплексом мають конфігурацій кадру 1 і 2 і формат спеціального субкадрах – 7. Ефективна смуга частот для обох систем дорівнює 20 МГц. В системі з FDD смуга ділиться на два канали по 10 МГц для лінії вгору (UL) і лінії вниз (DL), а при TDD смуга 20 МГц буде використовуватися однаково на UL і на DL.

Розглянемо БС, у якій РЧ-блок кожного сектора має два приймача. Вихідна потужність кожного передавача 20 Вт (43 дБм). Для усунення

великих втрат в фідерному тракті приймач встановлюється безпосередньо на антені. Режим роботи базової станції на лінії вниз – MIMO 2x2 при використанні крос-поляризованої антени.



Рисунок 3.4 – Принцип розрахунку енергетичного бюджету

Розрахунок енергетичного бюджету виконується для абонентської станції (АС), розташованої на краю стільників. Вона приймає сигнали від БС з низьким значенням потужності корисного сигналу, а, отже, з низьким відношенням сигнал/шум (ЗСШ). Режим передачі даної БС на АС є режимом рознесеною передачі. Так як в просторі відбувається складання потужностей сигналів двох передавачів, можна отримати енергетичний виграш (3 дБ). Як АС застосовуємо USB-модем, клас 3 – еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність (ЕІВП) 23 дБм:

$$\text{ЕІВП} = \text{PTX} + \text{GTxDiv} + \text{GTxA} - \text{LTxF} \quad (3.5)$$

де PTX – вихідна потужність передавача, дБм;

GTxDiv – виграш від складання потужності передавачів, дБ;

GTxA – коефіцієнт посилення антени, дБ;

LTxF – втрати в фідерному тракті, дБ.

Розрахуємо EIBП передавача базової станції, в залежності від параметрів обладнання LTE і висхідній або низхідній лінії стільникового зв'язку (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку EIBП

Конфігурація системи	FDD 10 + 10 МГц	
Лінія	DL	UL
P_{TX} , дБм	40	20
G_{TxDiv} , дБ;	2,9	0
G_{TxA} , дБ;	19	0
L_{TxF} , дБ.	0,38	0

3.5 Розрахунок чутливості приймача LTE

Мінімально допустимий рівень сигналу на вході приймача визначається за формулою:

$$P_{\text{ш}} (\text{ддБмВт}) = P_{\text{ш}} (\text{ддБмВт} + (E_b/N_0)_{\text{треб}} (\text{ддБ} - G_{\text{обр}} (\text{ддБ})) \quad (3.6)$$

де $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$ – необхідне значення E_b / N_0 ;

$G_{\text{обр}}$ – виграш від обробки;

$P_{\text{ш}}$ – потужність власних шумів приймача. Основні параметри використовуються в розрахунку.

E_b/N_0 – відношення середньої енергії біта до спектральної щільності шуму. Залежність відносини E_b/N_0 залежить від таких показників як швидкості пересування абонента і радіоканалу, тип сервісу. Мінімально

допустимий рівень сигналу на вході приймача залежить від необхідного відношення E_b/N_0 , швидкості передачі даних користувача, якості аналогових компонентів приймача, рівня перешкод. Перешкоди створюють джерела: абоненти з обслуговуючої соти, абоненти які обслуговуються іншими сотами, а також інші джерела, що створюють діючі в діапазоні використовуваного частотного каналу.

Потужність власних шумів приймача:

$$P_{ш} = N + K_{ш} \text{ (дБмВт)} \quad (3.7)$$

де N – потужність теплового шуму в приймачі, дБмВт.

$$N = k \cdot T \cdot B \quad (3.8)$$

де k – постійна Больцмана ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К);

T – температура провідника.

Потужність теплового шуму в приймачі залежить від смуги пропускання фільтра. Для стандарту LTE смугу узгодженого фільтра можна прийнята рівною 3.9 МГц.

Коефіцієнт шуму приймача для лінії DL $K_{ш} = 8$ дБ, а для лінії UL $K_{ш} = 2$ дБ.

Визначити чутливість приймача $P_{пр}$ (дБмВт), якщо відомі температура провідника, T° , тип лінії (DL, UL), коефіцієнт шуму приймача $K_{ш}$ (дБ), смуга узгодженого фільтра приймача B (МГц), відношення середньої енергії біта до спектральної щільності шуму E_b/N_0 (дБ), виграш від обробки $G_{обр}$ (дБ).

Тип лінії – UL, $T = 20^\circ$, $B = 3,84$ МГц, $K_{ш} = 2$ дБ, $G_{обр} = 4$ дБ. Послуга – телефонія, швидкість абонента – 3 км/год.

Визначаємо з таблиці значення $E_b/N_0 = 7,9$ дБ.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3.84 \cdot 10^6 = 1.55 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \log(1.55 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -108,2 \text{ дБмВт}.$$

Потужність власних шумів приймача:

$$P_{\text{ш}} = N + K_{\text{ш}} = -108,2 + 2 = -106,2 \text{ дБ}.$$

Чутливість приймача:

$$P_{\text{пр}} = -106,2 + 7,9 - 4 = -102,3 \text{ дБ}.$$

Тип лінії – DL, $T = 25^\circ$, $B = 4,2 \text{ МГц}$, $K_{\text{ш}} = 8 \text{ дБ}$, $G_{\text{обр}} = 5 \text{ дБ}$. Послуга – телефонія, швидкість абонента – 3 км/год.

Визначаємо з таблиці значення $E_b/N_0 = 4,4 \text{ дБ}$.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 4.2 \cdot 10^6 = 1.72 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \log(1.72 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -107,7 \text{ дБмВт}.$$

Потужність власних шумів приймача:

$$P_{\text{ш}} = N + K_{\text{ш}} = -107,7 + 8 = -99,7 \text{ дБ}.$$

Чутливість приймача:

$$P_{\text{пр}} = -99,7 + 4,4 - 4 = -99,3 \text{ дБ}.$$

3.6 Розрахунок максимально допустимих втрат мережі LTE

Максимально допустимі втрати:

$$L_{MARL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO} \quad (3.9)$$

де P_{EIRP} – ЕІВП передавача, дБ;

S_{Rx} – чутливість приймача, дБ;

G_{RxA} – коефіцієнт посилення антени, дБ;

L_{RxF} – втрати в фідерному тракті, дБ;

M_{Build} – запас на проникнення в приміщення, дБ;

M_{Int} – запас на внутрішньо системні перешкоди, дБ;

M_{Shade} – запас на затінення, дБ;

G_{HO} – виграш від хендовер, дБ.

Запас на допустимі внутрішньо системні перешкоди.

При розрахунку використовується величина запасу на внутрішньо системні перешкоди, яка характеризують зростання потужності шуму на вході приймача. Для розрахунку, приймають, що запас на внутрішньо системних перешкод дорівнює:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-\eta) \quad (3.10)$$

де η – відносне завантаження стільника по висхідній або низхідній лінії.

Як видно, запас на внутрішньо системних перешкод це функція від завантаження стільника, чим більше дозволене навантаження в соті, тим більшу величину запасу необхідно врахувати в розрахунку. При зростанні навантаження до 100% запас на перешкоди прагне до нескінченності і зона обслуговування стільника зменшується до нуля. Залежність значення даної величини від завантаження соти представлена на рисунку 3.5.

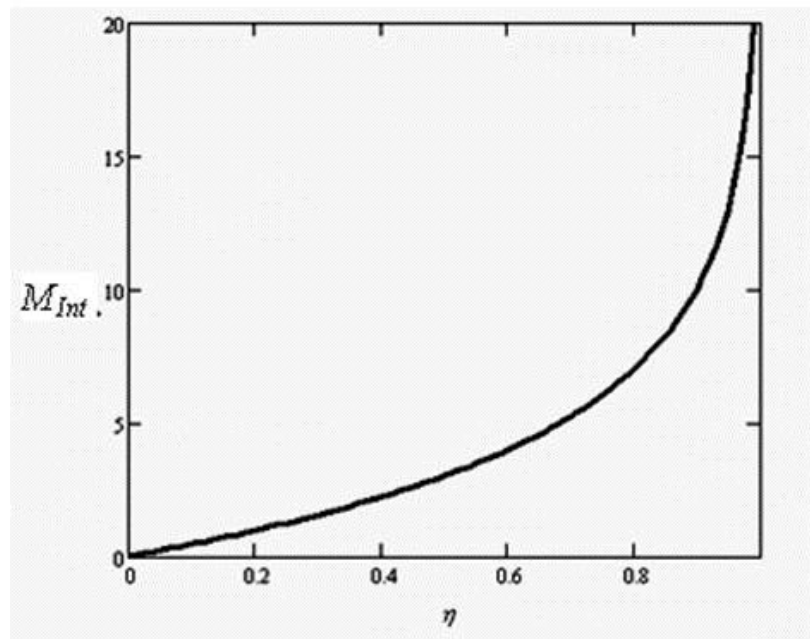


Рисунок 3.5 – Залежність значення запасу на внутрішньо системні перешкоди від значення відносної завантаження соти

Для того, щоб розрахувати компенсації швидких завмирань передавача мобільної станції на кордоні сот. В розрахунку задамося величиною запасу на швидкі завмирання. Величина запасу на швидкі завмирання залежить від швидкості абонента. Типові значення величини запасу в залежності від швидкості абонента представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Типові значення величини запасу на швидкі завмирання

Тип абонента, швидкість переміщення	Типова величина запасу на швидкі завмирання
Невелика швидкість (3 км / год)	3-5 дБ
Середня швидкість (50 км / год)	1-2 дБ
Велика швидкість (120 км / год)	0.1 дБ

Розрахувати максимально допустимі втрати L_{MARL} в мережі LTE, якщо відомі E_{IRP} передавача – P_{EIRP} (дБ), чутливість приймача – S_{Rx} (дБ), коефіцієнт підсилення антени – G_{RxA} (дБи), втрати в фідерном тракті – L_{RxF} (дБ), запас на проникнення в приміщення – M_{Build} (дБ), запас на затінення – M_{Shade} (дБ), виграш від хендовера – G_{HO} (дБ), завантаження стільники – η .

Примітка: типові значення запасу на проникнення:

- 22 дБ в умовах щільної міської забудови;
- 17 дБ в умовах середньої міської забудови;
- 12 дБ в умовах рідкісної забудови (в передмісті);
- 8 дБ в сільській місцевості (на відкритій місцевості в автомобілі).

$$P_{EIRP} = 61,52 \text{ дБ}, S_{Rx} = -99,3 \text{ дБ}, G_{RxA} = 19 \text{ дБ}, L_{RxF} = 0,38 \text{ дБ}, \eta = 0,8, \\ M_{Build} = 17 \text{ дБ}, M_{Shade} = 9 \text{ дБ}, G_{HO} = 3 \text{ дБ}.$$

Визначимо запас на перешкоди M_{Int} , дБ:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10} (1-\eta) = -10 \lg (1 - \eta) = -10 \lg 0,2 = 6,9 \text{ дБ}.$$

Максимально допустимі втрати:

$$L_{MARL} = 61,52 + 99,3 + 19 - 0,38 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 149,5 \text{ дБ}.$$

3.7 Розрахунок лінії в гору (UL) LTE

Розрахунок лінії в гору (UL) складається з декількох етапів:

- розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача базової станції;
- визначення необхідної потужності сигналу;

- розрахунок ефективного випромінювання потужності мобільної станції;
- визначення максимально допустимих втрат.

3.7.1 Розрахунок мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача базової станції

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС визначається з формули (3.11):

$$P_{прбс}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \quad (3.11)$$

де $(E_b/N_0)_{треб}$ – необхідне значення E_b/N_0 ;

$G_{обр}$ – виграш від обробки;

$P_{ш}$ – потужність власних шумів приймача.

Для аналізу обраний тип обладнання БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коефіцієнт шуму приймача даної базової станції менше 2 дБ. Для розрахунку приймемо $k_{ш} = 2$ дБ.

Потужність шумів приймача БС:

$$P_{ш} = N + K_{ш} (\text{дБмВт}) \quad (3.12)$$

Мінімально допустиме значення E_b/N_0 на вході приймача для даного типу сервісу становить 4.4 дБ при швидкості абонента 3 км/год.

Виграш від обробки становить:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип} / R_{польз}) \quad (3.13)$$

де $R_{чип}$ – чіпová швидкість стандарту LTE, чіп/с,

$R_{\text{польз}}$ – швидкість передачі даних користувача, кбіт/с.

Також необхідно врахувати виграш за рахунок м'якого хендоверу і запас на внутрішньо системні перешкоди. Величину виграшу візьмемо рівною $G_{\text{хо}} = 3$ дБ. Величину запасу на внутрішньо системні перешкоди визначимо з виразу (3.11). Величину відносного завантаження стільниці для початкового розрахунку приймемо рівної 50%. Допустимим значенням величини відносного завантаження соти вважається 50%.

Запас на внутрішньо системні перешкоди дорівнює:

$$M_{\text{Int}} = -10 \cdot \log_{10}(1-\eta) \quad (3.14)$$

З обліків вищевказаних чинників, мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС дорівнює:

$$P_{\text{прбс}} = P_{\text{ш}} + (E_b/N_0)_{\text{треб}} - G_{\text{обр}} + L_{\text{п}} - G_{\text{хо}} \text{ (дБмВт)} \quad (3.15)$$

Вихідні дані:

$$K_{\text{ш}} = 2 \text{ дБ}, E_b / N_0 = 4.4 \text{ дБ}, R_{\text{чип}} = 3,84 \cdot 10^6 \text{ чіп / с}, R_{\text{польз}} = 384 \text{ кбіт / с}, \eta = 0,5$$

Потужність теплового шуму в приймачі:

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 4.2 \cdot 10^6 = 1.72 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \lg(1.72 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -117,7 \text{ дБмВт}.$$

Потужність шумів приймача БС:

$$P_{\text{ш}} = N + K_{\text{ш}} = -117,7 + 2 = -119,7 \text{ дБмВт}.$$

Виграш від обробки становить:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чин}/R_{польз}) = 10 \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 10 \text{ дБ.}$$

Запас на внутрішньо системні перешкоди дорівнює:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-0.5) = 3 \text{ дБ.}$$

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача БС дорівнює:

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} + L_{п} - G_{хо} = -105,7 + 4,4 - 10 + 3 - 3 = -111,3 \text{ дБм.}$$

3.7.2 Визначення необхідної потужності сигналу

Необхідна потужність сигналу визначається виразом:

$$P_{np} = P_{прбс} + L_{фидер} - G_{бс} + L_{ff} \text{ (дБм)} \quad (3.16)$$

де $L_{фидер}$ – втрати в фідері, дБ. Як правило, довжина і тип фідера вибирається таким чином, щоб значення загасання в ньому становила не більше 3 дБ;

$G_{бс}$ – коефіцієнт підсилення антени базової станції, дБ;

L_{ff} – запас на швидкі завмирання, дБ.

$$L_{фидер} = 0,38 \text{ дБ, } G_{бс} = 19 \text{ дБ, } L_{ff} = 3 \text{ дБ,}$$

тоді

$$P_{np} = P_{прбс} + L_{фидер} + G_{бс} + L_{ff} = -111,3 + 0,38 + 19 + 3 = -107 \text{ дБ.}$$

3.7.3 Розрахунок ефективно випромінюваної потужності мобільної станції

Ефективно випромінюєма потужність мобільної станції визначається виразом:

$$P_{изМС} = P_{МС} + G_{БС} - L_{тело} \text{ (дБмВт)} \quad (3.17)$$

де $P_{МС}$ – потужність передавача мобільної станції. Для розрахунку взято мінімальна потужність мобільної станції визначена стандартом (клас 4-21 дБмВт);

$G_{БС}$ – коефіцієнт підсилення антени базової станції дорівнює 0 дБ;

$L_{тело}$ – втрати на загасання в тілі абонента. Для розрахунку $L_{тело}$ приймають рівним 3 дБ. Необхідно зауважити, що втрати на загасання в тілі враховуються для голосових типів послуг, і можуть не враховуватися для послуг з передачі даних.

Розрахувати ефективно випромінюєму потужність мобільної станції UMTS, якщо відомі потужність передавача мобільної станції $P_{мс}$ (дБмВт) = 12, коефіцієнт підсилення антени базової станції $G_{мс}$ (дБ), втрати на загасання в тілі абонента $L_{тело}$ (дБ) = 1.

$$P_{изМС} = 12 - 1 = 11 \text{ дБм (12,5 мВт)}$$

3.7.4 Визначення максимально допустимих втрат

Максимально допустимі втрати на трасі рівні:

$$L = P_{изМС} - P_{пр}. \quad (3.18)$$

$$L = 11 - (-107) = 118 \text{ дБ.}$$

3.8 Розрахунок радіолінії вниз (DL) LTE

Даний розрахунок також здійснюється в кілька етапів:

- визначення мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача МС;
- визначення необхідної потужності сигналу;
- розрахунок ефективно випромінюваної потужності базової станції;
- розрахунок допустимих втрат на трасі.

3.8.1 Визначення мінімально допустимої потужності сигналу на вході приймача МС

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача МС визначається аналогічним виразом як і для БС за допомогою виразу (3.11).

Приймач мобільної станції простіший, ніж приймач БС, в ньому використовуються більш прості компоненти, отже, його коефіцієнт шуму вище. Стандартом коефіцієнт шуму приймача МС повинен мати значення <9 дБ. Для розрахунку приймемо $k_{ш} = 8$ дБ. Потужність власних шумів приймача МС розраховується за формулою (3.12) і дорівнює:

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -117,7 + 8 = -109,3 \text{ дБмВт.}$$

Мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача МС з урахуванням запасу на внутрішньо системних перешкод і виграш від м'якого хендовера за допомогою 3.13 та дорівнює:

$$P_{прМС} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} - L_n - G_{хо} = -109,3 + 7,9 - 8 + 5 - 3 = -107,4 \text{ дБм,}$$

де $(E_b/N_0)_{треб}$ – становить 4.8 дБ при швидкості абонента 3 км/год.

$$G_{обр} = 10 \log (R_{чип}/R_{польз}) = 10 \log (3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 8 \text{ дБ.}$$

3.8.2 Визначення необхідної потужності сигналу

Необхідна потужність сигналу визначається виразом (3.16) і дорівнює:

$$P_{np} = -107,9 + 1 + 3 = -103,9 \text{ дБм}$$

3.8.3 Розрахунок ефективно випромінюваної потужності базової станції

Ефективне випромінювання потужність БС розраховується за виразом (3.17) та дорівнює:

$$P_{БС} = 50/55 = 0,9 \text{ Вт} = 900 \text{ мВт} (29 \text{ дБм})$$

$$P_{изБС1} = 29 + 19/55 - 2 = 27 \text{ дБм} = 0,53 \text{ мВт (на 1 кодовый канал)}$$

$$P_{изБС} = 0,53 * 55 = 29,15 \text{ Вт}$$

3.8.4 Розрахунок допустимих втрат на трасі

Допустимі втрати на трасі можливо знайти за формулою (3.18):

$$L = 15 - (-100,9) - 22 = 107,9 \text{ дБ.}$$

3.9 Оцінка ємності мережі LTE

Ємність, або пропускну здатність, мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності соти в певних умовах. Приведені значення середньої спектральної ефективності соти LTE FDD в макромережі. Характеристики оцінювалися для діапазону 2 ГГц, смуги каналу 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексі), при втратах на проникнення в будівлю 20 дБ, в середньому при 10 активних користувачів в соті.

Таблиця 3.4 – Значення середньої спектральної ефективності соти LTE FDD в макромережі

Лінія	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность, б/т/с/Гц
UL	1 x 4	1,038
DL	4 x 2	1,85

Для системи FDD середня пропускну здатність соти може бути отримана шляхом прямого множення ширини каналу на спектральну ефективність:

$$R_{FDD} = S_{FDD} * W \quad (3.19)$$

де S_{FDD} – середня спектральна ефективність;

W – ширина каналу.

Розрахуємо середню пропускну здатність соти на лінії вниз:

$$R_{FDD} = 1,85 * 20000 = 37 \text{ Мбіт/с.}$$

Також середню пропускну здатність соти на лінії вгору:

$$R_{FDD} = 1,038 \cdot 20000 = 20,8 \text{ Мбіт/с}$$

Розрахунок ємності мережі LTE FDD R_{NW} (Мбіт/с) в мегаполісі при наявності пари смуг $10 + 10$ МГц і при перевикористанні N стільникових майданчиків. Середня пропускна здатність БС, N , Мбіт/с приклад розрахунку:

- число сот – 500;
- середня пропускна здатність БС – 37 Мбіт/с.

Ємність мережі або сумарна пропускна здатність такої мережі в напрямку до абонента складе:

$$R_{NW} = R_{BC} \cdot N = 37 \cdot 500 = 18500 \text{ Мбіт/с.}$$

Розрахунок усередненого трафіку абонента в ГНН R_{BH} (Мбіт/с), якщо задані: $T_{аб}$, Гбайт/місяць – трафік абонента, N_{BH} – число ГНН в день; N_D – число днів у місяці.

$$T_{аб} = 20 \text{ Гбайт/місяць; } N_{BH} = 15; N_D = 30.$$

$$R_{BH} = \frac{T_{аб} \cdot 8}{N_{BH} \cdot N_D} :$$

$$R_{BH} = 20 \cdot 8 / (15 \cdot 30) = 0.36 \text{ Мбіт/с.}$$

Визначаємо усереднений трафік абонента на DL (лінія вниз) в ГНН R_{DL} (Мбіт/с), якщо дані усереднений трафік абонента в ГНН, R_{BH} (Мбіт/с) і частка трафік на DL, SDL (%).

$$R_{BH} = 0,36 \text{ Мбіт/с}; S_{DL} = 80\%.$$

$$R_{DL} = R_{BH} \cdot S_{DL} = 0,36 \cdot 0,8 = 0,288 \text{ Мбіт/с}.$$

Розраховуємо число абонентів N_{AB} , при відомій сумарній пропускній спроможності R_{NW} , Мбіт/с і усередненого трафіку абонента на DL в ГНН R_{DL} , Мбіт/с.

$$R_{NW} = 18500 \text{ Мбіт/с}; R_{DL} = 0,288 \text{ Мбіт/с}.$$

$$N_{AB} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$$

$$N_{AB} = 18500/0,288 = 64236 \text{ аб.}$$

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків ємності мережі LTE

Трафік абонента, Гбайт / місяць	T_{AB}	20
Число ГНН в день	N_{BH}	15
Число днів у місяці	N_{θ}	30
Усереднений трафік абонента в ГНН, Мбіт / с	R_{BH}	0,36
Частка трафік на DL, %	S_{DL}	80
Усереднений трафік абонента на DL в ГНН, Мбіт / с	R_{DL}	0,288
Загальний трафік в мережі, Гбіт / с	R_{NW}	18500
Число абонентів, тис	N_{AB}	64

4 МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ MATLAB ПРОЦЕДУРИ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ (HANDOVER)

4.1 Опис і вхідні дані для імітаційної моделі

Розроблена модель передбачає використання події A3 для ініціювання відправки звітів про вимірювання на базову станцію. Параметри, які використовуються для управління процедурою хендовер: Hyst, Offset, time-to-trigger.

Параметри, що розраховуються в процесі моделювання:

- число неуспішних пізніх спроб хендовера (HO_Late_Fail): відбувається обрив зв'язку з цільовою eNodeB;
- число неуспішних ранніх спроб хендовера (HO_Early_Fail): відбувається обрив зв'язку з обслуговується eNodeB;
- число Ping-Pong HO – величина частою передачі обслуговування між двома базовими станціями.

Вхідні дані включено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані

Тип параметрів	Назва параметру	Значення параметру
Параметри базової станції	Потужність передавача базової станції (eNB_power, dBm)	27
	Частота передавача базової станції (eNB_F, MHz)	2100
Параметри користувача	чутливість приймача мобільної станції (UE_sens, dBm)	-111
	Швидкість переміщення абонента (UE_speed, км / год)	3, 50, 120
Параметри управління процедурою хендовер	TimeToTrigger, мс	0, 40, 60...5000
	Hyst	0,1...30
	Offset	-30...30
	Модель загасання	Cost Hata

4.2 Алгоритм роботи імітаційної моделі

На рисунку 4.1 зображена функціональна блок-схема імітаційної моделі.

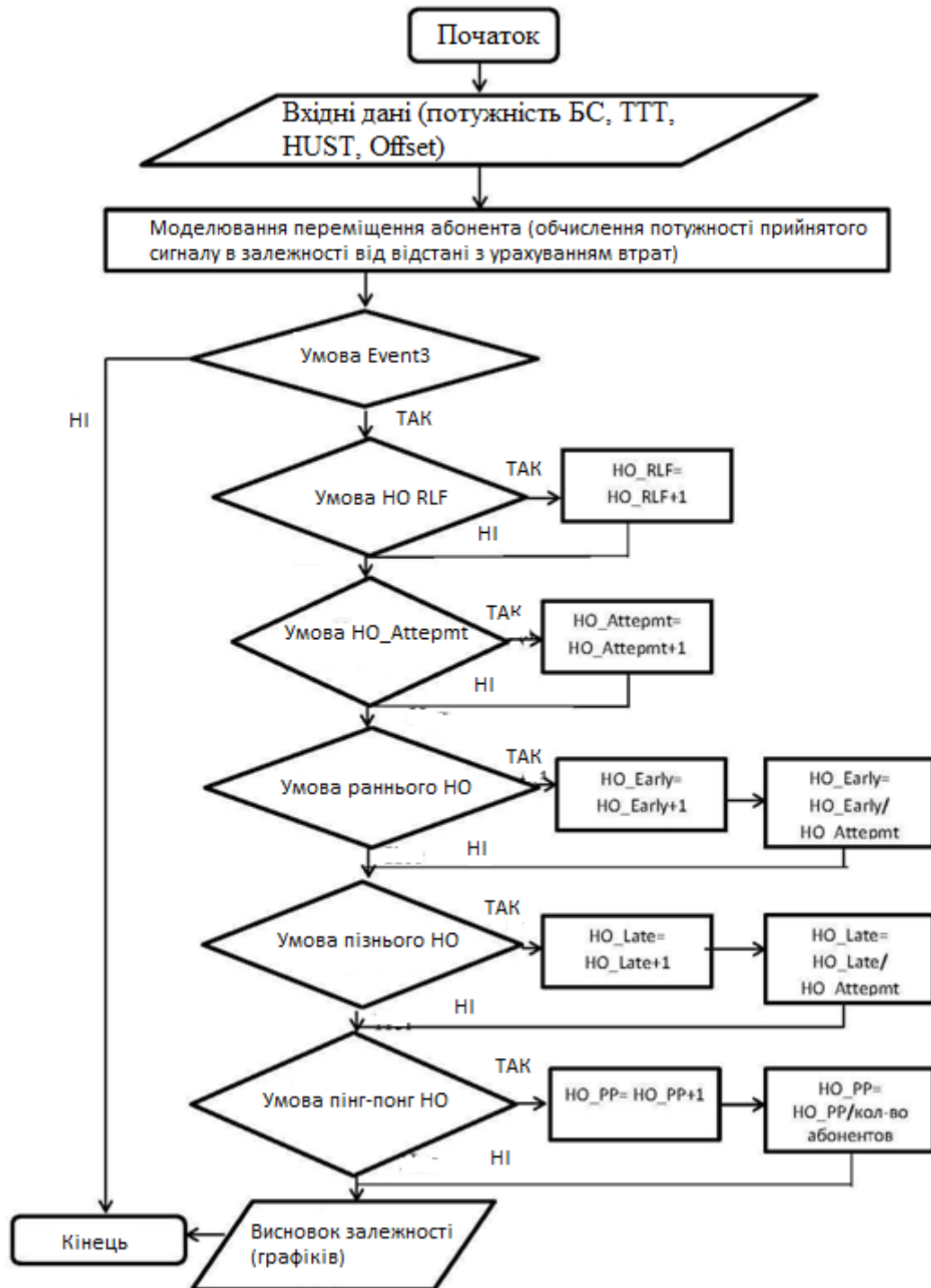


Рисунок 4.1 – Функціональна блок-схема імітаційної моделі

4.2.1 Результати моделювання

За допомогою розробленої імітаційної моделі були отримані графіки залежності величини пізніх, ранніх і частих хендверів від різних параметрів системи. Так само імітаційна модель дозволяє оцінити вплив швидкості переміщення абонента на ефективність процедури передачі обслуговування.

Дослідження впливу швидкості переміщення абонента на ймовірність обриву зв'язку обслуговуються базовою станцією (пізній хендверів).

Проблема пізнього хендвера полягає в погіршенні якості сигналу який обслуговується базовою станцією до критичних значень, коли відбувається обрив зв'язку. При цьому мобільна станція, через некоректно розумних налаштувань не встигає переключитися на цільову базову станцію.

Для дослідження даної проблеми були отримані графіки залежності ймовірності обриву зв'язку який обслуговується базовою станцією від параметра TimeToTrigger, для абонентів з різною швидкістю переміщення (рис. 4.2).

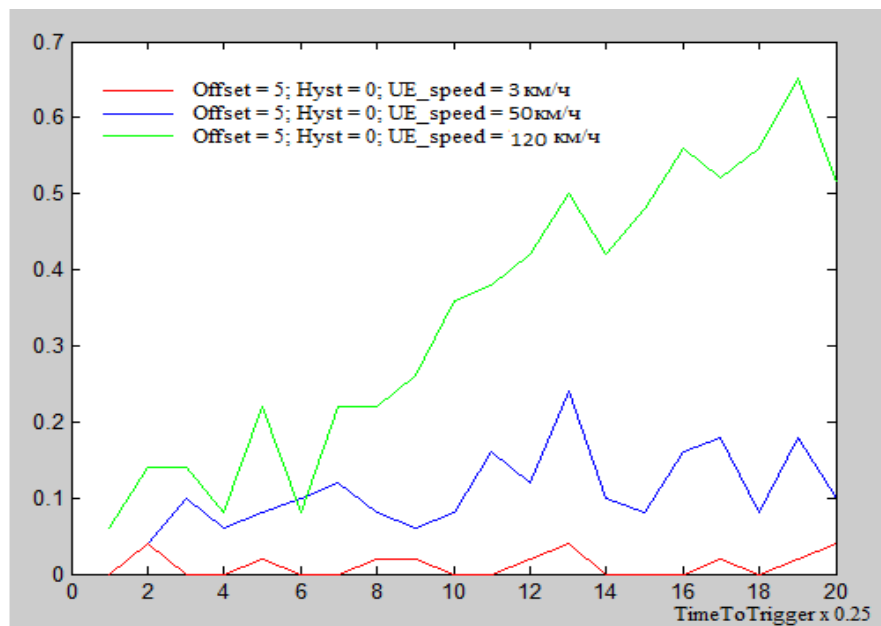


Рисунок 4.2 – Графік залежності ймовірності пізнього хендвера від параметра TimeToTrigger для абонентів з різною швидкістю переміщення

З отриманих графіків (рис. 4.2) можна зробити висновок, що чим вище швидкість переміщення абонента, тим вище ймовірність виникнення пізнього хендовера, тобто розриву зв'язку з обслуговуючою базовою станцією (Source eNodeB). Параметр TimeToTrigger визначає проміжок часу, через який мобільна станція буде відправляти звіт на базову станцію при настанні події A3 (Event A3). Таким чином, якщо в соті передбачається, що велика частина абонентів матиме високу швидкість переміщення, доцільно буде використовувати TimeToTrigger менше однієї секунди.

4.2.2 Дослідження впливу параметрів Hyst і Offset на ймовірність виникнення пізніх і ранніх хендовера

Для дослідження даної проблеми були отримані графіки залежності ймовірності обриву зв'язку з обслуговується і цільової базової станцією від параметрів Hyst і Offset, для абонентів з різною швидкістю переміщення.

$$I = 0,1 \dots 30.$$

$$\text{Hyst} = I - \text{змінюється в діапазоні: } 0, 1 \dots 30.$$

$$\text{Offset} = -30 + 2I - \text{змінюється в діапазоні: } -30, -28 \dots 30.$$

З графіків (4.3) Можна зробити висновок, що чим вище значення $\text{Offset} + \text{Hyst}$, тим вище ймовірність виникнення пізнього хендовера. Сума даних параметрів визначає на яке значення має відрізнятися сигнал від обслуговується і цільової базових станцій для виникнення події A3 (Event A3). З графіків видно, що, чим менше значення $\text{Offset} + \text{Hyst}$, тим вище ймовірність ранніх хендоверів, тобто мобільна станція охочіше переходить на цільову базову станцію (рис. 4.3).

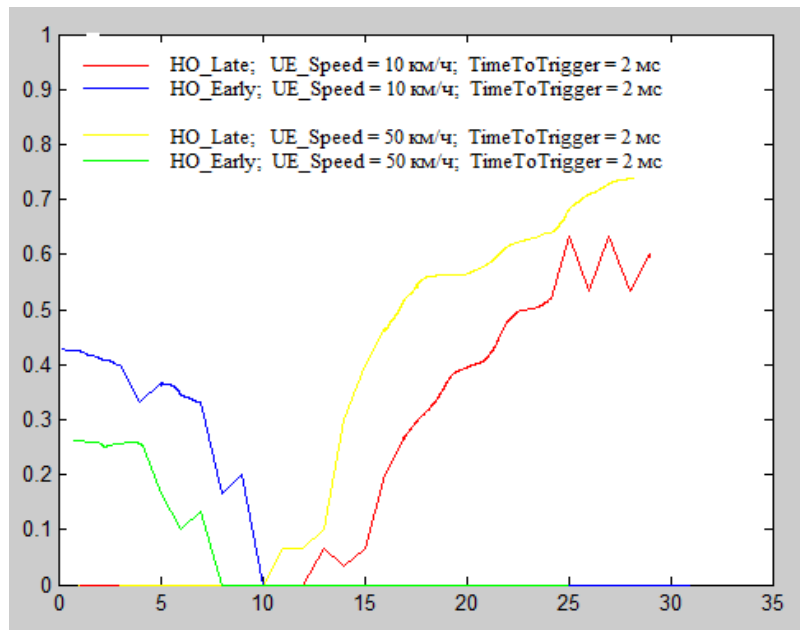


Рисунок 4.3 – Графік залежності ймовірності пізнього та раннього хендовера від параметрів Hyst і Offset

4.2.3 Знаходження оптимальних параметрів Hyst і Offset для соти

Для знаходження оптимальних параметрів Hyst і Offset за допомогою імітаційної моделі було обчислено значення продуктивності процедури хендовер за такою формулою:

$$\text{HO_Performance} = 0.4 * \text{HO_Late} + 0.4 * \text{HO_Early} + 0.2 * \text{HO_PP} \quad (4.1)$$

Дана формула враховує пізні, ранні хендовери і Ping-Pong хендовери. Нижче наведено графік залежності продуктивності процедури хендовер від параметрів Hyst і Offset (рис. 4.4).

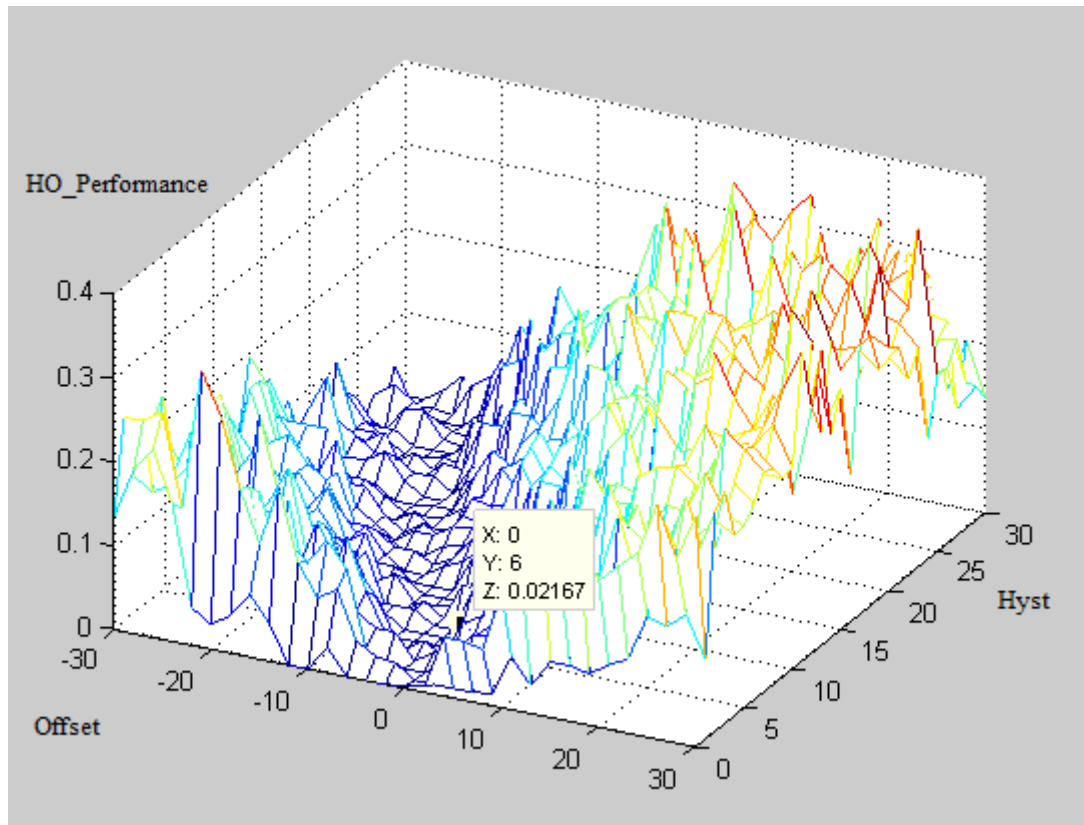


Рисунок 4.4 – Графік залежності функції ефективності хендовера від параметрів Hyst і Offset

З даного графіка (рис 4.4) можна визначити оптимальні значення параметрів Hyst і Offset для стоти. Оптимальним значенням будуть відповідати значення Hyst і Offset, при яких функція продуктивності приймає найменші значення.

5 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1 Обґрунтування актуальності теми

Оскільки з кожним роком все більше зростає кількість користувачів мобільним зв'язком, це означає збільшення обсягу передавання інформації, а отже збільшення навантаження на технічну частину, що обслуговує абонентів. Цю проблему вирішують цифрові методи модуляції.

Телекомунікаційний ринок є одним з найбільш перспективних та швидко зростаючих напрямків галузі зв'язку України. На даний час система телекомунікацій в Україні знаходиться на шляху швидкого розвитку, що в цілому орієнтоване на вхід української системи зв'язку в світову, як рівноправного партнера. Однією з галузей зв'язку, що має бурний розвиток, є мобільний зв'язок. Щороку відбувається злиття та поглинання одних мобільних операторів іншими, а самі мобільні оператори розширюють спектр послуг, які вони надають, з метою отримання більшої частки на ринку. Традиційні методи моделювання розвитку даного ринку ускладнені постійною появою нових технологій, що кардинально змінюють характер розвитку ринку.

Аналіз, дослідження та робота над даною темою носить актуальних характер в сучасних мовах. Про це також свідчить активізація активності досліджень та нових розробок у заданому напрямі.

Більш складні за алгоритмом роботи цифрові методи модуляції (у порівнянні з аналоговими методами) вимагають ускладнення апаратурної (технічної) реалізації системи. Саме цифрові методи модуляції використовуються у більшості сучасних системах мобільного зв'язку.

Темою дипломного проекту є «Моделювання каналу зв'язку з використанням QAM модуляції». Ця тема охоплює знання, які формують загальну інформацію про протоколи множинного доступу та їх призначення, як вони застосовуються в безпроводових мережах, засоби проектування,

конструювання та матеріалізації відповідних технічних процесів та явищ у конкретних об'єктах та системах, які стосуються теми дипломного проекту.

Питання досліджу цифрових методів модуляції, а саме створення спеціального програмного забезпечення для формування сигналів вивчалось недостатньо. Загалом матеріал викладено у навчальних посібниках носить загальний характер, у той час як у різних статтях та публікаціях за даною тематикою розглядаються більш вузькі питання, що стосуються заданої теми. Проте потребується більш детальніше врахувати сучасні умови при дослідженні проблематики заданої теми.

Висока значимість та недостатня практична розробленість визначають безсумнівну новизну даного дослідження, а отже й підвищують ступінь його значущості для нових технологій у сфері зв'язку.

5.2 Визначення трудомісткості та довго тривалості роботи

Основною умовою раціонального планування дослідження є скорочення строків виконання при мінімальних витратах трудових, матеріальних та грошових ресурсів. Для цього вирішуються такі питання: визначення трудомісткості та тривалості витрат і ефективності дослідження.

Комплекс науково-дослідницьких робіт може бути поділений на етапи. Для кожного етапу необхідно вказати його найменування, трудомісткість, виконавців і тривалість робіт. В даній роботі беруть участь один провідний інженер і один інженер. Результати розподілу наведені в таблиці 5.1.

Через те, що важко встановити трудомісткість виконання робіт, у зв'язку з елементами незвичайності, в процесі виконання більшості науково-дослідницьких робіт, використовується ймовірнісний метод. При цьому використовують дві або три вірогідних оцінки часу. Ці оцінки є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання роботи за формулою (5.1):

$$t_{\text{оч}} = (3 t_{\text{min}} + 2 t_{\text{max}}) / 5, \quad (5.1)$$

де $t_{\text{оч}}$ – очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи, днів;

t_{min} – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} – максимальні витрати часу на виконання роботи за несприятливих умов, днів.

Таблиця 5.1 – Оцінка довго тривалості та трудомісткості етапів робіт

№	Етапи роботи	Часова оцінка, дн.			Роз- кид	Виконавці		Трива- лість, днів
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{оч}}$		Професійна квілафікація	Кіл- сть, чол.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Отримання технічного завдання	1	2	2	0,2	Професіонал в галузі радіотехніки	1	2
2	Огляд літературних джерел	3	7	5	0,8	Інженер- радіотехнік	1	5
3	Аналіз основних принципів організації	2	4	3	0,4	Інженер- радіотехнік	1	3
4	Підготовчий (техніко- економічне обґрунтування) етап	13	15	14	0,4	Інженер- радіотехнік	1	14
5	Написання програми	13	15	14	0,4	Професіонал в галузі радіотехніки	1	14
6	Аналіз результатів програми	10	12	11	0,4	Професіонал в галузі радіотехніки	1	11
7	Вибір необхідного обладнання та матеріалів	2	4	3	0,4	Інженер- радіотехнік	1	3
8	Експериментальні дослідження	20	22	21	0,6	Інженер- радіотехнік	1	21

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Аналіз отриманих даних, коригування програми	4	8	6	0,4	Професіонал в галузі радіотехніки, Інженер-радіотехнік	2	6
10	Висновки та пропозиції	6	8	7	0,4	Професіонал в галузі радіотехніки	1	7
11	Складання та обговорення технічного звіту	1	3	2	0,4	Професіонал в галузі радіотехніки	1	2
12	Впровадження результатів	1	3	2	0,4	Інженер-радіотехнік	1	2
	Усього	76	103	90	–	–	–	90

Ступінь правильності визначення перевіряється розрахунком показника розкиду – різниці між мінімальною та максимальною оцінками часу, що визначається за формулою (5.2):

$$P = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \quad (5.2)$$

Розраховані значення для кожного етапу занесені у табл. 5.1.

Дана дипломна робота повинна виконуватися поетапно, у лінійній послідовності, так без отримання необхідних результатів дослідів не можна виконувати наступний пункт. Використовуючи дані табл. 5.1, збудуємо лінійний календар (рис. 5.1).

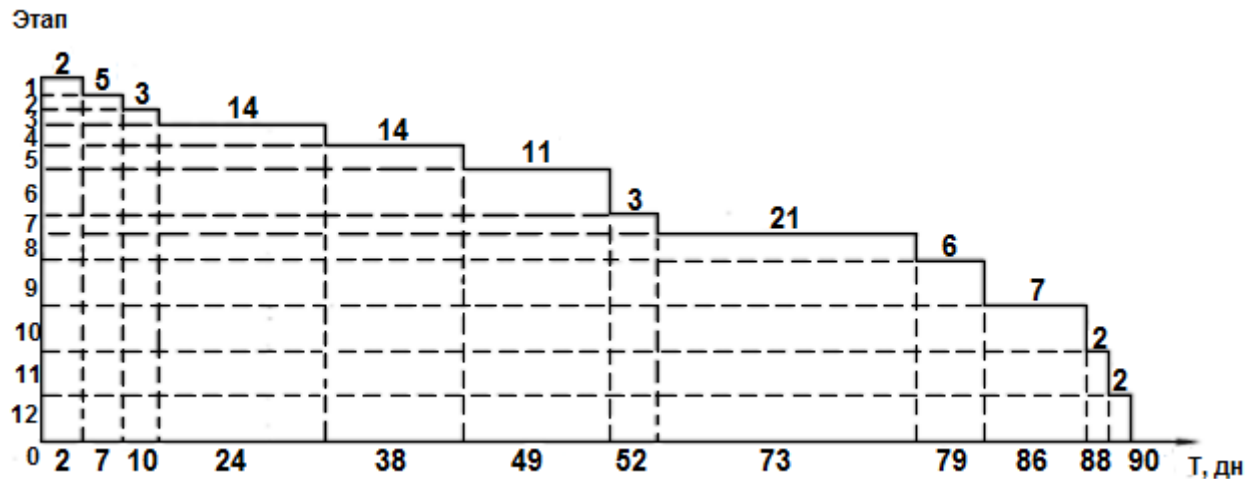


Рисунок 5.1 – Лінійний календарний графік розробки проекту

5.3 Розрахунок кошторису витрат на практичну реалізацію проекту

До складу витрат на реалізацію проекту враховується вартість усіх ресурсів, необхідних для проведення комплексу робіт. Проте в даному випадку, при роботі над заданою темою дипломного проекту розрахунок багатьох статей ускладнений через невизначеність, яка виражається в тому, що заздалегідь невідомо необхідну кількість деяких матеріалів, деталей, послуг, а також величини витрат.

Вирішенням даного питання є використання методики збільшених розрахунків. Дана методика передбачає по перше первинний розрахунок основної заробітної плати, а вже після цього – процентних частин інших статей витрат на реалізацію проекту.

Статті, витрати за якими можуть бути розраховані більш точно, розраховуються за звичайною методикою.

5.3.1 Розрахунок витрат на матеріали

До статті витрат на матеріали включаються вартість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для розробки проекту. За період проведення науково-дослідницьких робіт співробітниками будуть використані наступні матеріали (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Марка, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Кількість	Ціна за одиницю з урахування ТЗВ, грн/шт.	Сума, грн.
Папір А4	UNI Office A4	500	140,0	140,0
Папір А1	Xerox A1	25	75,0	1875
Канц.товари		Набір	360,0	360,00
Флеш-пам'ять	Kingston Data Traveler SE9 16GB (DTSE9H/16GB)	2	179,0	358,00
Усього	—	—	—	2733

5.3.2 Розрахунок основної та додаткової заробітної плати

Витрати на основну заробітну плату складаються з планового фонду заробітної плати всіх категорій працівників, зайнятих в розробці проекту.

Розрахунок заробітної плати ведеться на основі даних про трудомісткість (табл. 5.1). Результати розрахунків зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зар. плата, грн за 22 р.д.	Кількість робочих днів	Сума основної зар. плати, грн
Професіонал в галузі радіотехніки	1	6500,0	295,45	42	12408,90
Інженер-радіотехнік	1	4200,0	190,91	48	9163,60
Усього	2	–	–	90	21572,5

Додаткову заробітну плату приймаємо рівною 10% від основної заробітної плати. Розрахунок основної та додаткової заробітної плати наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Основна та додаткова заробітна плата

Посада виконавця	Додаткова заробітна плата, грн.	Сума основної та додаткової заробітної плати, грн.
Професіонал в галузі радіотехніки	1240,89	13649,79
Інженер - радіотехнік	916,40	10080
Усього	2157,30	23730

5.3.3 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається в розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок становить:

$$\text{ЄСВ} = (\text{ЗП}_{\text{осн}} + \text{ЗП}_{\text{доп}}) \cdot 22\% / 100\%, \quad (5.3)$$

де $\text{ЗП}_{\text{осн}}$ – основна заробітна плата, грн.;

$\text{ЗП}_{\text{доп}}$ – додаткова заробітна плата, грн.

$$\text{ЄСВ} = 23730 \cdot 0,22 = 5220,6 \text{ (грн.)}$$

5.3.4 Витрати на спеціальне устаткування

У цій статті враховуються витрати на оренду, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних та регулювальних пристроїв, приладів, випробувальної апаратури тощо.

Витрати на оплату машинного часу за статтею «Витрати на спеціальне обладнання» визначаються за формулою:

$$C_{\text{мч}} = P_{\text{експ}} \cdot T_{\text{м}}, \quad (5.4)$$

де $C_{\text{мч}}$ – витрати на оплату машинного часу, грн.;

$P_{\text{експ}}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу ЕОМ даного типу, грн./год.;

$T_{\text{м}}$ – час використання ЕОМ даного типу при проектуванні, год.

У середньому, 80% усієї роботи виконується за допомогою ЕОМ. Враховуючи це, розраховуємо машинний час за формулою:

$$t_{\text{м}} = 0,8 \cdot 90 = 72 \text{ днів.} \quad (5.5)$$

Експлуатаційні витрати на одну годину робочого часу ЕОМ визначаються за кошторисом витрат на утримання і експлуатацію устаткування (табл. 5.5) і річного ефективного фонду часу.

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$AB = \Phi_6 / T_{\text{сл}}, \quad (5.6)$$

де Φ_6 – балансова вартість комп'ютерної техніки;

$T_{\text{сл}}$ – строк служби, років.

Підставивши у формулу 5.6 значення балансової вартості комп'ютерної техніки: Ноутбук ASUS VivoBook 17 X705UV-GC026T (90NB0EW2-M00280) Dark Grey Экран 17.3" IPS (1920x1080) Full HD, матовый / Intel Core i3-7100U (2.4 ГГц) / RAM 6 ГБ / HDD 1 ТБ + SSD 128 ГБ / nVidia GeForce 920MX, 2 ГБ / DVD Super Multi (внешний) / LAN / Wi-Fi / Bluetooth / веб-камера / Windows 10/2.1кг/серый+Мышь A4Tech G10-810 F-1 Wireless Black (4711421876735)+HP LaserJet Pro M426dw with Wi-Fi (F6W13A) + USB cable=(20999*2+455*2+11940)/1,15/2=31526,10 грн.

Витрати на експлуатацію обладнання включають в себе:

– витрати на електроенергію, враховуючи що вищезазначена комп'ютерна техніка працює по 8 годин в день, 250 днів у рік, споживаючи 1 кВт потужності при вартості 1 кВт/год 2,68 грн.

$$B_{\text{ел}} = 250 * 8 * 1,0 * 2,68 * 0,8 = 4288 \text{ грн.}; \quad (4.7)$$

– заробітна плата спеціаліста по ремонту та експлуатації комп'ютерної техніки, виходячи з того, що його щомісячна заробітна плата складає 4500 грн., доплати 10% і єдиний соціальний внесок 22%, а на роботу по обслуговуванню обладнання даного проекту він виділяє 5% свого робочого часу:

$$B_{\text{зп}} = 4500 * 1,1 * 1,22 * 12 * 0,05 = 3623,4 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Таким чином, загальна сума витрат на експлуатацію обладнання складає 7911,4 грн.

Витрати на поточний ремонт обладнання приймаються рівними 3% від балансової вартості обладнання, що складає 1891,57 грн.

Інші витрати приймаються рівними 4% від усіх попередніх статей витрат на утримання та експлуатацію обладнання:

$$Він=0,04*(31526,1+ 7911,4 + 1891,57) = 1653,16\text{грн} \quad (4.9)$$

В таблиці 5.5 відображено кошторис витрат на утримання та експлуатацію комп'ютерної техніки.

Таблиця 5.5 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію комп'ютерної техніки

Стаття витрат	Сума, грн
Вартість обладнання	31526,1
Експлуатація обладнання	7911,4
Поточний ремонт обладнання	1891,57
Інші витрати	1653,16
Всього	42982,23

Витрати на спеціальне устаткування за весь час розробки проекту складають:

$$C_{\text{мо}}=72*8*42982,23/1800=13754,30 \text{ грн} \quad (5.10)$$

5.3.5 Загально виробничі витрати

До ЗВВ витрат відносять витрати на загальне управління та загальногосподарські потреби (на заробітну плату апарату управління, канцелярські витрати та ін), на утримання і експлуатацію будівель і споруд.

Накладні витрати включаються у вартість проведення роботи непрямым шляхом – у відсотках від основної заробітної плати співробітників.

Накладні ЗВВ становлять 30% від основної заробітної плати співробітників, що в нашому випадку становить:

$$НВ=21572,5 \cdot 0,3=6471,75 \text{ (грн).}$$

5.3.6 Бальна оцінка економічної ефективності проекту

З метою визначення витрат на реалізацію проекту складено кошторис витрат (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на реалізацію проекту

Статті витрат	Умовне позначення	Сума	
		грн.	Структура, %
Матеріали	М	2733	5.265
Основна заробітна плата виробничого персоналу	ЗПосн	21572,5	41.558
додаткова заробітна плата виробничого персоналу	ЗПдод	2157,3	4.156
Єдиний соціальний внесок	ЄСВ	5220,6	10.057
Витрати на спеціальне устаткування для реалізації проекту	СУ	13754,30	26.497
Загально виробничі витрати	ЗВВ	6471,75	12.467
Усього витрат на реалізацію проекту	-	51909,45	100.00

Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності яких неможливий, оцінюють за допомогою бальної системи.

Бальна оцінка проводиться за наступними показниками:

– важливість розробки $K_1=1$, обирається з табл. 5.7;

Таблиця 5.7 – Шкала для оцінки важливості розробки K_1

№ з/п	Показник	Бали
1	Ініціативна робота, що не є частиною комплексної програми, або завданням відомчих органів	1
2	Робота, виконувана за договором про науково-технічну допомогу	3
3	Робота представляє частину відомчої програми	5
4	Робота представляє частину відомчої комплексної програми	7
5	Робота представляє частину міжнародної комплексної програми	8

– можливість використання результатів розробки $K_2=8$ (табл. 5.8);

Таблиця 5.8 – Шкала оцінки можливості використання результатів розробки K_2

№ з/п	Показник	Бали
1	У даному підрозділі	1
2	У даній організації	3
3	У багатьох організаціях	5
4	У масштабах країни	8

– теоретична значимість і рівень новизни дослідження $K_3=2$ (табл. 5.9);

Таблиця 5.9 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження КЗ

№ з/п	Показник	Бали
1	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області	2
2	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомі в досліджуваній області	3
3	Одержання нової інформації, що змінює уявлення про сутність досліджуваних процесів, не відомої раніше	5
4	Створення нових теорій, методик	6
5	Одержання інформації, що сприяє формуванню напрямків, не відомих раніше	8

– складність розробки К4=3 (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Шкала оцінки показників складності дослідження К₄

№ з/п	Показник	Бали
1	Робота виконується одним підрозділом, витрати менш 10000 грн.	1
2	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн.	3
3	Робота виконується одним підрозділом, витрати 50000-100000 грн.	5
4	Робота виконується за участю багатьох підрозділів, витрати 100000-500000 грн.	7
5	Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 500000 грн.	8

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (5.11)$$

$$P_c = 1 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 3 = 48 \text{ балів.}$$

Питомий ефект на кожний бал умовно – 2 000 грн.

Загальний ефект від розробки складає:

$$E = P_c \cdot 2\,000 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (5.12)$$

$$E = 2\,000 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 3 = 96\,000 \text{ грн}$$

Економічна ефективність від реалізації дипломного проекту визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, що характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$K_B = E / K_{\text{ндр}} \quad (5.13)$$

$$K_B = 96\,000 / 51\,909,45 = 1.849.$$

В даному розділі було проведено аналіз і обґрунтування економічної ефективності науково–дослідницької роботи. Розраховано, що для проведення дослідження необхідно близько 90 днів. При цьому сумарні витрати на дослідження становлять 51909,45 грн., з них:

- витрати на матеріали – 2733 грн. (5.265%);
- витрати на заробітну плату – 21572,5 грн., що становить 41.558% від загальної суми витрат з розробки проекту;
- додаткова заробітна плата виробничого персоналу 2157,3 грн. (4.156%);
- єдиний соціальний внесок – 5220,6 грн. (10.057%);

– витрати на спеціальне обладнання для реалізації проекту – 14709,4грн. (26.497%);

– загально виробничі витрати – 6471,75грн. (12.467%).

Обґрунтованість ефективності дослідження підтверджується розрахованим коефіцієнтом економічної ефективності, який становить – 1.849.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях є важливим складовим елементом при розробці програмного забезпечення. Одним із способів забезпечення охорони та безпеки праці є правильна організація робочого місця. Робоче місце, яке організовано згідно з стандартами безпеки та ергономіки робить процес роботи не тільки безпечнішим, але ще й зручнішим та ефективнішим.

У цьому розділі проаналізовані усі небезпечні та шкідливі фактори, які виникають в офісних приміщеннях обладнаних комп'ютерами та іншими електронними приладами. Також тут описані заходи з забезпечення санітарії, гігієни та безпеки, які було вжито для створення сприятливих умов для роботи працівників.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Робота проводиться у офісному приміщенні. Основними потенційними небезпеками при роботі у офісному приміщенні є такі небезпеки як:

- небезпека ураження електричним струмом, оскільки розробник підчас проведення досліджень, увесь свій робочий час проводить за комп'ютером;
- небезпека ураження шкідливим випроміненням електричного та магнітного поля, яке виникає підчас роботи моніторів на основі електронно-променевих трубок та системних блоків комп'ютера;
- небезпека перенавантаження органів зору, оскільки за 8 годин робочого часу користувач виконає понад 30000 поглядів на мерехтливий екран комп'ютера;

- небезпека виникнення пожежі, у зв'язку із порушенням правил протипожежної безпеки робітниками дослідницького центру, або у зв'язку з несправністю електричного устаткування;
- негативний вплив недостатнього освітлення робочого місця на органи зору та на загальну продуктивність, через некоректно спроектовану систему освітлення або через її несправність;
- негативний вплив шуму на органи слуху та загальний психоемоційний стан людини, який виникає через використання несправних або застарілих периферійних приладів, освітлювальної техніки, кондиціонерів;
- негативний вплив на здоров'я, у зв'язку з неправильно спроектованої вентиляційної системою;
- виникнення перевантаження нерво-психічного характеру, які виникають у зв'язку з періодичними конфліктами з клієнтами та керівництвом під час вирішення робочих питань;
- небезпека виникнення механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату у наслідок не правильно спланованого робочого місця;
- виникнення небезпечних ситуацій через не коректні дії працівників у надзвичайних ситуаціях.

6.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Приміщення конструкторського бюро, у якому працює співробітник, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Дане приміщення, обладнане необхідним електричним устаткуванням, яке живиться від змінного струму 220 В від мережі з заземленою нейтраллю та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. За засобом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає

згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І(стаціонарні комп'ютери) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Для забезпечення електробезпеки на робочому місці було виконано наступні групи заходів.

а) Конструктивні заходи. Вони дозволяють за допомогою ізоляції струмопровідних частин (дротів) забезпечити захист від прямого дотику до струмопровідних частин.

Згідно з ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» для всіх приладів ІІ класу захисту було використано подвійну ізоляцію – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» приміщення конструкторського бюро відноситься до класу пожежонебезпечної зони ІІ-ІІа (приміщення, з твердими горючими речовинами), тому було використано ІР44 ступінь захисту ізоляції обладнання.

Також, ізоляція усіх електронних приладів була перевірена на цілісність. У ході перевірки ніяких дефектів не було виявлено.

б) Схемно-конструктивні заходи. Даний тип заходів призначений для забезпечення захисту працівників від ураження електричним струмом при не навмисному дотику до металевих конструкцій, наприклад у разі аварії.

Для вирішення цієї проблеми, у офісному приміщенні конструкторського бюро приміщенні, згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» було виконано занулення.

в) Організаційні заходи. Експлуатація електроприладів і електроустаткування проводилася згідно з НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-

1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»).

Для забезпечення захисту від надлишкового випромінення, напруженість електронних та магнітних полів була виміряна та не перевищила допустимі показники 80 В/м і 50 А/м відповідно з ГОСТ 12.1.006-84.

Для запобігання перенавантаження травм органів зору та кістково-м'язового апарату, кожні дві години проводилися 10 хвилинні перерви для відпочинку.

Най типовішою травмою при роботі за комп'ютером є тунельний синдром, який трапляється у наслідок тривалої роботи з мишею. Для уникнення появи тунельного синдрому були впроваджені такі заходи:

- клавіатуру було встановлено на оптимальній висоті –70 см від підлоги;
- для роботи були обрані ергономічні і зручні клавіатура та миша;
- для роботи були обрані столи з можливістю регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури була встановлена 25 мм, кут підйому клавіатури – 10°);
- була обрана клавіатура з підставкою для рук;
- для роботи був обраний килимок для миші з захистом від тунельного синдрому (з спеціальним виступом, який забезпечує правильне положення кисті);
- робоче місце було обладнане стільцем з підлокітниками.

Також для того, щоб процес роботи був безпечний та ефективний робоче місце було спроектовано згідно з загальними ергономічними вимогами встановленими в ДСТУ ISO 9241-1:2003«Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі. Частина 1.Загальні положення».

Було проведено планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні:

- робочі місця з ВДТ були розміщені на відстані 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ була встановлена в 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна була встановлена 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має був встановлений розміром 1 м.

6.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» в приміщенні дослідницького центру було використано природне та штучне освітлення.

Для аналізу ефективності природного освітлення було проведено розрахунок.

Розміри приміщення: $5\text{ м} \times 7\text{ м} \times 2,5\text{ м}$ висвітлюється через бічні світлопройми і розташоване в 4-му поясі світлового клімату. Призначено для IV розряду зорових робіт.

У приміщенні знаходиться одне вікно розміром $7\text{ м} \times 1,42\text{ м}$, розташоване уздовж більшої стіни приміщення і орієнтовані на схід. Відстань від підлоги до підвіконня 1 м, відповідно висота щодо рівня робочої поверхні, який розташований на висоті 0,8 м від підлоги, становить 0,2 м. Відстань від вікна до розрахункової точки 3 м. Матеріал вікон – пустотілі світлопрозорі блоки, обрамлення сталеве, подвійні, відкриваються. Сонцезахисних пристроїв немає.

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для четвертого світлового поясу, в якому розміщується Україна e_n^{IV} , розраховується у процентах за формулою:

$$e_n^{IV} = e_n^{III} \times t \times c ,$$

де e_n^{III} – нормоване значення КПО для III світлового поясу, яке визначається по ДБН В.2.5-28-2006 (з огляду на розряд зорової роботи, дорівнює 1,4%);

m – коефіцієнт світлового клімату (для України-0,9);

c – коефіцієнт сонячності клімату (враховуючи 4-й пояс світлового клімату і розташування вікон, дорівнює 0,8).

Тоді нормоване значення КПО дорівнюватиме:

$$e_n^{IV} = 1,4 \times 0,9 \times 0,8 = 1,0\%$$

Фактичне значення коефіцієнта природного освітлення для досліджуваного приміщення можна визначити за формулою:

$$100 \times \frac{S_{on}}{S_n} = \frac{e \times h_3 K_6 \times K}{t \times r_1}.$$

Звідки:

$$e_\phi = \frac{100 \times S_0 \times t \times r_1}{S_n \times h \times K_3 \times K_6},$$

де S_0 – площа всіх вікон у приміщенні, $S_0 = 7 \times 1,42 = 9,94 \text{ м}^2$;

S_n – площа підлоги приміщення $S_n = 5 \times 7 = 35 \text{ м}^2$.

$$t = t_1 \times t_2 \times t_3 \times t_4 \times t_5,$$

де, t – загальний коефіцієнт світло пропускання віконного отвору (складається з коефіцієнтів світло пропускання матеріалу, що враховують втрати світла в рамі світло прорізи, в несучих конструкціях і в сонцезахисних

пристроях, а також втрати світла в захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями і при бічному освітленні $t_3 = t_4 = t_5 = 1$;

$t_1 = 0,55$ – оскільки матеріал вікон – пустотілі світлопрозорі блоки;

$t_2 = 0,6$ – оскільки, обрамлення сталеві, подвійні відкриваються;

$$t = 0,55 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,33$$

r_1 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при бічному освітленні за рахунок світла, відбитого від поверхонь приміщення і подстільного шару, який прилягає до будівлі:

$$\frac{\text{глибина приміщення}}{\text{відстань від рівня робочої поверхні до верхньої частини вікна}} = 3,1$$

$$\frac{\text{відстань від розрахункової точки до вікна}}{\text{глибина приміщення}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$\frac{\text{довжина приміщення}}{\text{глибина приміщення}} = \frac{7}{5} = 1,4.$$

З огляду на це, а також на значення середньозваженого коефіцієнта відображення $t = 0,4$ (Для меблів середнього відтінку між темним і світлим тонами), приймемо $r_1 = 2$.

h – світлова характеристика вікна, береться за таблицею, для розглянутого приміщення. У нашому випадку $h = 15$.

K_{δ} – коефіцієнт, який враховує затемнення вікон іншими будинками, якщо будинків немає, тоді $K_{\delta} = 1$, а у нас саме такий випадок;

K_z – коефіцієнт запасу приймається в межах від 1,3-1,5, для нашого випадку візьмемо значення 1,3.

Отже, фактичне значення коефіцієнта природного освітлення для досліджуваного приміщення дорівнюватиме:

$$e_{\phi} = \frac{100 \times 9,94 \times 0,33 \times 2}{35 \times 15 \times 1,5 \times 1} = \frac{656,04}{787,5} = 0,83$$

Порівнюючи значення нормованого коефіцієнта природного освітлення для даного приміщення ($e_n^{IV} = 1,0\%$) та фактичне ($e_{\phi} = 0,83\%$) було зроблено висновок, що додаткові заходи щодо поліпшення природного освітлення потрібні.

Штучне освітлення в приміщенні було здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 400 лк. У якості джерел штучного освітлення були використані люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Показники мікроклімату в офісних приміщеннях відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень».

У приміщення конструкторського бюро були встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23° С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24° С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Оптимальні рівні позитивних (n^+) і негативних (n^-) іонів у повітрі приміщення з ПК були про нормовані згідно ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становлять: $n^+=1500-30000$ (шт. на 1 см^3); $n^- = 3000-5000$ (шт. на 1 см^3).

Підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аерофонів у повітрі на робочих місцях було забезпечено за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Дотримання вимог цих документів було досягнуто оснащенням приміщення конструкторського бюро пристроями кондиціонування і вентиляції, дезодорації повітря, опалювання згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення були про нормовані згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Зниження рівня шуму в приміщенні було здійснено за допомогою:

- використання сучасного обладнання;
- МФУ, принтери та різноманітного устаткування колективного користування були встановлені на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- ПК були обладнані блоками живлення з вентиляторами на гумових підвісках.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Закон України «Про пожежну безпеку» визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території

України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Клас пожежі у офісному приміщенні (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А. Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Було визначено тип та розраховано кількість первинних засобів пожежегасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – для адміністративного приміщення площею 35 м² слід застосовувати 2 порошкових вогнегасники типу ВП–5 (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»).

Крім цього офісне приміщення було обладнане автоматичними пожежними сповіщувачами моделі ДТЛ, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я.

Меблі та були розміщені так, щоб забезпечити вільний евакуаційний прохід розміром 1,5 м до виходу з приміщення. В міру накопичення горючих відходів (використаного паперу тощо), а також після закінчення роботи всі відходи було прибрано у спеціально відведені сміттє збірники.

Документи, папір та інші горючі матеріали слід зберігалися на відстані, 1,0 м – від електрощитів, електрокабелів, проводів; 0,5 м – від світильників; 0,25 м – від приладів опалення.

Було впроваджене постійне освітлення електричним світлом шляхів евакуації, які не мають природного освітлення.

Електрощити, групові електрощити повинні були оснащені схемами підключення споживачів з пояснювальними написами і вказаним значенням номінального струму апарата захисту (плавкої вставки).

Пожежні сповіщувачі функціонували цілодобово і постійно утримувалися в чистоті. До них має був забезпечений вільний доступ. Відстань від складованих матеріалів і устаткування до сповіщувачів повинна становити 0,6 м.

Усі засоби протипожежного захисту утримувалися у справному стані. Для всіх працівників був проведений інструктаж для того, щоб вони навчилися користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та внутрішніми пожежними кранами та знали місця їх розташування. Відстань від найвіддаленішого місця в офісному приміщенні центру до найближчого вогнегасника 5 м.

Кожного дня, у всіх, незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення відключалася напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок).

6.5 Організація і проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт

Організація і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт полягає у виконанні заходів, передбачених чинним законодавством з питань ліквідації наслідків стихійного лиха, аварій і катастроф, епідемій і епізоотій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення . Для організації і проведення рятувальних та інших аварійно-невідкладних робіт під час ліквідації наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, епідемій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення створюються формування

цивільної оборони До проведення таких робіт залучаються: невоєнізовані формування ЦО, медичні організації та військові частини і підрозділи.

Для проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт необхідно:

- завчасно спланувати дії формувань цивільної оборони як при загрозі нападу так і під час проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт;
- перевірити та уточнити плани цивільної оборони на навчаннях, що проводяться на об'єктах;
- організувати з робітників та службовців, студентів формування цивільної оборони та підготувати їх для роботи в осередках ураження;
- оснастити формування цивільної оборони індивідуальними засобами захисту, приладами, майном, технікою;
- вивести в найкоротші строки формування цивільної оборони, створені в містах, в заміську зону, розмістити їх в завчасно намічених районах й привести в готовність до проведення рятувальних робіт;
- організувати управління та керівництво формуваннями цивільної оборони при проведенні рятувальних робіт.

До заходів, що необхідні під час проведення рятувальних робіт відносять: розвідка маршрутів для формувань ЦО, локалізацію та гасіння пожеж, пошук і рятування людей з-під завалів та зруйнованих захисних споруд, надання першої медичної допомоги та евакуацію потерпілих, санобробку людей та знезараження їх одягу, знезараження місцевості, споруд, техніки.

Під невідкладними роботами в осередках ураження розуміють:

- локалізація аварій;
- ліквідація або укріплення аварійних споруд;
- прокладання шляхів на заражених територіях і проїздів у завалах;
- знешкодження боєприпасів, вогне- та вибухонебезпечних предметів;
- відновлення та ремонт пошкоджених захисних споруд.

Рятувальні роботи в закладі (установі) поділяють на два етапи:

- перший етап триває з моменту отримання сигналу про небезпеку до прибуття спеціалізованих формувань цивільної оборони;
- другий етап – від прибуття формувань цивільної оборони до виконання ними поставлених завдань (вивезення (виведення) членів колективу в безпечну зону, евакуацію поранених у лікувальні заклади).

На першому етапі рятувальні роботи організовує начальник цивільної оборони закладу чи установи, а виконує їх увесь колектив разом із невоєнізованими формуваннями цього закладу.

До складу невоєнізованих формувань входять такі групи: зв'язку, із забезпечення громадського порядку, протипожежної служби, медичної допомоги, протирадіаційного та протихімічного захисту.

а) Група зв'язку складається з керівника групи та помічників (черговий біля телефону та посильні). Завдання групи – оповіщення членів колективу про загрозу виникнення надзвичайної ситуації, передача сигналу структурам цивільної оборони міста (району), підтримка засобів зв'язку у стані постійної готовності, забезпечення штабу цивільної оборони навчального закладу засобами зв'язку.

б) Група із забезпечення громадського порядку, керівник – працівник установи, який відповідає за її охорону. Завдання групи: забезпечити охорону закладу, підтримати порядок у випадках надзвичайних ситуацій, надання допомоги керівництву під час евакуації.

в) Група протипожежної служби: бере участь у розробці протипожежних профілактичних засобів, здійснює контроль за їх виконанням, забезпечує постійну готовність до використання засобів пожежогасіння, локалізує та гасить пожежу, надає допомогу у проведенні спеціальної обробки території.

г) Група медичної допомоги: організовується на базі медичного пункту закладу чи установи. Завдання групи: організовує і проводить санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи, надає медичну допомогу

ураженим, допомагає їх евакуації до лікарень, проводить часткову санітарну обробку уражених.

д) Група протирадіаційного та протихімічного захисту, організовує видачу засобів індивідуального захисту, здійснює контроль за радіаційною та хімічною ситуацією у закладі та на прилеглій території, за станом сховищ та укриттів, бере участь у заходах з ліквідації наслідків радіаційного та хімічного зараження.

При ліквідації наслідків НС виникає необхідність в організації рухомих пунктів харчування, речового і продовольчого забезпечення.

Підрозділи громадського харчування (пересувні пункти харчування ЦО) призначені для забезпечення гарячим харчуванням особового складу формувань в районах розміщення та при проведенні рятувальних і невідкладних аварійних робіт, а також потерпілого населення в загонах першої допомоги. Таким пунктом керує начальник пункту. При пункті створюються три ланки.

З них дві ланки приготування та роздачі їжі (командир ланки, старший повар, повари (3 чол.), робітники (2 чол.), водій). До ланок прикріплюються по одному вантажному автомобілю та по одній пересувній кухні (котлові). Можливості пересувного пункту харчування за 10 годин роботи: приготувати і роздати їжу на 1200 чол.

е) Ланка забезпечення (командир, кладовщик-дозиметрист, бухгалтер, робітники (4 чол.), водії (3 чол.)). До ланки прикріплюється по одному вантажному автомобілю, авторефрижератору та автоводоцистерні.

ж) Підрозділи торгівлі продовольчими товарами (пересувні пункти продовольчого постачання ЦО) призначені для забезпечення особового складу формувань продуктами харчування (сухим пайком) при відсутності можливості приготування гарячої їжі.

Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організовується декілька ланок (5) фасування та

роздачі сухих пайків (командир ланки, дозиметрист, фасувальники-роздатчики (3), водій) До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом. Орієнтовні можливості пункту за 10 годин роботи: скомплектувати та видати 5000 сухих пайків.

Підрозділи торгівлі промисловими товарами (пересувні пункти речового постачання ЦО) призначені для забезпечення санітарних пунктів та загонів першої медичної допомоги одягом, білизною та взуттям. Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організовується декілька ланок (5) речового постачання (командир ланки, дозиметрист, роздатчики (4), водій). До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом.

ВИСНОВКИ

Широкосмугові безпроводні мережі доступу в наш час викликають зростаючий інтерес у користувачів, в зв'язку з сервісними можливостями і високошвидкісними доступами. З початок 2013 року мережа побудована на базі технологій LTE бурхливо розвивається в усьому світі.

У роботі представлені можливості, які може нам надати мережу четвертого покоління на базі технологій LTE. Сервісні і швидкісні можливості в разі поліпшені в порівнянні з мережею 3G. Як видно з експериментальної частини завантаження каналу не перевищує 34 мс, на відстані до одного кілометра в міських умовах швидкість прийому даних змінюється від 53 Мбіт/с до 22 Мбіт/с. Зона покриття базової станції дорівнює 2,36 км, в міських щільно заселених умовах. У розрахунковій частині розраховані режими робіт висхідній і низхідній лінії зв'язку. Також була розроблена імітаційна модель, що дозволяє оцінити ключові показники ефективності процедури передачі обслуговування між базовими станціями системи LTE при різних параметрах системи. За допомогою моделі були отримані графіки залежності числа невдалих ранніх і пізніх хендвера, а також ймовірність дуже частого передачі обслуговування між базовими станціями в залежності від параметрів, встановлених в соті (гістерезис (hyst), Offset, Time to Trigger). На основі отриманих даних були визначені оптимальні параметри.

Дані отримані мною говорять про відносно хорошій якості мережі і виправдовує масовий попит на дану технологію.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ermolayev V. Handover Parameter Optimisation in LTE [Текст] / V. Ermolayev. – Russia: MERA, 2002.
2. Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных [Текст] / Е.А. Попов. – Спб.: Издательство политехнического университета, 2011. – 205 с.
3. Vivian Lee. LTE and Evolution to 4G Wireless, design and measurement challenges, – 457 с.
4. 3GPP standardization, –Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Requirements (Release 11), TS32.521 v11.1.0, Dec. 2012. – 26 p.
5. 3GPP standardization, –Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS) (Release 11), TS32.522 v11.7.0, Dec. 2013.– 58 p.
6. Capdevielle V. Self-Optimization of Handover Parameters in LTE Networks // Alcatel-Lucent Bell-Labs. France.
7. Sujuan F., Eiko S. Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long-Term Evolution. Nomor Research GmbH, 2008. – 15 p.
8. Аниссимов А. Событие A3(Event A3) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://anisimoff.org/lte/measurements/event_a3.html.