ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «**ПОБУДОВА МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ WCDMA**»

на здобуття освітнього ступеня магістр
зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Олександр ХАВРЕЛ

(*підпис)* *І'мя*, ПРІЗВИЩЕ *здобувача*

Виконав здобувач вищої освіти гр.ТСДМ-63 Олександр ХАВРЕЛ

Керівник: Віталій ТЮРІН
ДТН, доцент
науковий ступінь, вчене звання

Рецензент:
науковий ступінь, вчене звання

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Телекомунікаційних систем та мереж
_____Віктор ЗАЇКА
«____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Хаврелу Олександру Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: **:** «Побудова мережі мобільного зв'язку на основі технології WCDMA»
керівник кваліфікаційної роботи Віталій ТЮРІН, ДТН, доцент
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «30» жовтня 2025 р. № 467.
2. Строк подання студентом роботи 20.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи:

1. Імітаційна модель;

2. Програмний комплекс;
3. Показників якості обслуговування абонентів;
4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Принципи побудови та управління ресурсами та параметрами радіомережі WCDMA;
2. Імітаційне моделювання впливу абонентського навантаження на якість надання послуг;
3. Реалізації програмного комплексу автоматичного управління та налаштування параметрів завантаження ресурсів радіопідсистеми WCDMA

1 5. Перелік ілюстративного матеріалу**:** Презентація на слайдах

2

6. Дата видачі завдання «___» _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та аналіз науково-технічної літератури	10.10.2025	Викон.
2	Аналіз радіопідсистеми мережі WCDMA,концепція управління її параметрами та ресурсами	20.10.2025	Викон.
3	Імітаційна модель впливу радіопідсистеми на якість обслуговування абонентів	31.10.2025	Викон.
4	Практична реалізації програмного комплексу з автоматичного управління папараметрів і ресурсами радіопідсистеми WCDMA	20.11.2025	Викон.
5	Висновки, вступ, реферат	30.11.2025	Викон.
6	Розробка презентації	15.12.2025	Викон.

Здобувач вищої освіти Олександр ХАВРЕЛ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Віталій ТЮРІН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій
ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Хаврел О.І. до захисту магістерської роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)
на тему: «Побудова мережі мобільного зв'язку на основі технології WCDMA».

Магістерська робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Хаврел Олександр Ігорович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які були поставлені керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до наукової роботи.
Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Хаврела Олександра Ігоровича на оцінку «**добре**» та присвоїти йому кваліфікацію Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки.

Керівник роботи Віталій ТЮРІН
_____
(підпис) *(Ім'я,ПРІЗВИЩЕ)*

«____» _____ 2025 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Хаврел О.І. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою Телекомунікаційних систем та мереж _____ Віктор ЗАЇКА
(назва) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну роботу
на здобуття освітнього ступеня магістр

здобувача вищої освіти Хаврела Олександра Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему «Побудова мережі мобільного зв'язку на основі технології WCDMA»

Актуальність: Технології мобільного голосового зв'язку й високошвидкісної безпроводової передачі даних у даний момент переживають період бурхливого розвитку, темпи якого змушують замислитися про перспективи використання нових стандартів і систем радіозв'язку вже зараз. В сучасному суспільстві безпроводові системи зв'язку займають визначальну роль, причому постійно змінюються як вимоги споживачів, так і технології, які можуть забезпечити потреби. Одною з основних задач при реалізації будь якої мережі є ефективне управління ресурсами із застосуванням різних інструментів, програмних засобів, саме від коректності їх налаштувань і використання ресурсів радіопідсистеми залежить якість надання послуг абонентам. У зв'язку з цим тема роботи представляється актуальною.

Позитивні сторони: Робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, суть та структуру поставленої мети, а отримані результати і запропоновані рекомендації можуть використовуватися як на етапі планування радіомережі WCDMA для визначення конфігурації ресурсів радіопідсистеми, так і на етапі експлуатації для пошуку причин погіршення якості обслуговування абонентів та усунення неузгодженості в конфігурації ресурсів радіопідсистеми.

Недоліки: 1. У роботі доцільно було б розглянути альтернативне програмне забезпечення для моніторингу і контролю безпроводових мереж зв'язку, які використовують оператори України, та виконати їх порівняльний аналіз.

2. Не приділено належної уваги апаратній частині, на базі якої реалізується досліджувана технологія.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи

Висновок: *кваліфікаційна робота заслуговує оцінку "***добре***", а Здобувач* Хаврел Олександр Ігорович *заслуговує присвоєння кваліфікації:* Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Рецензент: _____ _____

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Науковий ступінь, вчене звання *(підпис)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістр : ___ стор., ___ рис., ___ табл., ___ джерел.

Об’єкт дослідження – процес впливу радіосистеми мережі WCDMA на якість обслуговування абонентів.

Предмет дослідження – радіопідсистема мережі WCDMA з підтримкою технології передачі даних HSPA

Мета роботи – підвищення якості обслуговування абонентів в мережі WCDMA

Методи дослідження. При виконанні досліджень були використані методи теорії ймовірності, математичної статистики, теорії поширення радіохвиль і імітаційного моделювання на основі програмних продуктів MathCad і PL/SQL Developer.

Для виконання поставленої мети, у магістерській роботі виконано аналіз принципів побудови та управління ресурсами та параметрами радіомережі WCDMA. Проведено імітаційне моделювання впливу абонентського навантаження на якість надання послуг. У практичній частині виконана реалізація програмного комплексу автоматичного управління та налаштування параметрів завантаження ресурсів радіопідсистеми WCDMA. Отримані результати і запропоновані рекомендації можуть використовуватися як на етапі планування радіомережі WCDMA для визначення конфігурації ресурсів радіопідсистеми, так і на етапі експлуатації для пошуку причин погіршення якості обслуговування абонентів та усунення неузгодженості в конфігурації ресурсів радіопідсистеми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

РЕСУРС, МЕРЕЖА, WCDMA, HSUPA, АБОНЕНТ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС, ЧАСТОТА, АЛГОРИТМ, АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ, ПОЛОСА, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for the degree of Master: ___ pages, ___ figures, ___ tables, ___ sources.

The object of the study is the process of influence of the WCDMA network radio system on the quality of service to subscribers.

The subject of the study is the radio subsystem of the WCDMA network with support for HSPA data transmission technology

The purpose of the work is to improve the quality of service to subscribers in the WCDMA network

Research methods. The research used methods of probability theory, mathematical statistics, radio wave propagation theory and simulation modeling based on MathCad and PL/SQL Developer software products.

To achieve the set goal, the master's thesis analyzed the principles of building and managing resources and parameters of the WCDMA radio network. Simulation modeling of the impact of subscriber load on the quality of service provision. In the practical part, the implementation of a software complex for automatic control and configuration of WCDMA radio subsystem resource loading parameters was carried out. The results obtained and the proposed recommendations can be used both at the design stage WCDMA radio network planning to determine the configuration of radio subsystem resources, and at the operation stage to find the causes of deterioration in the quality of subscriber service and eliminate inconsistencies in the configuration of radio subsystem resources.

KEYWORDS:

RESOURCE, NETWORK, WCDMA, HSUPA, SUBSCRIBER, SOFTWARE, FREQUENCY, ALGORITHM, AUTOMATIC CONTROL, BANDWIDTH, BANDWIDTH.

ЗМІСТ

ВСТУП……..9
1 АНАЛІЗ РАДІОПІДСИСТЕМИ МЕРЕЖІ WCDMA,КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЇЇ ПАРАМЕТРАМИ ТА РЕСУРСАМИ……..11
1.1 Аналіз радіочастотного ресурсу в Україні……11
1.2 Дослідження характеристик підсистеми радіодоступа мережі WCDMA…….13
1.3 Принципи організації технології доступу HSDPA……...……...21
1.4 Принципи організації технології доступу HSUPA, характеристики мобільних терміналів……30
1.5 Концепція системи управління ресурсами радіопідсистеми мережі WCDMA…….35
1.6 Аналіз ключових ресурсів мережі WCDMA…….....….40

2 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ РАДІОПІДСИСТЕМИ НА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ……...48
2.1 Формування моделі абонентського навантаження та основні характеристики імітаційної моделі……..……..…..48
2.2 Імітаційна модель впливу обмежень ресурсів на якість обслуговування абонентів……...….53
2.3 Результати імітаційного моделювання впливу сукупності ресурсів на якість обслуговування абонентів…….62

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ І РЕСУРСАМИ РАДІОПІДСИСТЕМИ WCDMA……..72
3.1 Показники якості обслуговування абонентів і завантаження ресурсів радіопідсистеми…….72
3.2 Пропозиція по реалізації системи обробки статистичних аварійних подій……76
3.3 Реалізація програмного комплексу автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми…….79
3.4 Результат впровадження алгоритму автоматичного управління навантаженням……...93
ВИСНОВКИ…….....100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……...102
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ……...104

ВСТУП

Актуальність дослідження. Мережі стільникового зв'язку WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access, широкосмуговий множинний доступ з кодовим поділом каналів) є найбільш поширеною платформою для побудови мереж третього покоління (3G, Third Generation). Серед основних причин їх масштабного поширення можна виділити еволюційний процес переходу від мереж GSM (Global System for Mobile Communications, глобальна система цифрового мобільного зв'язку). В даний час більше 90 % всіх мереж WCDMA підтримують технологію HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, високошвидкісний пакетний доступ в прямому каналі) з досить високою швидкістю. Оператори мереж WCDMA активно вводять в експлуатацію технологію HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, високошвидкісний пакетний доступ в зворотному каналі), яка поліпшує показники якості мережі в цілому. Додаткові можливості надають нові протоколи високошвидкісної передачі даних HSPA + (Evolved HSPA, поліпшені протоколи високошвидкісної передачі даних), які дозволяють досягати швидкостей 21-28 Мбіт / с в прямому каналі.

Зі збільшенням швидкостей передачі даних і застосуванням нових технологій доступу особливо актуальним стає питання управління ресурсами радіопідсистеми мережі WCDMA з метою забезпечення необхідного якості обслуговування абонентів. Програмні комплекси, що дозволяють проводити налаштування фізичних параметрів радіомережі, таких як потужність каналу PCPICH (Primary Common Pilot Channel, основний загальний пілотний канал), кути нахилу антен базових станцій (БС), азимути антен БС, пропонуються великим числом спеціалізованих компаній, наприклад: Schema, Amphora, Optimi. Такі програмні інструменти здатні автоматично управляти сусідськими відносинами між секторами 3G-3G, 3G-2G, параметрами внутрішньомережевих і міжмережевих естафетних передач, потужностю окремих RAB (Radio Access Bearer).

Програмні інструменти, що дозволяють в автоматичному режимі управляти ресурсами радіопідсистеми і налаштовувати їх конфігурацію. Однак найчастіше

при збільшенні швидкостей передачі даних і обсягу трафіку саме від коректності налаштувань використання ресурсів радіо-підсистеми залежить якість надання послуг абонентам. У зв'язку з цим тема роботи представляється актуальною.

Ступінь наукової розробки. У магістерській роботі реалізовано алгоритм адаптивного управління ресурсами радіопідсистеми мережі WCDMA підтримкою технології високошвидкісної передачі даних.

Розроблено рекомендації по налаштуванню параметрів радіопідсистеми WCDMA, що враховують коефіцієнти блокувань і обривів для голосових і пакетних з'єднань, надаючи змогу підвищити ефективність обслуговування аботнетів.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати і запропоновані рекомендації можуть використовуватися як на етапі планування радіомережі WCDMA для визначення конфігурації ресурсів радіопідсистеми, так і на етапі експлуатації для пошуку причин погіршення якості обслуговування абонентів та усунення неузгодженості в конфігурації ресурсів радіопідсистеми.

1 АНАЛІЗ РАДІОПІДСИСТЕМИ МЕРЕЖІ WCDMA, КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЇЇ ПАРАМЕТРАМИ ТА РЕСУРСАМИ

1.1 Аналіз радіочастотного ресурсу в Україні

Зі стандартним 2G проблемних питань не виникало с початку 2000-х. Спершу оператори отримали 1800 МГц для покриття міст та облцентрів, трохи пізніше і 900 МГц для завантаження мереж та покриття всієї території країни, включаючи маленькі села та дороги. Цей стандартний зв'язок, який не спостерігається в реальності у світі, до сих пор часто використовується в Україні, що приносить майже половину прибутку оператору мобільної зв'язку. У 2018 році, вперше мобільний Інтернет приніс операторам мобільного зв’язку більше доходів, ніж голосовий зв’язок[1].

У 2015 році, після вказівки Петра Порошенко, почалася робота з підготовки поширення мереж третього покоління в Україні. Тендер на частотах 2100 МГц минув 23 лютого 2015 року. Тоді, оператор life :) (сьогодні "lifecell") заплатив за ліцензію більше всіх - 3 млрд. 355 млн. 400 грн., МТС Україна (сьогодні "Vodafone Україна") - 2 млрд. 715 млн. І автоматично третій лот отримав "Київстар" за 2 млрд. 705 млн. грн. Так, вважаючи, що Київстару дісталися самі "грізні" частоти, із-за чого, оператор додає додаткове встановлення фільтрів на своїх базових станціях.

Таким чином, три найбільших оператора країни отримали наступні частоти IMT-2000 (UMTS) »в смугах радіочастот 1920-1935 / 2110-2125, 1950-1965 / 2140-2155, 1965-1980 / 2155-2170 МГц.

Згідно з рішенням НКРЗІ на ліцензіатів накладаються зобов'язання забезпечити дотримання показників якості послуг рухомого (мобільного) зв'язку та їх граничні нормованих рівнів на територіях згідно з Умовами тендеру. Документом також визначаються зобов'язання одержувачів ліцензій по реалізації заходів (в т.ч. фінансового характеру) щодо конверсії радіочастотного ресурсу України у відповідних смугах радіочастот[2].

Через 3,5 року, держава продала мобільним операторам першу порцію LTE-частот 2600 МГц. Через що, директори всіх компаній висловили своє невдоволення, що спочатку потрібно було продати основну частоту, на якій буде йти будівництво покриття по країні. У лютому 2018 року, почався найцікавіший для операторів тендер - на 1800 МГц. Це та частота, на якій буде побудована основна LTE-мережа в усіх містах країни.

Лот №4 - Київстар (612 млн грн), Лот №5 - Vodafone (742 млн грн), Лот №6 - Київстар (900 млн грн). У підсумку загальна вартість трьох вільних ліцензій обійшлася двом операторам в суму 2,254 млрд грн, тоді як lifecell вирішив заощадити і залишитися з закріпленим за собою лотом.

В результаті найбільше за 1800 МГц заплатив Київстар (лоти №2, 4, 6) - 2,837 млрд грн, на другому місці Vodafone Україна (лоти №3, 5) - 1,802 млрд грн і на третьому місці lifecell (лот №1) - 795 млн грн.

У сумі за всі шість лотів і 150 МГц частот 4G-тендера в діапазоні 1800 МГц оператори заплатили 5,434 млрд грн.

У Київстару і Vodafone вийшли "рвані" шматки спектру, а не ціла смуга, як у lifecell. Загальна картина по РЧР 3G / 4G приведена на рис.1.1.

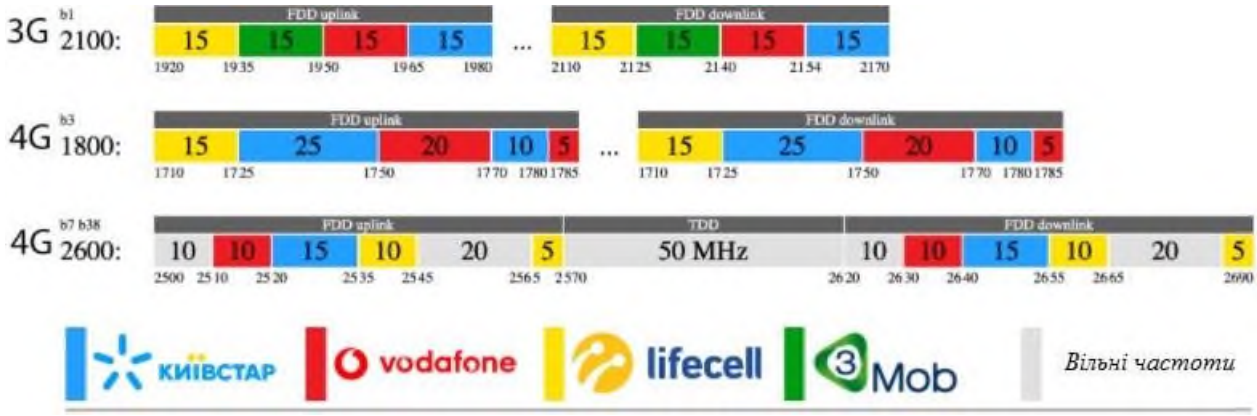


Рис.1.1 Загальна картина по РЧР 3G / 4G

1.2 Дослідження характеристик підсистеми радіодоступа мережі WCDMA

WCDMA - мережа стільникового зв'язку з кодовим поділом каналів і прямим розширенням спектра (DS, Direct Sequence). За класифікацією UMTS стандарт має назву UTRA FDD. Інформаційні біти передаються в широкій смузі частот шляхом множення вихідного потоку даних на послідовності квазівипадкових бітів (чіпів). Чипова швидкість, рівна 3,84 Мчип/с, призводить до заняття смуги 5 МГц, що дозволяє досягати високих швидкостей передачі даних. Оператор може використовувати кілька несучих з смугою 5МГц для збільшення пропускної здатності системи. Основні характеристики стандарту представлені в табл. 1.1 [4].

Таблиця 1.1

Основні характеристики стандарту UTRA FDD

Характеристики	Значення
Діапазон частот, МГц	1920-1980, 2110-2170
Полоса частот , МГц	5
Чіпова швидкість, Мчіп/с	3,84
Кодування	Згортковий код (R=1/2,R=1/3) + код Ріда-Соломона,турбокод
Ортогональні коди	Ортогональний код OVSF зі змінним коофіцієнтом розширення 4-256
Розширяючиі послідовності	Коди Голда
Схема пошуку сот	Трьохетапна
Мінімальна довжина кадру,мс	10
Маніпуляція даних	BPSK, QPSK
Естафетна передача	М’ягка, жорстка
Управління потужністю	Швидкість 1,6 кбіт/с, крок управління 0,25-1,25 дБ

Кодова структура, сформована за допомогою ортогональних кодів з змінним коефіцієнтом розширення, представляється у вигляді кодового дерева. Рівень кодового дерева визначає кодові слова довгою SF (Spreading Factor, коефіцієнт розширення спектра). Повний кодове дерево містить вісім рівнів, що відповідає коефіцієнту розширення 256.

На рис. 1.2 показана початкова структура (3 нижніх рівня) дерева каналоутворюючих кодів. Кожен наступний рівень подвоює можливе число каналоутворюючих кодів. Таким чином, кодове дерево дозволяє генерувати ортогональні коди зі змінним коефіцієнтом розширення спектра. Ансамбль ОУвР кодів залежить від коефіцієнта розширення спектра ЕР і, відповідно, від швидкості передачі даних в каналі. Каналоутворюючі коди для широкомовного транспортного каналу ВСН не змінюються в процесі сеансу зв'язку і однакові у всіх сотах мережі. Каналоутворюючий код може змінюватися в процесі процедури естафетної передачі або в разі зміни режиму роботи мобільного термінілі.

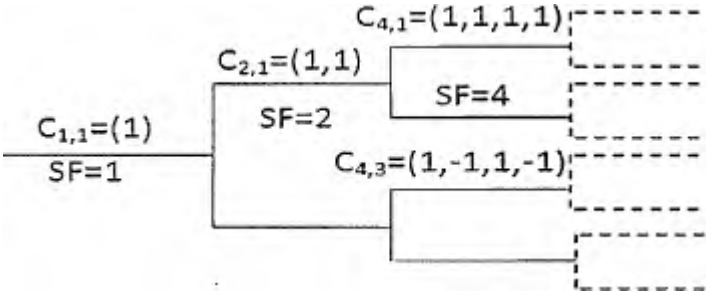


Рис. 1.2 Структура дерева каналоутворюючого коду

У прямому каналі мережі WCDMA застосовується чотирьохпозиційна маніпуляція QPSK. Тоді, знаючи чипову швидкість в каналі, можна отримати швидкості передачі даних для різних коефіцієнтів розширення спектра табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Швидкість передачі даних WCDMA DL

SF	Символічна швидкість в радіоканалі	Бітова швидкість в радіоканалі
256	15	30
128	30	60
64	60	120
32	120	240
16	240	480
8	480	960
4	960	1920

Реальна швидкість передачі даних на радіоканалі буде менше через завадостійке кодування, яке необхідне для захисту інформації. Наприклад, при

занятті коду SF = 8, застосуванні турбокоди зі швидкістю 1/3 і перфорації швидкість передачі даних буде дорівнювати 384 кбіт / с.

У табл. 1.3 таблиці наведені швидкості передачі даних по лінії вгору

Мережа WCDMA є сумісною з мережами другого покоління GSM/GERAN. Мобільний термінал може переходити з однієї мережі в іншу без переривання з'єднання за допомогою процедури естафетної передачі типу inter RAT (Radio Access Technology, технологія радіодоступу).

Даний тип естафетних передач відноситься до жорсткого типу зі зміною частоти. На рис. 1.2 подано класифікацію естафетних передач в мережі WCDMA [5].

Таблиця 1.3

Швидкість передачі даних WCDMA UL

SF	Символічна швидкість в радіоканалі	Бітова швидкість в радіоканалі
256	7,5	15
128	15	30
64	30	60
32	60	120
16	120	240
8	240	480
4	480	960

Всі естафетні передачі в мережі WCDMA можна розділити на два типи: жорсткі і м'які. Під час процедури м'якої естафетної передачі мобільний термінал працює одночасно з декількома секторами. За винятком того випадку, коли естафетна передача відбувається між сотами, що належать різним RNC які не мають взаємодії з Iur інтерфейсом, вони є м'якими, а тому й відбуваються зміни частоти і технології радіодоступу.

При зміні частоти або технології радіодоступу естафетна передача завжди є жорсткою. У тому випадку, коли естафетна передача відбувається між сотами однієї базової станції, вона називається надм’якою. У цьому випадку управління естафетної передачею замикається в NodeB.

М'яка естафетна передача можлива в тих випадках, коли зони обслуговування сусідніх секторів мають перекриття. З одного боку м'яка естафетна передача є

надійною і непомітною для абонента. Однак при дуже великих областях перекриття виникає питання про перевикористання ресурсів радіопідсистеми.

У мережі WCDMA використовується більш складна, трирівнева канальна система:

1-й рівень - фізичний, який визначає маніпуляцію, кодування і тимчасову структуру кадрів;

2-й рівень - транспортний, визначає характеристики переданих повідомлень і обробку інформації на MAC рівні (Medium Access Control);

3-й рівень - логічний, визначає тип переданих повідомлень. Взаємодія каналів на різних рівнях представлено на рис. 1.3.

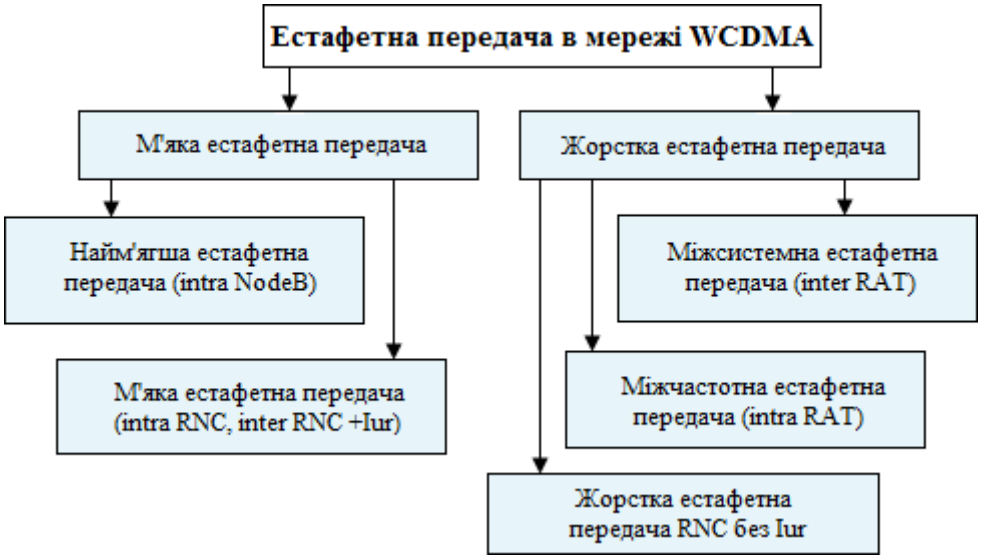


Рис. 1.3 Різновиди естафетних передач в мережі WCDMA

Логічні канали:

- BCCH (Broadcast Control Channel) - односпрямований мовний канал від NodeB до UE, необхідний для передачі системної інформації;

- PCCH (Paging Control Channel) - односпрямований канал від NodeB до UE для передачі пейджингового інформації в idle mode або передачі даних, коли мобільний термінал працює в режимах CELL_PCH або URA_PCH;

- DCCH (Dedicated Control Channel) - двонаправлений виділений канал управління, необхідний для процедур межчастотной естафетної передачі, передачі вимірювань мобільної станції і т.д .;

- CCCH (Common Control Channel) - двонаправлений загальний канал управління, необхідний для передачі повідомлень рівня RRC, cell update, UR A update і т.д .;

- DTCH (Dedicated Traffic Channel) - виділений канал передачі даних;

- CTCH (Common Traffic Channel) - односпрямований канал передачі даних від мережі до мобільних терміналів.

Транспортні канали:

- BCH (Broadcast Channel) - односпрямований транспортний канал передачі мовної інформації від мережі до мобільних терміналів;

- PCH (Paging Channel) - односпрямований транспортний канал передачі;

- RACH (Random Access Channel) - односпрямований транспортний канал від мобільного терміналу до базової станції для початкового доступу до мережі та передачі даних.

- FACH (Forward Access Channel) - односпрямований канал від базової станції до мобільного терміналу, використовується для виділеної сигналізації (Відповідь на повідомлення мобільного терміналу по RACH) і даних;

- DCH (Dedicated Channel) - двонаправлений виділений канал передачі абонентських даних;

- HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) - односпрямований канал передачі абонентських даних за технологією високошвидкісної передачі даних HSDPA.

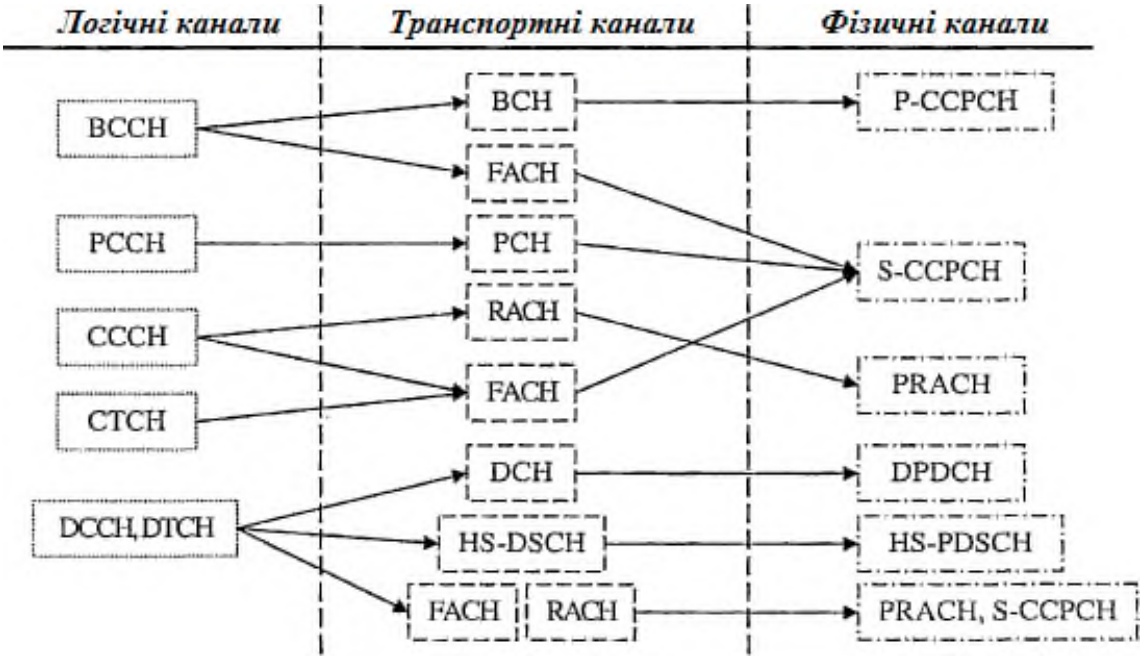


Рис. 1.4 Взаємодія каналів трирівневої структури в WCDMA

Фізичні канали:

- DL DPCH (Downlink Dedicated Physical Channel) - канал передачі абонентських даних в прямому каналі;

- P-CCPCH (Primary Common Control Channel) - загальний фізичний канал управління, передача широкомовної інформації;

- S-CCPCH (Secondary Common Control Channel) - загальний фізичний канал управління, передача інформації каналів PCH, FACH;

- SCH (Synchronizations Channel) - включає в себе первинний і вторинний канали синхронізації;

- PICH (Paging Indicator Channel) - канал передачі пейджингових індикаторів для організації циклу DRX;

- AICH (Acquisition Channel) - передача підтверджень про прийом мережею початкового повідомлення від UE;

- HS-PDSCH (High-Speed Physical Downlink Shared Channel) - Загальний канал передачі абонентських даних за технологією доступу HSDPA;

- HS-SCCH (High-Speed Shared Control Channel) - канал передачі сигнальної інформації для підтримки технології доступу HSDPA.

У мережі WCDMA процес встановлення з'єднань складається з двох етапів рис. 1.5. Для встановлення з'єднання в мережі WCDMA на першому етапі необхідно встановити з'єднання на рівні RRC (Radio Resource Control, рівень управління радіоресурсами). Результатом встановлення RRC з'єднання повинне бути виділення для UE каналу DCCH / FACH, за яким мобільна станція може запросити з'єднання RAB (Radio Access Bearer) для передачі призначення для користувача даних [5]. На рис. 1.5 не вказані повідомлення, передаються прозоро для RNC (DT, Direct Transfer).

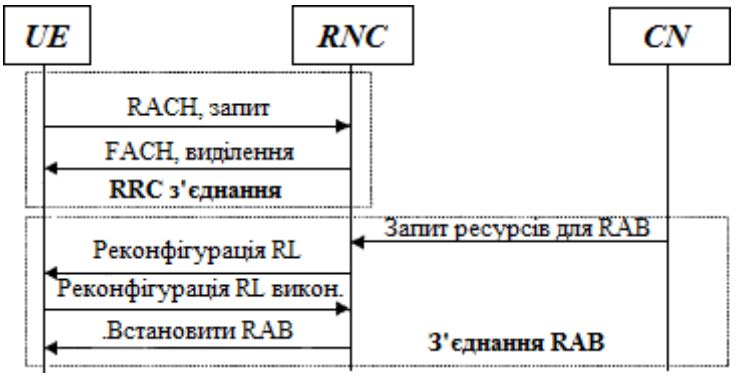


Рис. 1.5 Два етапу встановлення з'єднання в мережі WCDMA

На рис. 1.6 представлений сигнальний обмін між мобільним терміналом і вузлами мережі WCDMA при встановленні RRC з'єднання.

1. Мобільний термінал відправляє запит на встановлення з'єднання в повідомленні RRC Connection Request по каналу PRACH.

2. Грунтуючись на тому, який сервіс запросила мобільна станція і, знаючи про стан завантаження ресурсів NodeB, RNC приймає рішення про установці радіоканалу і виділяє RNTI.

3. RNC відправляє NodeB повідомлення Radio Link Setup Request з проханням зарезервувати ресурси для встановлення сигнального каналу RRC.

4. Після успішного резервування ресурсів NodeB відправляє на RNC повідомлення Radio Link Setup Response.

5. В залежності від типу використовуваної трансмісії між NodeB і RNC, контролер або резервує ресурси на Iub за допомогою сигналізації ALCAP в разі

використання технології ATM і потім синхронізується з NodeB, або, в разі використання технології IP виробляє процедуру синхронізації без операції резервування ресурсів.

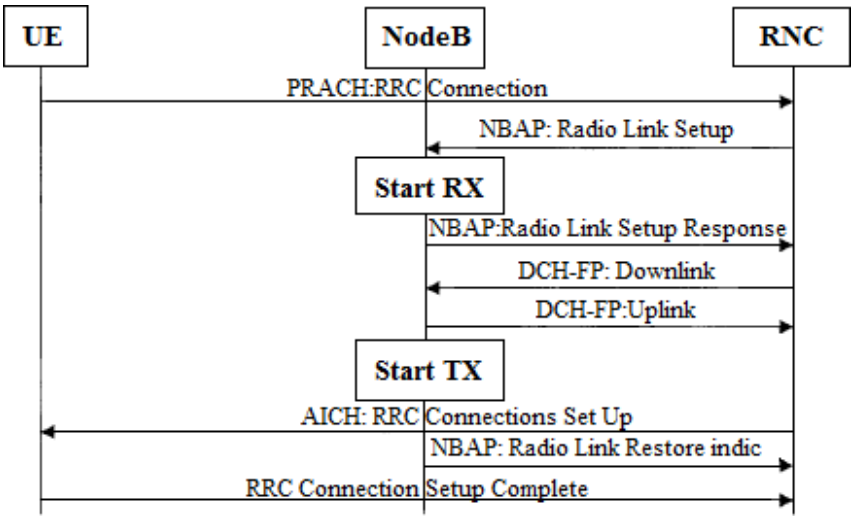


Рис. 1.6 Процедура встановлення RRC з'єднання

6. RNC відправляє повідомлення RRC Connection Setup для UE по каналу AICH.

7. UE відповідає на виділеному каналі сигналізації FACH повідомленням RRC Connection Setup Complete.

Після успішного встановлення RRC з'єднання починається етап встановлення RAB. Процес встановлення з'єднання RRC відбувається не тільки при встановленні з'єднань для передачі абонентських даних, але і при всіх процедурах мобільності.

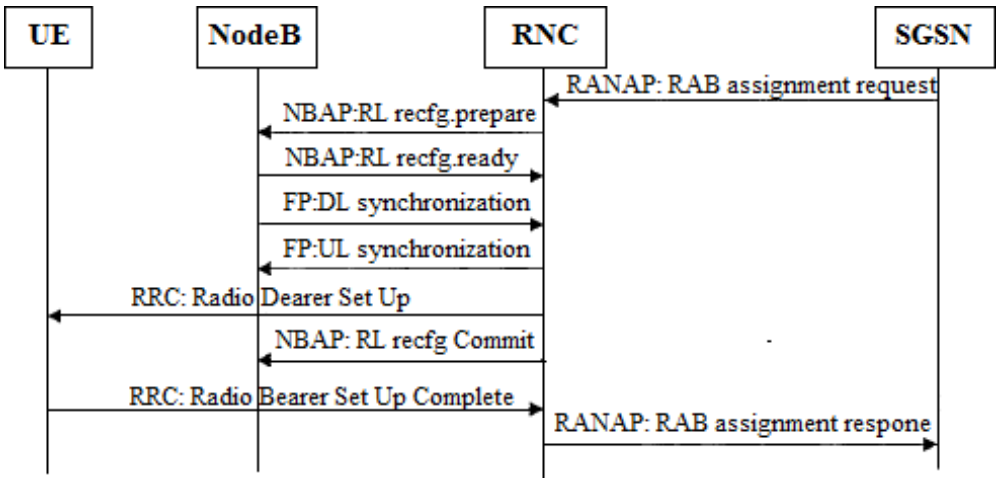


Рис. 1.7 Процедура встановлення RAB з'єднання

1. CN (Core Network) відправляє повідомлення RAB assignment response, даючи команду почати встановлення RAB з'єднання.

2. В залежності від типу трансмісії, що використовується на інтерфейсах Iu і lub, RNC готує її для передачі даних.

3. RNC відправляє повідомлення RB setup request на UE.

4. Після того, як UE встановлює RB, вона інформує про це RNC сполученням RB setup complete.

5. RNC відправляє повідомлення RAB assignment response в CN, інформує про встановлення RAB.

Одним з факторів бурхливого розвитку мереж WCDMA є розроблені технології доступу з підтримкою високошвидкісної передачею даних HSPA. Для підтримки роботи технологій високошвидкісного доступу, мережа не вимагає зміни обладнання і вузлів, а тільки оновлення програмного забезпечення.

1.3 Принципи організації технології доступу HSDPA

Протокол високошвидкісної передачі даних по односпрямованому каналу від базової станції до мобільного, терміналу HSDPA є розвитком мережі UTRAN. Швидкість передачі пакетних даних на радіоканалі збільшується в кілька разів, і досягає в межі 14,4 Мбіт/с. протокол дозволяє підвищити якість послуг, вимогливих до затримок і високим швидкостям в радіоканалі. Розглянемо зміни, завдяки яким можливо досягти таких швидкісних показників [6].

При реалізації технології доступу HSDPA схема утилізації кодового ресурсу сектора змінюється. Для HSDPA формується кодовий пул, який може складатися з 1 ... 15 кодів з коефіцієнтом розширення спектра SF = 16.

Кодовий пул протоколу HSDPA є загальним для всіх активних абонентів HSDPA і розподіляється між ними відповідно до алгоритму планувальника (scheduler). Розглянемо приклад, коли для організації високошвидкісного каналу

передачі даних зарезервовано 12 каналоутворюючих кодів з коефіцієнтом розширення SF = 16 рис. 1.8.

Мобільна станція обробляє паралельно кілька каналів з різними каналоутворюючими кодами.

Необхідно відзначити, що для протоколу HSDPA використовуються каналоутворюючі коди тільки з коефіцієнтом розширення 16, використання інших коефіцієнтів розширення неможливо. Кількість кодів, що виділяються для високошвидкісного каналу HS-PDSCH, в якому передаються призначені для користувача дані, встановлюється оператором.

Технологія доступу HSDPA є більш гнучкою з точки зору використання ресурсів радіопідсистеми. При використанні технології високошвидкісної передач даних утворюється кодово-часовий ресурс, розподіляється між активними абонентами в секторі.

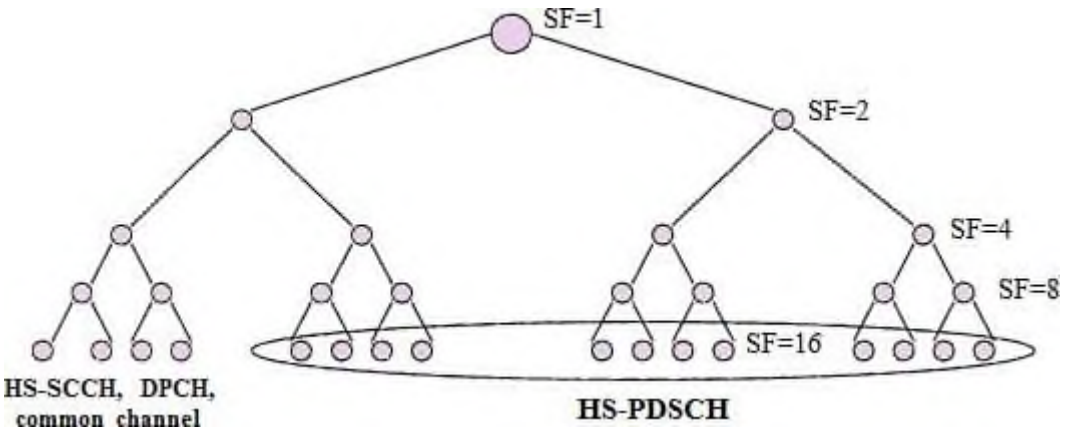


Рис. 1.8 Кодове дерево при використанні протоколу HSDPA

Кілька абонентів можуть використовувати один код SF= l6 в тому випадку, коли в секторі реалізована підтримка декількох каналів HS-SCCH.

Кількість каналів HS-SCCH в кожному секторі може приймати значення від 1 до 5.

На рис. 1.9 наведено приклад розподілу кодового ресурсу між активними абонентами HSDPA при величині кодового пулу HSDPA рівного 5 і чотирьох каналах HS-SCCH.

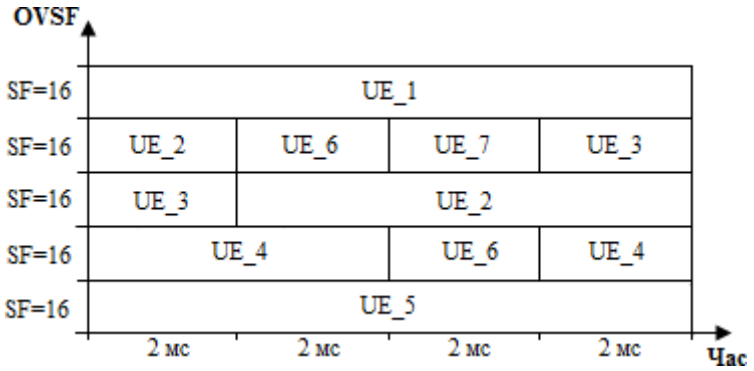


Рис. 1.9 Приклад розподілу кодового ресурсу між активними абонентами HSDPA в секторі

У мережі WCDMA Release'99 в прямому і зворотньому каналах застосовуються різні схеми маніпуляції сигналу. У прямому каналі використовується маніпуляція QPSK, яка дозволяє в кожному символі передавати 2 біта корисної інформації.

Залежно від якості радіоканалу, в протоколі HSDPA передбачена робота з двома схемами маніпуляції: QPSK і 16-QAM.

Механізм, який відповідає за зміну схеми маніпуляції і кодування називається AMC (Adaptive Modulation and Coding). На рис. 1.10 зображені прямокутні сигнальні сузір'я для маніпуляцій QPSK і 16-QAM [7,8].

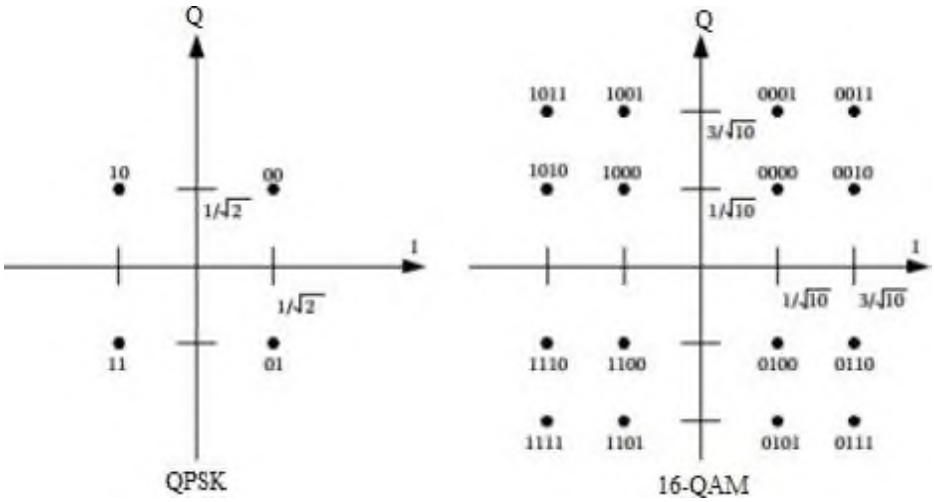


Рис. 1.10 Сигнальні сузір'я маніпуляцій QPSK і 16 QAM

При застосуванні маніпуляції 16QAM швидкість передачі даних в радіоканалі теоретично зростає в 2 рази. Тоді максимальна швидкість передачі для випадку, коли для протоколу HSDPA виділено 15 каналоутворюючих кодів з SF=16 буде дорівнює 480кбіт/с*15*2=14,4 Мбіт/с без урахування канального кодування і перфорації.

Для передачі даних з використанням протоколу HSDPA використовується транспортний канал, званий HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel). Так само як і в каналі DSCH Release'99, в каналі HS-DSCH можуть передавати дані кілька користувачів. Мультиплексування цих користувачів проводиться за часом. Часовий інтервал, протягом якого один з абонентів користується ресурсами каналу HS-DSCH називається TTI (Time Transmission Interval, часовий інтервал передачі).

Довжина TTI дорівнює 2 мс, на відміну від кадру WCDMA Release'99 довжиною 10, 20, 40 або 80 мс в залежності від типу переданого трафіку. Скорочення довжини тимчасового інтервалу дозволяє зменшити затримки передачі даних при обміні інформацією між UE і NodeB. Протягом інтервалу TTI швидкість, обумовлена кількістю виділених каналоутворюючих кодів, видом маніпуляції і схемою завадостійкого кодування, залишається постійною. При цьому для кожного наступного тимчасового інтервалу ці параметри можуть змінюватися в залежності від стану радіоканалу.

Для протоколу HSDPA управління потужністю по замкнутій петлі не передбачено, цю функцію виконує система AMC [9]. Тимчасовий інтервал передачі для HSDPA формується шляхом об'єднання 3 тимчасових інтервалів довжиною 2/3 мс.

Для функціонування протоколу HSDPA крім каналу передачі призначених для користувача даних HS-DSCH організовуються два канали управління: HS-SCCH і HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel, високошвидкісний виділений канал керування). Взаємодія каналів протоколу HSDPA наведена на рис. 1.11.

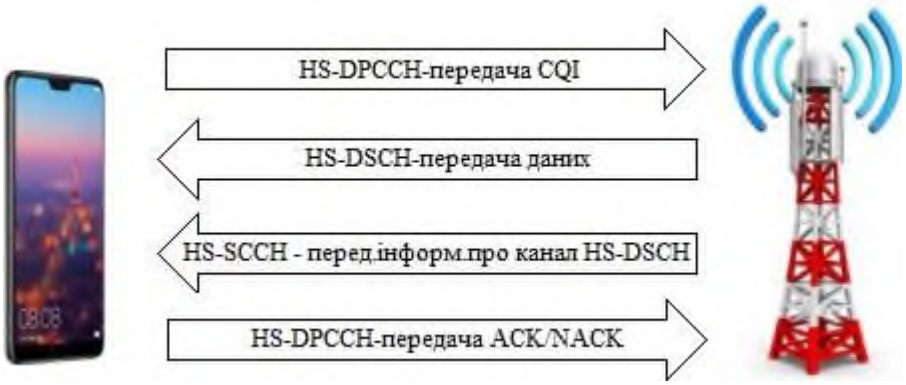


Рис. 1.11 Взаємодія каналів технології доступу HSDPA

Канал HS-DSCH має фіксовану швидкість передачі даних 60 кбіт/с при коефіцієнті розширення SF=128 і використовується для передачі сигналізації в прямому каналі між NodeB і 11E. Для кожної UE з цього каналу передається сигналізація перед кожним TTI, в якому дана UE буде активна. Сигналізація, що передається по каналу HS-SCCH, включає в себе ідентифікатор UE, для якої призначена інформація, дані про процесі HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request, автоматична система перезапиту пакетів, прийнятих з помилками) і про формат транспортного каналу HS-DSCH, по якому передаються безпосередньо абонентські дані.

В одному секторі можуть бути сформовані кілька каналів HS-SCCH для роботи з паралельними каналами HS-DSCH. UE може прослуховувати до чотирьох каналів HS-SCCH, але для цього TTI дані передаються по одному конкретному каналу HS-SCCH. У тому випадку, коли UE виявляє передачу сигналізації по конкретному каналу HS-SCCH, вона може обмежити моніторинг каналів сигналізації до одного, в якому була передана адресована їй інформація. Структура кадру каналу HS-SCCH зображена на рис. 1.12.

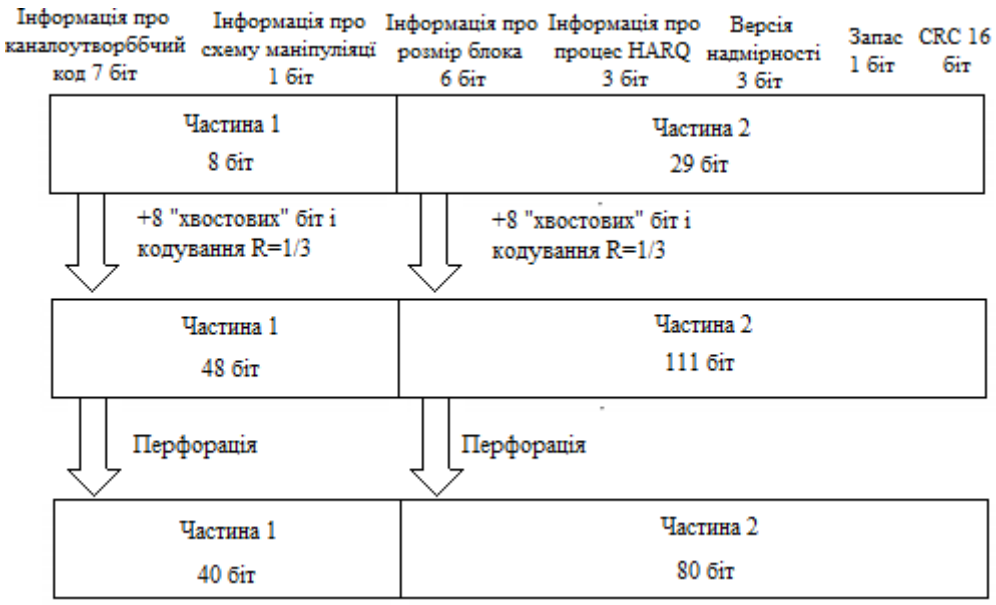


Рис.1.12 Структура кадра канала HS-SCCH

Ідентифікаційний номер мобільної станції об'єднується разом з інформацією про каналоутворюючий код і схемою маніпуляції. Дана інформація захищається згортковим кодом зі швидкістю 1/3 і піддається перфорації. У другій гілці об'єднується вся мережева інформація, яка захищається сформованим CRC, маскується ідентифікатором мобільної станції. Таким чином, до 13 біт приєднується 8 біт з першої гілки, додається 8 «хвостових» бітів і кодується згортковим кодом. Після перфорації виходять ще 80 закодованих біт.

Канал HS-DPCCH є односпрямованим каналом від мобільного станції до NodeB. Для його організації застосовується код з розширенням спектра SF = 256 (швидкість передачі даних 30 кбіт/с). він передає інформацію, необхідну для системи автоматичного регулювання фізичної конфігурації каналу HS-DSCH. Каналом HS-DPCCH передаються індикатори якості каналу (CQI, Channel Quality Indicator) перед кожним TTI в якому буде активна UE. CQI несе в собі інформацію про якість радіоканалу і може приймати значення від 0 до 30. Чим менше значення CQI, тим краще якість радіоканалу і, відповідно, тим більше високошвидкісну конфігурацію каналу передачі даних можна надати абоненту.

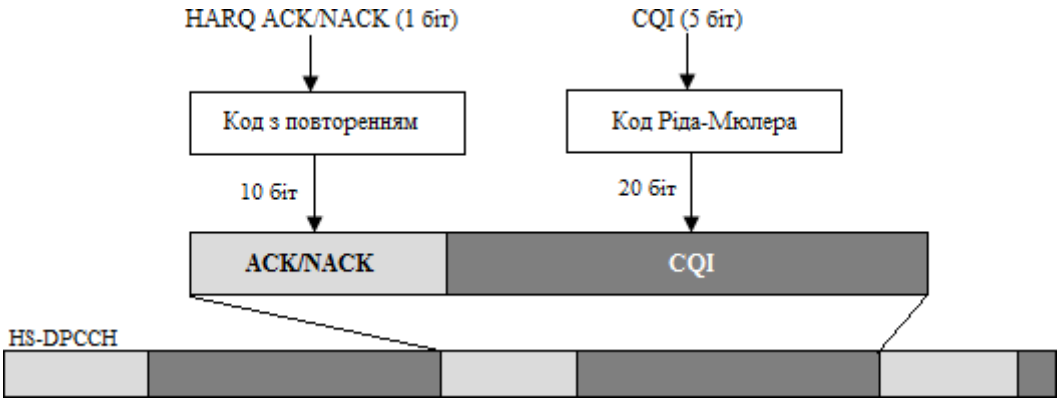


Рис.1.13 Структура кадру каналу HS-DPCCH

Використовуючи інформацію про якість радіоканалу, NodeB може з допомогою каналу HS-SCCH міняти такі параметри каналу HS-DSCH: розмір транспортного блоку даних (Transport Block Size, TBS), тип маніпуляції, кількість використовуваних каналоутворюючих кодів з SF=16, схему завадостійкого кодування. Оцінка якості радіоканалу проводиться за загальним пілотним каналом CPICH (Common Pilot Channel).

Система AMC відповідає за вибір оптимальної кодової схеми, маніпуляції та кількості каналоутворюючих кодів залежно від стану радіоканалу. Основою для завадостійкого кодування інформації в каналі HS-PDSCH є турбокоди зі швидкістю R = l/3. З допомогою вирівнювання швидкостей і перфорації можна отримувати швидкості R = l / 4 ... 3/4, що дозволяє адаптивно змінювати швидкість кодування в залежності від якості радіоканалу. Як уже згадувалося, для протоколу HSDPA застосовуються два види маніпуляції. За допомогою різних швидкостей завадостійкого кодування та видів маніпуляції можна отримати дискретний набір можливих швидкостей передачі даний від 119 кбіт / с на один код SF = 16 для маніпуляції QPSK і швидкості коду R = 1/4 до 712 кбіт / с на один код з SF = 16 для маніпуляції 16QAM і швидкості коду R = 3/4.

Інформація для користувачів протоколу HSDPA передається в короткому інтервалі 2 мс. У тому випадку, коли за цей інтервал передачі в прийнятих пакетах виявляються помилки, з якими не справляється канальний код, мобільна станція відсилає на базову станцію команду NAK (Non Acknowledgement). Тоді при

застосуванні звичайного протоколу повторної передачі базова станція в найближчому, виділеному для даної мобільної станції інтервалі, повторно передає ці пакети.

Протокол HARQ працює за іншим принципом рис. 1.14. Ухвалений пакет з помилками записується в буфер, а на базову станцію відправляється запит про повторну передачу цього ж пакета. Після прийому, навіть якщо пакет знову прийнятий з помилками, протокол підсумовує дві копії з певними ваговими коефіцієнтами. Таким чином, досить один раз повторно передати пакет з помилками, щоб сильно знизити ймовірність неправильного прийому. У разі прийому помилкового пакету повторно передається тільки блок даних, що входить в TTI (Time Transmission Interval, 2 мс).

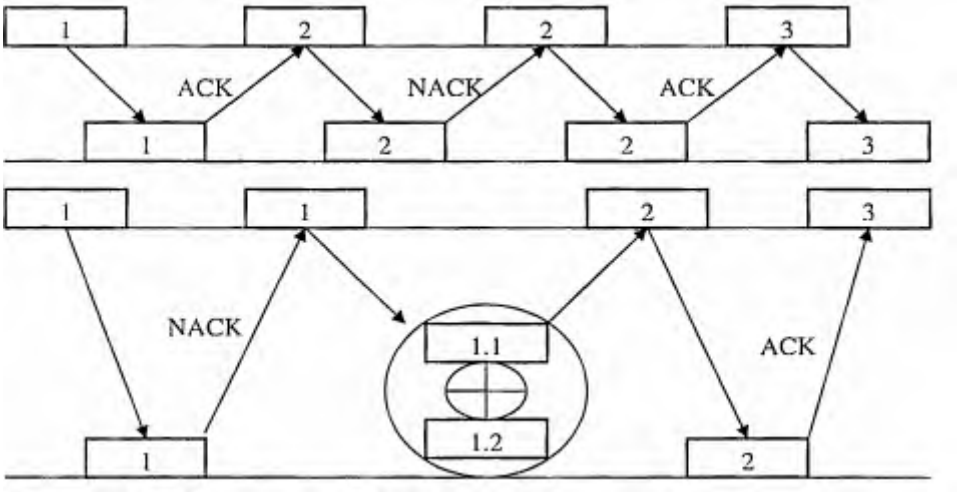


Рис. 1.14 Робота протоколу F-HARO

При використанні технології доступу HSDPA програмне забезпечення NodeB зазнає змін, пов'язаних з функціональністю організації черг для передачі абонентських даних. Цю операцію виконує планувальник, який може працювати відповідно з декількома алгоритмами. З використовуваних алгоритмів планувальника можна виділити наступні [10]:

- RR (Round Robin) - послідовне надання каналу передачі даних для всіх абонентів;

- MAX C/I - максимальна пропускна здатність виділяється абонентам з найкращими радіоумовами;

- PF (Proportional Fair) - максимальна пропускна здатність виділяється абонентам з кращою якістю каналу за умови контролю затримок передачі даних;

- EPF (Enhanced Proportional Fair) - при розподілі пропускної здатності сектора між абонентами враховуються радіоумови, затримки, гарантовані швидкості передачі даних і пріоритети абонентів.

Для каналу передачі абонентських даних HS-PDSCH не використовується м'яка естафетна передача. Для зміни обслуговуючого осередку відбувається жорстка естафетна передача. Винятком є канал передачі сигналізації HS-SCCH.

Таблиця 1.4

Категорії мобільних терміналів з підтримкою HSDPA

Категорія	Кількість кодів	Інтервал між TT1	Розмір тран-спортного блока, біт	Біти HARQ	Маніпуляція	Швидкість передачі даних Мбіт/с
1	5	3	7300	19200	QPSK/16QAM	1,2
2	5	3	7300	28800	QPSK/16QAM	1,2
3	5	2	7300	28800	QPSK/16QAM	1,8
4	5	2	7300	38400	QPSK/16QAM	1,8
5	5	1	7300	57600	QPSK/16QAM	3,6
6	5	1	7300	67200	QPSK/16QAM	3,6
7	10	1	14600	115200	QPSK/16QAM	7,2
8	10	1	14600	134400	QPSK/16QAM	7,2
9	15	1	20432	172800	QPSK/16QAM	10,2
10	15	1	28776	172800	QPSK/16QAM	14,4
11	5	2	3650	14400	QPSK	0,9
12	5	1	3650	-	QPSK	14,4

Всі мобільні термінали, що підтримують протокол HSDPA поділяються на дванадцять категорій відповідно до наступних параметрів: максимальна кількість кодів, з яким одночасно може працювати мобільний термінал: 5, 10 або 15; мінімальний часовий інтервал між TTI, з яким може працювати мобільний термінал; максимальна кількість біт даних в одному TTI каналу HS-DSCH, з яким може працювати мобільний термінал (комбінація цього параметра і параметра мінімального тимчасового інтервалу між послідовними TTI визначають пікову швидкість передачі даних для Вашого мобільного терміналу); максимальна

кількість біт для процесу HARQ (визначається розмірами оперативної пам'яті мобільного терміналу); підтримка маніпуляції 16QAM.

У табл. 1.4 представлені характеристики мобільних терміналів дванадцяти категорій [7, 8]. При збільшенні швидкості передачі даних в прямому каналі, необхідно збільшувати швидкість відправки службової інформації (CQI, ACK/NACK) від мобільної станції до NodeB. Збільшення швидкості в зворотному каналі можливо завдяки технології HSUPA.

1.4 Принципи організації технології доступу HSUPA, характеристики мобільних терміналів

Канал передачі даних з використанням технології доступу HSUPA носить назву E-DCH (Enhanced Uplink Dedicated Channel). Розглянемо основні характеристики технології та принципи організації високошвидкісної передачі даних в зворотньому каналі [11].

Канал E-DCH має наступні характеристики: швидкість на радіоканалі до 5,8 Мбіт/с; маніпуляція BPSK і адаптивних схем не передбачено; мультикодова робота; коефіцієнт розширення спектра SF = 2,4; використанні тимчасові інтервали: TTI = 10, 2 мс; використання HARQ як алгоритм перезапита пакетів; швидка організація черг пакетів для передачі по радіоканалу; м'яка естафетна передача.

Збільшення швидкості передачі даних в зворотньому каналі мережі WCDMA з підтримкою технології доступу HSDPA принципово не тільки для передачі призначених для користувача даних. На практиці доведено, що при швидкості передачі даних по прямому каналу більше 7,2 Мбіт/с для передачі службової інформації в зворотньому напрямку, що включає в себе CQI, ACK /NACK, необхідно забезпечити швидкості передачі більше 384 кбіт/с.

Для передачі даних в протоколі HSUPA застосовується двохпозиційна маніпуляція BPSK, адаптивної зміни схеми маніпуляції не передбачено. При використанні протоколу HSUPA можлива робота з декількома паралельними

каналами з різними коефіцієнтами розширення SF = 2, 4. Ці канали закриваються кожен своїм скрембльованим кодом. На кількість абонентів в секторі цей факт не впливає, так як кількість скремблювання кодів в зворотньому каналі не є обмежуючим фактором. Максимально можлива швидкість досягається при роботі з чотирма каналами: два з них SF = 2 і два SF = 4.

Тоді швидкість передачі даних складе 2 * 1920 + 2 * 960 = 5760 кбіт / с (5,76 Мбіт/с).

Розглянемо основні канали, що організовуються для реалізації високошвидкісного доступу HSUPA:

- E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) – виділений високошвидкісний фізичний канал передачі абонентських даних в зворотньому каналі.

- E-DPCCII (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) – виділений високошвидкісний фізичний канал керування в зворотньому каналі.

Взаємодія каналів протоколу HSUPA представлено на рис. 1.15.

Канал E-DPDCH використовується для передачі інформації транспортного каналу E-DCH. Для одного радіоканалу може бути кілька каналів E-DPDCH. Фізичний канал E-DPCCH передає службову інформацію, пов'язану з каналом E-DCH.

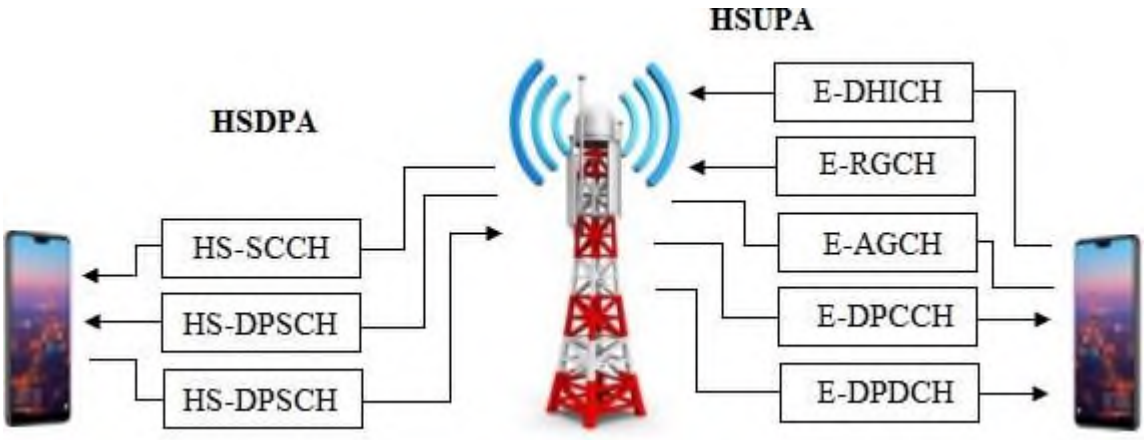


Рис. 1.15 Взаємодія каналів технологій HSPA

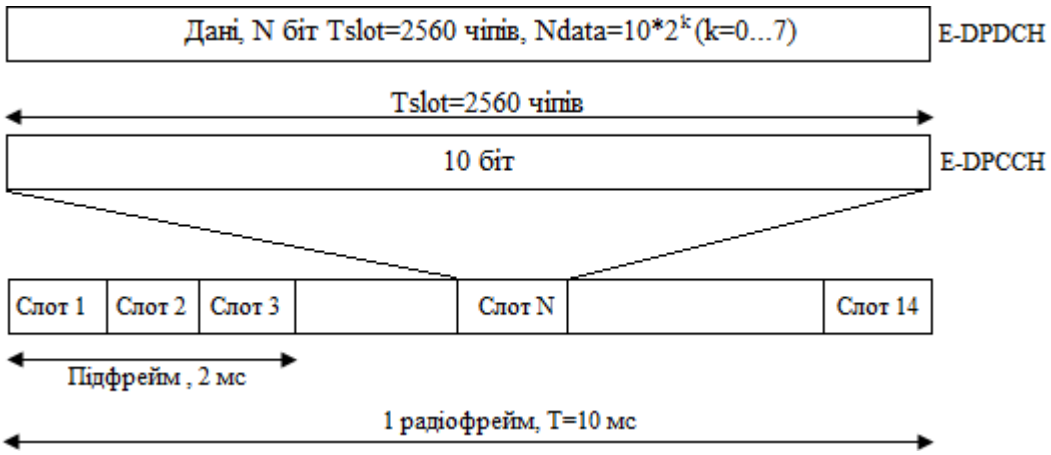


Рис. 1.16 Тимчасова структура каналів E-DPDCH / E-DPCCH

Канали E-DPDCH і E-DPCCH передаються спільно, крім того випадку, коли для каналу E-DPDCH використовується режим DTX (Discontinuous Transmission). E-DPCCH передається в тих же слотах, що і канал DPDCH. На рис. 1.16 зображена тимчасова структура високошвидкісних каналів. Кожен радіофрейм складається з п'яти подфреймов довжиною 2 мс. У свою чергу підфреймів складається з трьох слотів. Табл. 1.5 відображає швидкості передачі даних в цих каналах і кількість біт в тимчасовій структурі.

Таблиця 1.5

Характеристики каналів E-PPPCH / E-PPCCH

Канал	Формат слота	Бітова швидкість (кбіт/с)	Кооф. розшир. SF	Біт/ фрейм	Біт/ підфрейм	Біт/ слот
E-DPDCH	0	15	256	150	30	10
	1	30	128	300	60	20
	2	60	64	600	120	40
	3	120	32	1200	240	80
	4	240	16	2400	480	160
	5	480	8	4800	960	320
	6	960	4	9600	1920	640
	7	1920	2	19200	3840	1280
E-DPCCH	0	15	256	150	30	10

E-RGCH (E-DCH Relative Grant Channel) - канал доступу до ресурсів HSUPA. Канал доступу E-RGCH має фіксований коефіцієнт розширення SF = 128 і

відповідає за організацію доступу мережі до мобільного станції. Тимчасова структура каналу представлена на рис. 1.17.

Канал передається послідовно в продовженні 3, 12 і 15 слотів. У кожному слоті передасться навчальна послідовність з 40 біт. Три або дванадцять слотів призначені для радіоканалів з використанням H-DCH з часовими інтервалами 2 і 10 мс відповідно, а п'ятнадцять слотів для радіоканалів без E-DCH.

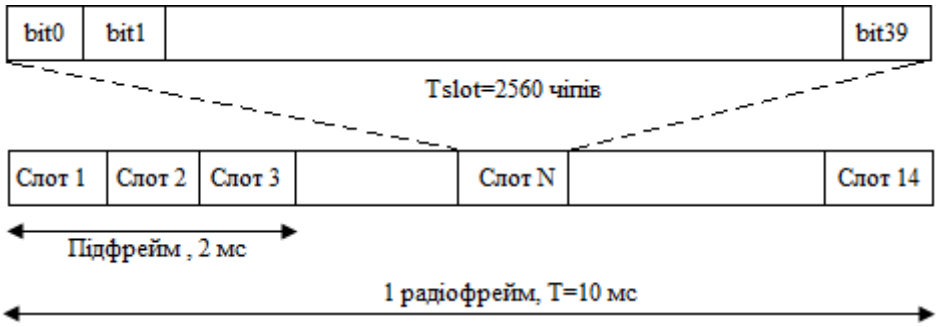


Рис. 1.17 Тимчасова структура каналу E-RGCH

E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) - канал індикації процесу HARQ. Даний канал має фіксований коефіцієнт розширення SF = 16 і є виділеним каналом на лінії вниз, що відповідає за підтвердження процесу повторної передачі пактів. структура каналу аналогічна структурі каналу E-RGCH. Індикатор підтвердження процесу по 40 біт, відповідно для 2 і 10 мілісекунд інтервалів передачі TTL

Канал F-DPCH (Fractional Dedicated Physical Channel) передає інформацію управління потужністю і є окремим випадком виділеного каналу управління DPCCH. Структура каналу представлена на рис. 1.18. Кожен інтервал 10 мс розділяється на 15 слотів, кожен з яких складається з 2560 чіпів. Кожен слот є одним періодом управління потужністю.

E-AGCH (E-DCH Absolute Grant Channel) - канал надання радіоресурсу. Канал доступу має фіксовану швидкість 30 кбіт/с (SF = 256) і є каналом «лінії вниз». Його структура аналогічна структурі каналу E-RGCH.

Перед передачею інформації по радіоканалу, мобільна станція повинна запросити ресурс у Node B. Для цього вона відсилає на Node B параметр Scheduling

Information (SI), що включає в себе максимальну потужність передавача мобільної станції і стан буфера. Node B видає мобільної станції обмеження на використання радіоканалу виходячи з надісланого раніше параметра SI, оцінки шумових перешкод і статистики по іншим абонентам в секторі.

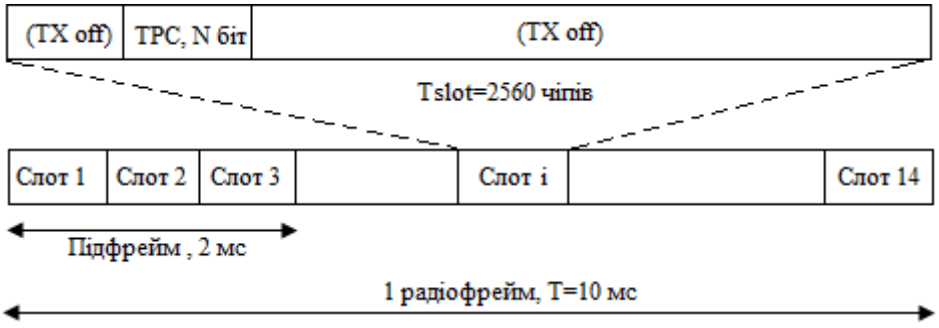


Рис. 1.18 Структура кадру каналу F-DPCH

Виходячи з обмежень на використання радіоканалу, мобільна станція вибирає відповідний формат каналу E-DCH і відповідну потужність передавача. Node B приймає дані від мобільної станції, перевіряє їх на наявність помилок і робить висновок про те, чи підтверджувати отримання даних (ACK). Якщо Ви отримаєте даних багато помилок, Node B посилає NACK, що означає повторну спробу передати інформацію.

Пікові швидкості передачі даних для протоколу HSUPA визначаються не тільки можливостями мережі, але і можливостями мобільних терміналів.

У табл. 1.6 представлені існуючі категорії мобільних терміналів.

Таблиця 1.6

Характеристики UE з підтримкою HSUPA

Категорія E-DCH	Максимальна кількість каналів E-DPDCH	Мінімальний коефіцієнт розширення, SF	Підтри-муючі TT1	Пікова швидкість для TT1=10 мс	Пікова швидкість для TT1=2 мс
Кат.1	1	SF 4	10 мс	711 кбіт/с	-
Кат.2	2	SF 4	2 або 10 мс	1448 кбіт/с	1448 кбіт/с
Кат.3	2	SF 4	10 мс	1448 кбіт/с	-
Кат.4	2	SF 2	2 або 10 мс	2000 кбіт/с	2886 кбіт/с
Кат.5	2	SF 2	10 мс	2000 кбіт/с	-
Кат.6	4	SF 2 + SF 4	2 або 10 мс	2000 кбіт/с	5742 кбіт/с

Можливості мобільних терміналів визначаються кількістю кодів, з яким може працювати мобільна станція, буфером мобільної станції і підтримуваними коефіцієнтами розширення спектра для каналоутворюючих кодів.

1.5 Концепція системи управління ресурсами радіопідсистеми мережі WCDMA

У зв'язку з постійним зростанням абонентського навантаження в мережі WCDMA і обмеженості ресурсів радіопідсистеми, питання пов'язані з якістю послуг, що надаються, набувають першорядне значення для операторів мереж мобільного зв'язку. Технології доступу з високошвидкісною передачею даних HSPA привносять деякі особливості в утилізацію ресурсів, що необхідно враховувати при аналізі впливу на якість обслуговування абонентів.

Розглянемо розподіл ресурсів по інтерфейсу і вузлам радіопідсистеми мережі WCDMA. У даній роботі не враховуються обмеження продуктивності контролера радіомережі (RNC). Також не розглядаються обмеження за максимальними швидкостями передачі даних для мобільних терміналів, використованих абонентами.

Радіоінтерфейс включає в себе наступні ресурси:

- кодовий ресурс, який обмежується кількістю ортогональних кодів зі змінним коефіцієнтом розширення;
- ресурс по інтерференції в зворотньому каналі сектора, обумовлений ефектом «дихання» стільника;
- ресурс по потужності в прямому каналі, обмежений ліцензіями на допустиму максимальну потужність.

Інтерфейс Iub включає в себе ресурс по пропускній здатності каналу передачі призначених для користувача даних і сигнальної інформації між базовою станцією і контролером радіомережі.

Продуктивність процесорів базової станції є важливим ресурсом радіопідсистеми. Особливо великі навантаження покладаються на процесори, які

відповідають за демодуляцію і декодування сигналів, прийнятих від мобільних станцій.

Кожен ресурс має свої обмеження по максимальному навантаженні і впливає на якість обслуговування абонентів. При відсутності вводяться обмеження на максимальне навантаження можлива неконтрольована деградація якості обслуговування абонентів.

Для обмеження максимального навантаження в мережах WCDMA використовується процедура контролю доступу абонентів до ресурсів (CAC, Call Admission Control). Даний алгоритм є частиною програмного забезпечення контролера радіопідсистеми RNC. Блок-схема алгоритму процедури доступу представлена на рис. 1.19. Рішення щодо надання кожного ресурсу радіопідсистеми приймається незалежно і порядок перевірки ресурсів не має значення.

За допомогою параметрів алгоритму CAC можливо управляти завантаженням ресурсів радіопідсистеми. Абонентська навантаження в мережі WCDMA розподілена нерівномірно і може мати велику девіацію на рівні стільників або базової станції незалежно від загального тренда обсягу переданого трафіку.

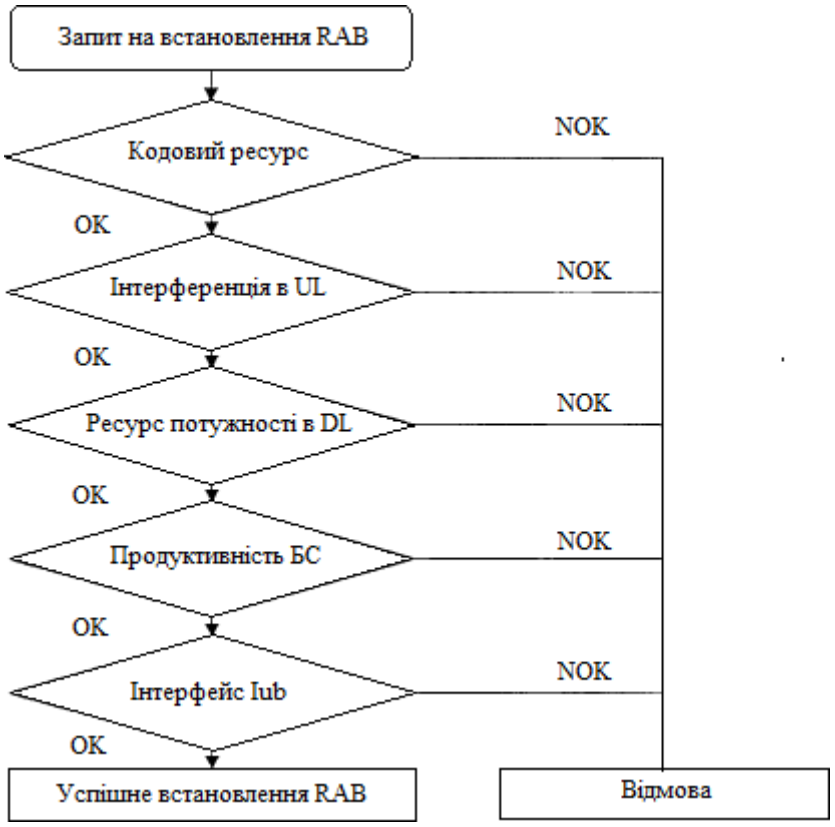


Рис. 1.19 Алгоритм процедури доступу до ресурсів радіопідсистеми

Причинами раптового збільшення абонентської навантаження може бути сезонна міграція абонентів або масові заходи. Своєчасна корекція параметрів алгоритму CAC і настройка розподілу ресурсів між абонентами дозволить підвищити якість обслуговування абонентів, а, отже, виручку оператора і лояльність абонентів.

Запропонована концепція системи управління ресурсами радіопідсистеми представлена на рис.1.20. Система управління моніторингу і керування радіомережею є програмним продуктом виробника обладнання радіопідсистеми. До неї підключаються бази даних збору і зберігання статистики, зміни властивостей і інтерфейсів радіопідсистеми і система управління ресурсами мережі WCDMA.

На основі отриманих статистичних даних і відомої конфігурації параметрів і інтерфейсів радіопідсистеми система управління ресурсами мережі обчислює нові значення і відправляє їх в систему моніторингу та управління, звідки вони потрапляють в мережу.

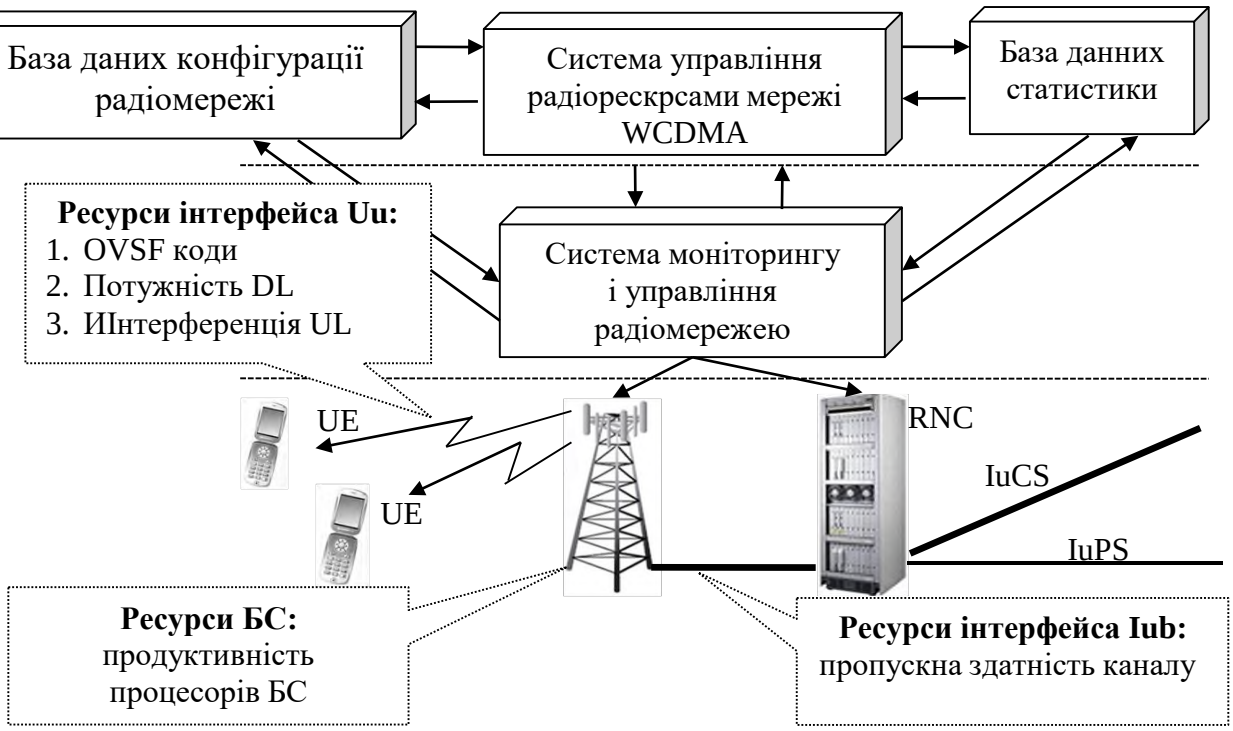


Рис. 1.20 Концепція управління ресурсами радіопідсистеми

Необхідно відзначити, що крім параметрів алгоритму CAC, абонентним навантаженням можна керувати за допомогою параметрів для естафетної передачі і за допомогою зміни потужності пілотного каналу або каналів трафіку. У дипломній роботі управління абонентським навантаженням за допомогою зміни потужностей пілотного каналу і каналів трафіку не розглядаються, так як цей спосіб широко поширений і опрацьован багатьма компаніями - виробниками оптимізаційних комплексів.

На рис. 1.21 представлені способи управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми мережі WCDMA. Безпосередньо завантаженням кожного ресурсу радіопідсистеми можна керувати за допомогою параметрів алгоритму CAC. Далі в дипломній роботі буде розглядатися в основному саме цей спосіб.

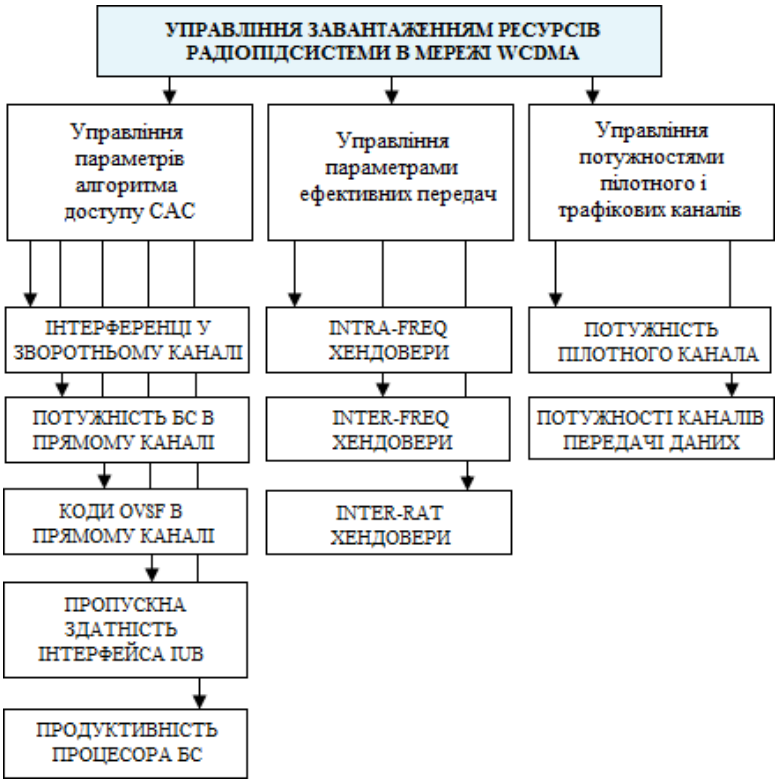


Рис. 1.21 Способи управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми в мережах WCDMA

Завантаженням ресурсів стільника або базової станції можна керувати за допомогою параметрів естафетних передач перерозподіляючи абонентське

навантаження між сусідніми секторами можна домогтися поліпшення якості обслуговування абонентів. Існуючі типи естафетних передач застосовуються для різних ситуацій при перерозподілі абонентського навантаження:

- естафетні передачі без зміни частоти (intra-frequency handover) вкрай рідко використовується для управління навантаженням, так як дають дуже слабкий перерозподіл;

- естафетні передачі зі зміною частоти в рамках мережі WUDMA (inter-frequency handover) можуть бути ефективним інструментом для перерозподілу навантаження між несучими частотами мережі WCDMA;

- естафетні передачі зі зміною технології радіодоступу (inter-rat handover) можуть використовуватися для зниження абонентського навантаження в мережі WCDMA шляхом переведення частини абонентів до мережі 2G (GSM).

При перекладі навантаження з мережі WCDMA в мережу GSM можна не тільки знизити завантаження ресурсів, але і втратити частину пакетного трафіку, так як в мережі GSM швидкість передачі значно нижче. У зв'язку з цим оператори часто використовують даний тип естафетних передач для перекладу в мережу 2G тільки голосового трафіку (service based handover, естафетна передача по типу сервісу) [12].

Управління навантаженням за допомогою корекції значень потужності пілотного і трафікових каналів широко використовується в програмних комплексах оптимізації мереж WCDMA. Щодо потужності пілотного каналу встановлюються потужності каналів трафіку зі зміщенням.

Регулювання цих значень дозволяє коригувати завантаження ресурсів радіопідсистеми, але докладно в роботі не розглядається.

Для правильного управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми в мережі WCDMA необхідно детально розглянути механізми утилізації даних ресурсів різними типами сервісів з різними технологіями доступу. Для кожного ресурсу необхідно розробити математичний апарат розрахунку навантаження і впливу на сервіси абонентів.

1.6 Аналіз ключових ресурсів мережі WCDMA

Кодовий ресурс є одним з ключових ресурсів сектора мережі WCDMA. Основною особливістю даного ресурсу є те, що він обмежений тільки в прямому каналі зв'язку. Призначення і характеристики кодів в мережі WCDMA представлені в табл. 1.7 [13,14].

Таблиця 1.7

Призначення характеристики кодів

	Каналоутворюючі коди	Скремблюючі коди
Застосування	**Зворотній канал:** розподіл на фізичному рівні каналів даних каналів управління від одного UE **Прямий канал:** розподіл каналів для різних користувачів в одному секторі	**Зворотній канал:** Селекція UE **Прямий канал:** розподіл секторів
Кількість кодів	Кількість кодів під одним скремблюючим кодом дорівнює коефіцієнту розширення	**Зворотній канал:** декілька міліонів **Прямий канал:** 512x16 кадрів

У зв'язку з тим, що в зворотному каналі обмеження по кодовому ресурсу немає, далі в даній роботі під кодовою ресурсом сектора WCDMA розуміється кількість кодів з фіксованим коефіцієнтом розширення в прямому каналі.

У прямому каналі сектора WCDMA кодовий ресурс обмежений, через що можливі ситуації, коли у абонентів відбувається відмова в наданні сервісів, тому грамотне управління даним ресурсом є невід'ємною частиною настройки роботи мережі WCDMA з протоколом високошвидкісної передачі даних HSDPA.

Весь кодовий ресурс сектора можна уявити як 128 кодів з коефіцієнтом розширення спектра SF = 128. для нормального функціонування сектора WCDMA частина кодів необхідно відвести для каналів управління [13,14]:

- PCPICH (Primary Common Pilot Channel) основний загальний пілотний канал необхідний для визначення основного скремблювання коду сектора (PSC, Primary Scrambling Code), даний канал займає код з SF = 256;

- PCCPCH (Primary Common Physical Channel) первинний загальний фізичний канал управління, в якому передається основна системна інформація логічного каналу BCH (Broadcast Channel), канал займає код з SF = 256;

- PICH (Paging Indicator Channel), канал передачі пейджингових індикаторів і необхідний для організації пейджингових груп циклу DRX, використовуючи код з SF = 256;

- AICH (Acquisition Indicator Channel) канал індикації доступу до мережі по якому передаються індикатори доступу до мережі при запиті UE ресурсів на встановлення з'єднання по каналу PCH, канал використовує коефіцієнт розширення спектра SF = 256;

- SCCPCH (Secondary Common Control Physical Channel) вторинний загальний фізичний канал керування, який служить для передачі транспортних каналів PCH і FACH (канал SCCPCH може займати коди з SF = 256 ... 4 і каналів SCCPCH в секторі може бути кілька).

В сумі канали управління займають вісім кодів SF = 256 або чотири коду з SF=128.

Можливі три варіанти блокувань за кодами: блокування за кодами на рівні RRC при спробі отримання виділеного каналу керування, блокування RAB по CS сервісу або по RAB PS сервісів з різними швидкостями передачі даних. У табл. 1.8 представлені необхідні максимальні коефіцієнти розширення спектра, необхідні для надання абонентам різних послуг.

Частина кодів SF = 128 може займатися під встановлення RRC з'єднань, які пов'язані наступною активацією RAB з'єднань. Дана сигналізація включає в себе такі процедури, як Location Area Update, Routing Area Update, URA Update і т.д. Для розрахунків в дипломній роботі використання кодів в секторі сполуками RRC не враховуються.

При розрахунках навантаження кодового ресурсу обмежимося використаними в мережі RAB для пакетної передачі даних. Можливі швидкості передачі даних, які використовуються в дипломній роботі, виділені в табл. 1.8.

У табл. 1.8 у другому стовпці представлені необхідні ресурси кодового дерева для різних послуг, у тому числі і для встановлення з'єднання RRC, виражені в коефіцієнтах розширення спектра для кодів. У другому стовпці ці значення наведені до кількості кодів з розширенням спектра SF = 128, так як їх найзручніше використовувати в розрахунках. В роботі зроблено допущення, що низькошвидкісна сигналізація і кодек CS AMR4.75, використовують коди з SF=256, не застосовуються.

Таблиця 1.8

Необхідні коди з коефіцієнтами розширень

Послуга	SF в DL	Кількість SF=128 в DL	SF в DL
RRC з’єднання , будь-яка послуга	128	1	128
Телефонія, AMR 12,2 кбіт/с	128	1	64
Передача даних, 64 кбіт/с	32	4	16
Передача даних, 128 кбіт/с	16	8	8
Передача даних,144 кбіт/с	16	8	8
Передача даних,256 кбіт/с	8	16	4
Передача даних,384 кбіт/с	8	16	4
Канал HS-DPSCH	16	8	-

На рис.1.22 перші 4 коду з SF = 256 і перший код з SF = 64 визначені для каналів управління. Коди з коефіцієнтами розширення SF = 32, 16, 8 виділені для пакетних сервісів. Коди з коефіцієнтом розширення спектра SF = 128 використовуються абонентами з голосовим сервісом.

<table>
<tr><td>256</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128
CS</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="10">16
PS
144
K</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="10">8
PS
284
K</td></tr>
<tr><td>256</td></tr>
<tr><td>256</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td></tr>
<tr><td>256</td></tr>
<tr><td rowspan="2">64</td><td>128</td><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td rowspan="4">32
PS
64
K</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
</table>

Рис. 1.22 Вид кодового дерева сектора WCDMA

У тому випадку, коли на секторі мережі WCDMA починає працювати протокол HSDPA, для нього необхідно конфігурувати кодовий ресурс, який в загальному випадку може складатися з 1...15 кодів з коефіцієнтом розширення SF=16. З іншими коефіцієнтами розширення спектра протокол HSDPA не працює.

При виборі кількості кодів на початковому етапі експлуатації мережі WCDMA з протоколом HSDPA необхідно керуватися тим, щоб в кожному секторі мережі була можливість надавати пропускну здатність 3,6 Мбіт / с для виділеного пулу кодів. Данну пропускну здатність можна досягти, виділяючи для протоколу HSDPA 5 кодів. Тоді кодове дерево сектора WCDMA з використанням протоколу HSDPA буде виглядати так, як показано на рис. 1.23.

При використанні протоколу HSDPA крім п'яти кодів з SF = 16, складових загальний ресурс протоколу HSDPA, для його функціонування необхідний набір службових каналів.

HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel) високошвидкісний загальний канал керування. Канал необхідний для передачі службової інформації протоколу HSDPA. У загальному випадку кількість каналів HS-SCCH можливо змінювати від 1 до 5. За час TTI тільки один користувач може отримувати службову інформацію по одному каналу HS-SCCH. В окремому випадку, для проведення аналізу в секторі налаштоване чотири каналу HS-SCCH з фіксованим коефіцієнтом розширення SF=128.

Дана конфігурація є досить поширеною при застосуванні на комерційних мережах WCDMA.

<table>
<tr><td>256
256</td><td>128</td><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td rowspan="11"></td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td rowspan="11">Пул протокола HSDPA: 5 кодів SF=16</td></tr>
<tr><td>256
256</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td rowspan="5">32
PS
64
K</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">64</td><td>128</td><td>128
CS</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td>256</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128</td><td rowspan="2">128
CS</td><td rowspan="2">128</td></tr>
<tr><td>256</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
<tr><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td><td>128</td></tr>
</table>

Рис. 1.23 Вид кодового дерева сектора WCDMA з протоколом HSDPA

A-DPCH (Associated Dedicated Control Channel) приєднаний виділений канал управління, що використовує код з коефіцієнтом розширення SF = 256. Для функціонування протоколу HSDPA необхідний канал HS-DPCCH, що працює в UL. По ньому передаються такі параметри, як CQ1 (Channel Quality Indicator) і ACK / NACK, необхідні для протоколу HARQ. Для того щоб управляти потужністю каналу HS-DPCCH, необхідно створити канал, в якому будуть йти команди на управління потужністю.

Канал A-DPCH служить для цих цілей. У Release'5 для кожного абонента HSDPA необхідно створювати один канал A-DPCH. У Release'6 для цих цілей можливо створити канал F-DPCH (Fractional Dedicated Packet Channel), в якому команди на управління потужністю будуть передаватися відразу 10 абонентам. У даній роботі розглядається варіант з каналом A-DPCH, оскільки питання про підтримки каналу F-DPCH мобільними терміналами поки залишається відкритим.

Незважаючи на додавання нових каналів для протоколу HSDPA, які займають кодовий ресурс сектора, використання протоколу високошвидкісної передачі даних в прямому каналі все одно вигідніше з точки зору утилізації кодового ресурсу. Це пов'язано з особливостями роботи протоколу HSDPA, а саме з тимчасовим поділом ресурсів пулу кодів і можливістю організації черг користувачів, які запитують передачу даних. Якщо при запиті каналу WCDMA Release'99 вільних кодів в секторі немає, абонент отримає відмову в наданні послуг. В тому випадку, якщо абоненту на момент запиту не дістанеться ресурсів в пулі кодів HSDPA, він буде поставлений в чергу і почне приймати дані після звільнення ресурсів іншими абонентами. Можливий випадок, коли кодового ресурсу не вистачить на встановлення каналу A-DPCH, але він менш імовірний, враховуючи що в цьому випадку необхідний код з SF = 256. При встановленні RAB Release'99 мінімально необхідний SF дорівнює 128 або 64 в залежності від вашого оператора. При менших швидкостях абонент буде переведений в стан Cell_FACH, в якому обмін даними відбувається по каналах FACH і RACH.

Застосування технології HSDPA дозволяє підвищити ефективність використання кодового ресурсу, в тому числі і за рахунок специфіки пакетного трафіку. Вона полягає в тому, що навіть при постійнійному закачуванні даних сервер може зупиняти передачу даних на деякий час через обмеження по продуктивності. Крім того, абоненти далеко не завжди мають потребу в безперервної передачі даних. При використанні каналу R'99 канал за абонентом зберігається на час простою. У разі передачі даних по протоколу HSDPA, в ті моменти, коли абоненту не передаються дані, ресурс може бути відданий іншим абонентам, які стоять в черзі на отримання ресурсу. У секторі мережі WCDMA кодовий ресурс жорстко розподіляється між технологіями передачі даних HSDPA R'99.

Виходячи з опису кодового ресурсу, використовуваних послуг і технологій доступу можна записати наступне рівність для розрахунку утилізації кодового ресурсу:

$$N_{CCCH}+N_{HS_PDSCH}*8+N_{R`99}+N_{HS\text{-}SCCH}+0{,}5*N_{A\text{-}DCH}=128 \qquad (1.1)$$

В (2.1) визначимо $N_{HS\text{-}SCCH}=4$ - кількість каналів HS-SCCH, $N_{SCCH}=4$ кількість каналів SF = 128 займане загальними каналами управління, мінімальне значення кількості кодів SF = 16 в пулі HSDPA $N_{HS\text{-}SCCH}$ для забезпечення максимальної швидкості передачі даних 3,6 Мбіт / с дорівнює 5.

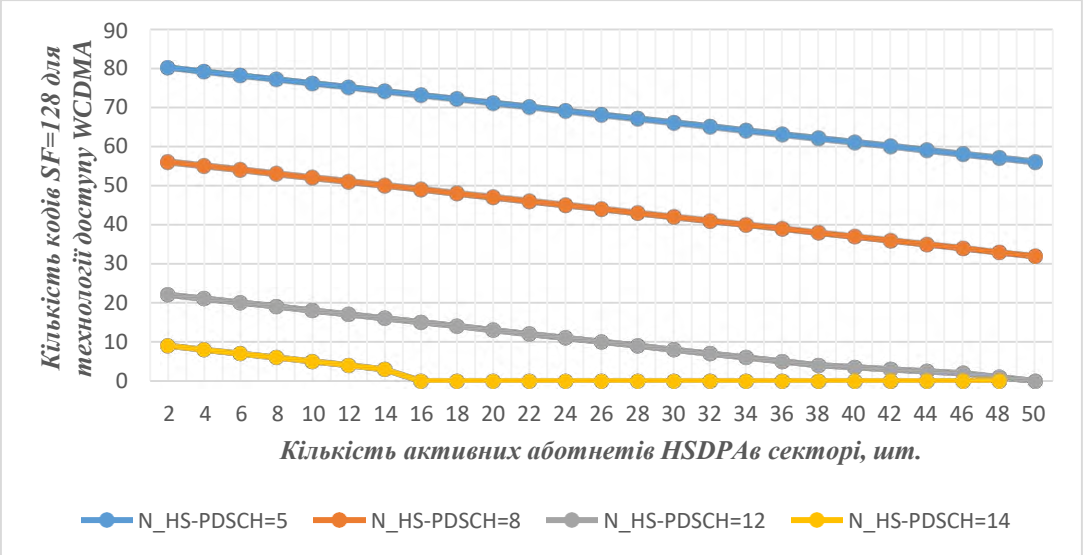


Рис. 1.24 Варіанти розподілу кодового ресурсу між технологіями доступу в мережі WCDMA

Тоді отримаємо залежності для кодового ресурсу сектора мережі WCDMA з підтримкою технології високошвидкісної технології передачі даних HSDPA при різних конфігураціях розподілу кодів між технологіями доступу до мережі рис.1.24.

З графіків рис. 1.24 видно, що збільшення кількості кодів SF = 16 для технології доступу HSDPA призводить до зменшення числа абонентів, які можуть отримати доступ до ресурсів мережі. При конфігурації кодового ресурсу з кількістю кодів HS-PSDCH рівним 14, максимальна кількість абонентів HSDPA дорівнює 15, а для абонентів P'99 кодового ресурсів не залишається.

Для абонентів HSDPA глобальним параметром мережі, який встановлюється на RNC (Radio Network Controller, контролер радіомережі) є GBR (Guaranteed Bit Rate, гарантована швидкість передачі даних). Для дипломної роботи прийнято, що GBR для абонентів HSDPA може приймати значення 64, 144 і 384 Кбіт / с. В тому випадку якщо мережу WCDMA не може забезпечити гарантовану швидкість передачі даних для абонента, йому буде відмовлено в доступі.

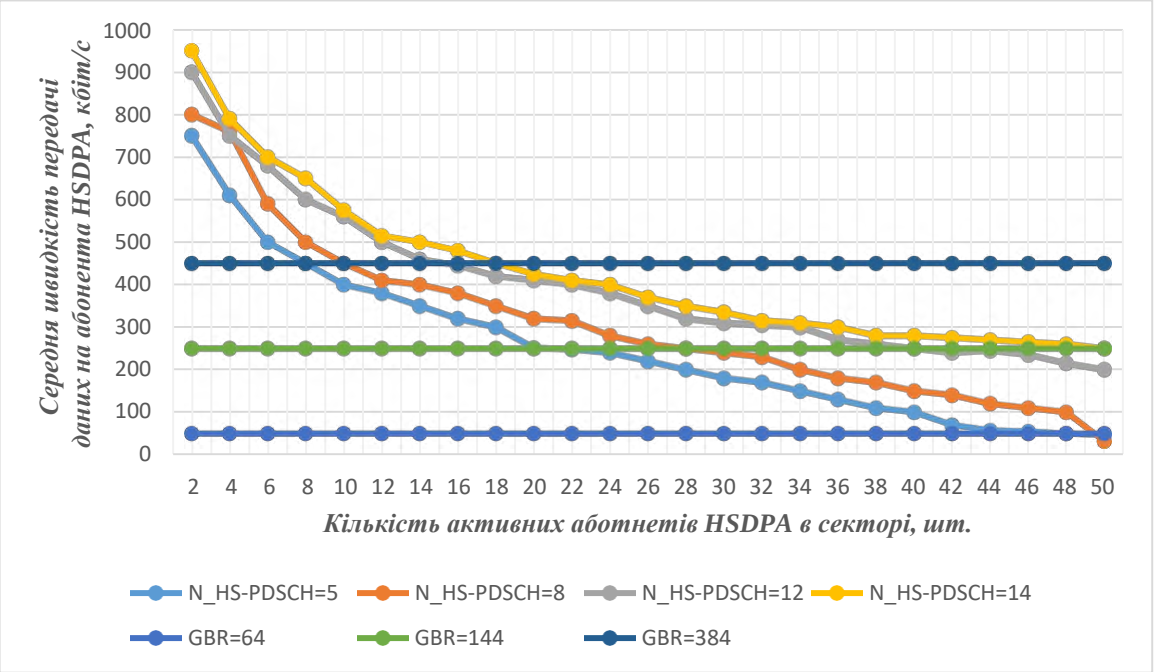


Рис.1.25 Вплив зміни кодового ресурсу на ємність сектора в порівняно зі значеннями GBR для абонентів HSDPA

За результатами тестування на тестовому стенді, що включає в себе тестовий контролер радіомережі RNC, тестову базову станцію NodeB з одним сектором і

каналом інтерфейсу Iub 10 Мбіт/с, приймемо, що середня швидкість передачі даних для абонента, що використовує один код HS-PDSCH, становить 600 Кбіт / с. Тоді отримаємо наступні залежності середньої швидкості передачі даних на абонента HSDPA від кількості активних абонентів HSDPA в секторі в порівнянні з GBR рис.1.25.

Коригуючи значення гарантованої швидкості передачі даних і конфігурацію кодового ресурс в секторі WCDMA з підтримкою технології HSDPA, оператор може отримувати задані показники якості обслуговування абонентів.

2 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ РАДІОПІДСИСТЕМИ НА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ

2.1 Формування моделі абонентського навантаження та основні характеристики імітаційної моделі

Оскільки процес моделювання відтворює процес роботи алгоритму CAC, дотримуючись логічної і тимчасової послідовності аналізу завантаження ресурсів радіопідсистеми, модель є імітаційною.

Для розробки коректної імітаційної моделі впливу завантаження ресурсів радіопідсистеми мережі WCDMA на якість обслуговування абонентів необхідно задатися основними параметрами моделі трафіку і поведінки абонентів, до яких відносяться:

- розподіл абонентів по послугах і технологіях доступу;
- усереднений коефіцієнт активності абонентів з послугами пакетної передачі даних;
- розподіл абонентів по віддаленості від центру зони обслуговування сектора;
- середня пропускна здатність одного каналу HS-PDSCH (SF = 16).

В роботі для розрахунку розподілу абонентів по послугам та технологіям доступу і розрахунку усередненого коефіцієнту активності пакетних абонентів використовуються середньостатистичні дані, отримані з реальною мережі WCDMA.

Середня пропускна здатність одного каналу HS-PDSCH отримана внаслідок проведення тестувань на тестовому стенді.

Розподіл абонентів по послугам і технологіям доступу до мережі вибирається виходячи зі статистичних даних реальної мережі WCDMA і не змінюється протягом усього процесу моделювання. Даний розподіл є принциповим і впливає на розрахунок завантаження всіх ресурсів радіопідсистеми.

На рис. 2.1 представлений графік розподілу абонентів між послугами і технологіями передачі даних. Розподіл є наближеним до показників реальної мережі і засноване на статистичних даних по кількості запитів на надання каналу: 40% від загального числа запитів на встановлення з'єднань доводиться на HSDPA, 30% на голосові виклики і решта 30% рівномірно розподілені між сполуками з пакетною передачею даних WCDMA.

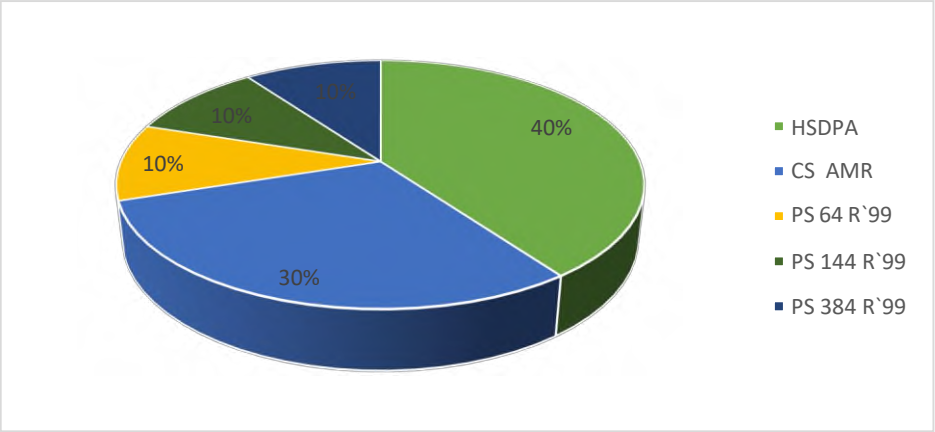


Рис. 2.1 Розподіл активних абонентів в секторі по сервісах

Крім обмежень щодо запропонованих в роботі типам BAB (в реальній мережі можуть використовуватися RAB: PS8К, PS16К, PS 2К, PS 128 К, CS AMB 4,75 До і т.д.), не враховуються всі сигнальні сполуки RBC, які також займають частину ресурсів радіопідсистеми.

Коефіцієнт активності абонентів з пакетною передачею даних також є дуже важливою величиною, що впливає на завантаження більшості ресурсів радіопідсистеми: інтерференція в зворотному каналі, потужнісний ресурс прямого каналу, ресурс пропускної здатності інтерфейсу Iub. Для CS з'єднань прийнято, що коефіцієнт активності абонента дорівнює 0,6. Для пакетних з'єднань коефіцієнт активності абонентів в загальному випадку аналітично не розраховується, проте його можна оцінити, зробивши такі припущення:

- активність абонентів з HTTP (Hyper Text Transfer Protocol, протокол передачі гіпертексту) трафіком, що генерується при перегляді web сторінок, приймається рівною 0,5;

- активність абонентів з трафіком типу P2P (Peer-to-Peer), який генерується, в тому числі при використанні протоколу Bit Torrent, приймається рівною 1.

Виходячи зі співвідношення обсягів трафіку HTTP і P2P (як двох найбільш поширених) оцінимо середню активність пакетних абонентів в мережі.

На рис. 2.2 показано розподіл трафіку між трафіком HTTP і P2P по часу за добу.

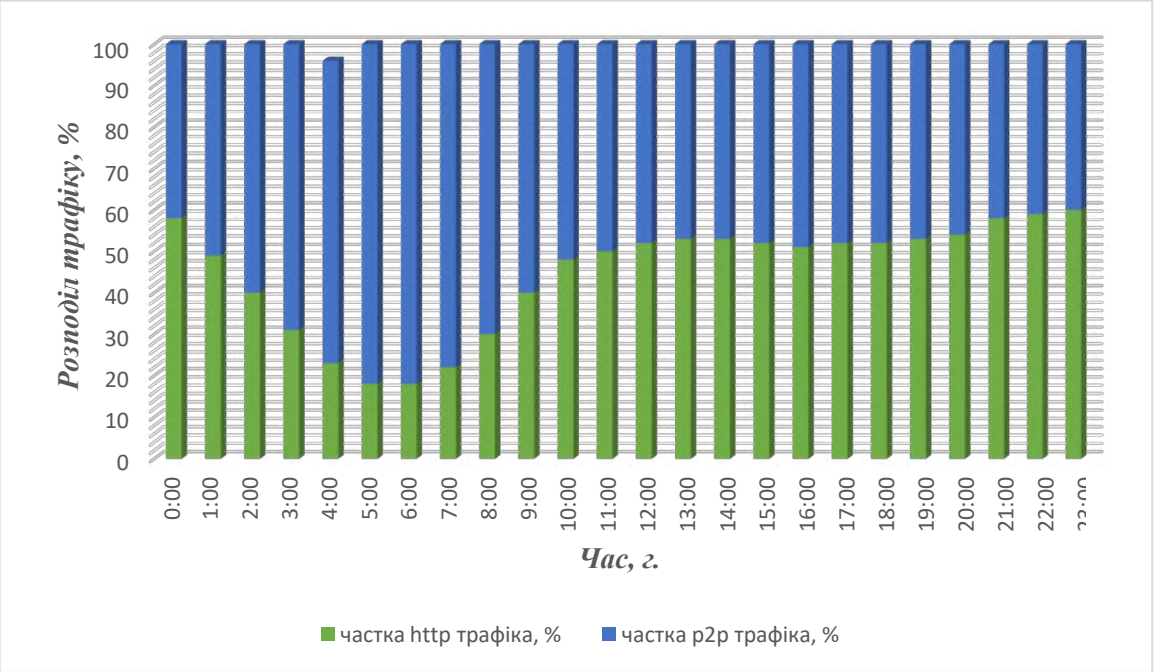


Рис. 2.2 Розподіл трафіку по протоколах HTTP і P2P протягом доби

В середньому за добу розподіл трафіку між типами співвідноситься як 52% p2p і 48% HTTP. Середню активність пакетних абонентів можна розрахувати за формулою

$$K_{PS} = T_{P2P} \times 1 + T_{HTTP} \times 0{,}5 \qquad (2.1)$$

де K_{PS} - коефіцієнт активності пакетних абонентів, T_{P2P} - частка трафіку p2p від загального трафіку, T_{HTTP} - частка трафіку HTTP від загального обсягу трафіку.

Тоді крива середньої активності пакетних абонентів протягом доби змінюється наступним чином рис. 2.3.

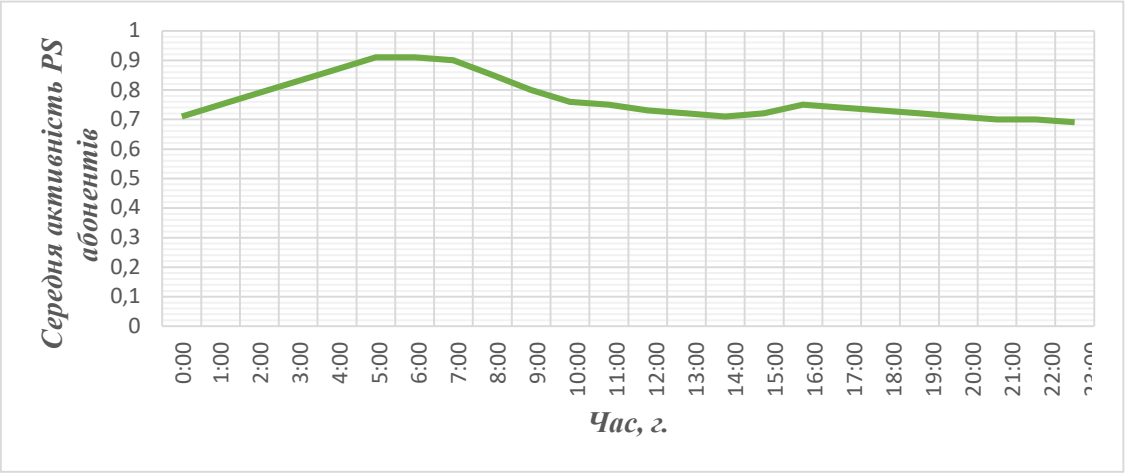


Рис. 2.3 Середня активність пакетних абонентів за добу

Середня активність пакетних абонентів протягом доби змінюється в залежності від розподілу трафіку за типами і в разі усереднення по добам становить 0,775. Однак найбільший інтерес викликає проміжок часу з максимальним трафіком (максимальної абонентської навантаженням).

На рис. 2.4 представлений добовий профіль трафіку по мережі. Час найбільшого навантаження (ГНН) по пакетному трафіку припадає на 23:00. В цей час, виходячи з розподілу трафіку за типами, середній коефіцієнт активності пакетних абонентів становить 0,68.

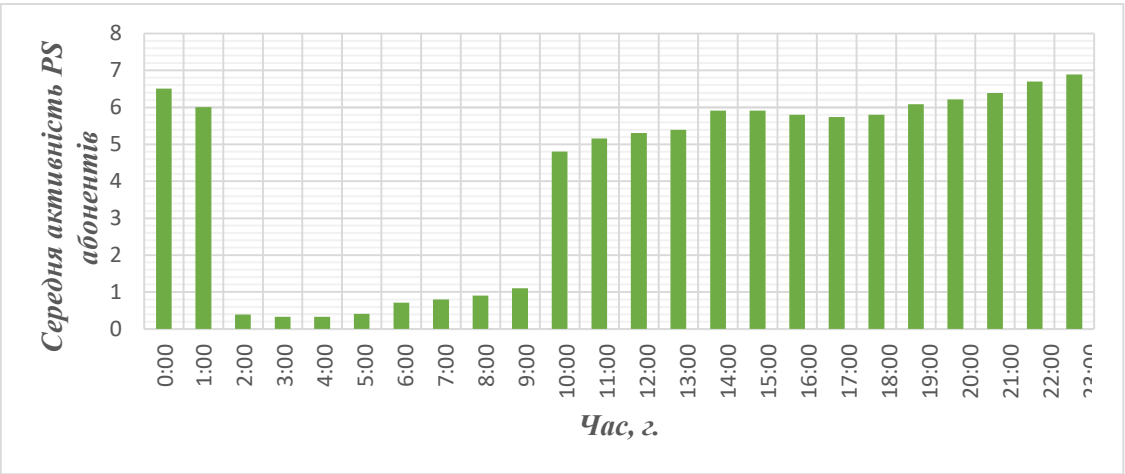


Рис. 2.4 Розподіл обсягу переданого трафіку за добу

Розподіл абонентів по віддаленості від центру зони обслуговування сектора для реалізації імітаційної моделі вибрано рівномірним з мінімальним обмеженням

20 метрів (з урахуванням висоти підвісу антен), а максимальним обмеженням, рівним радіусу зони обслуговування сервісу PS 64 K в зворотному каналі.

Для розрахунку пропускної здатності кодового ресурсу, що виділяється абонентам, необхідно задатися середньою пропускною здатністю, яку забезпечує один код SF = 16. Дане значення залежить від типу маніпуляції, застосовуваної в радіоканалі, вибір якої в свою чергу визначається якість радіоканалу. У розрахунках імітаційної моделі обрана усереднена пропускна здатність для радіоканалу з одним кодом 5К = 16 рівна $B_{HS\text{-}PDSCH}$ = 600 кбіт / с за результатами вимірювань на тестовому стенді.

На рис. 2.5 представлений графік залежності швидкості від рівня сигналу від базової станції.

Середня швидкість по віддаленості абонента від базової станції становить 573 кбіт/с. Вибрана швидкість для одного коду, що дорівнює 600 кбіт/с, лежить в межах 5% похибки дозволяючи спростити розрахунок. Експеримент із залежністю швидкості від рівня сигналу проводився тестовою ізольованою базовою станцією і модемом HSDPA категорії 7 з максимальною швидкість передачі даних 3,6 Мбіт/с. Для пулу HSDPA був виділений один код HS-PDSCH. Обмеження по іншим ресурсів радіопідсистеми були відсутні.

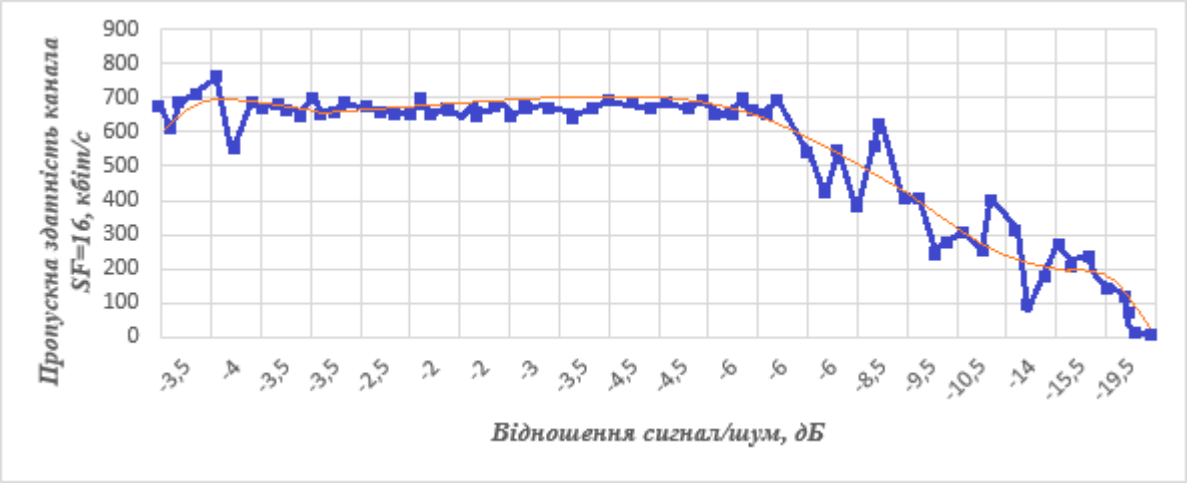


Рис. 2.5 Залежність швидкості передачі даних від рівня прийнятого сигналу при використанні одного коду HS-PDSCH

Отримані результати і допущення використовуються для формування абонентського навантаження в імітаційній моделі впливу завантаження ресурсів радіопідсистеми на якість обслуговування абонентів.

2.2 Імітаційна модель впливу обмежень ресурсів на якість обслуговування абонентів

Алгоритм роботи імітаційної моделі для кодового ресурсу радіопідсистеми у вигляді блок-схеми представлений на рис. 2.6. Перша частина алгоритму відповідає за збір вхідних даних, необхідних для проведення розрахунків імітаційної моделі. Блок 1.1 є генератором абонентського навантаження.

Сумарна кількість абонентів, які одночасно обслуговуються в секторі, є випадковою величиною з рівномірним розподілом в встановлених межах. Для моделі мінімальна межа розподілу обрана рівною нулю. Максимальна межа для розподілу сумарної кількості абонентів обрана рівною 60 активних абонентів в секторі. В процесі моделювання максимальна можлива кількість абонентів в секторі поступово зростає.

$$K_{ii} = RAND(\xi\xi_{ii}; \xi\xi_{jj}) \tag{2.2}$$

де $\xi\xi_{ii}$ - - мінімальна кількість одночасно обслуговуваних абонентів в секторі, а $\xi\xi_{jj}$ - максимальна кількість абонентів, K_{ii}- кількість активних абонентів в секторі.

$$\begin{cases} \xi\xi_{ii} = [0{,}5 \dots 55] \\ \xi\xi_{jj} = [5{,}10 \dots 60] \end{cases} \tag{2.3}$$

Максимальне значення для імітаційного моделювання вибрано рівним 60, оскільки навіть з теоретичного розрахунку дана кількість абонентів створять навантаження по всіх ресурсах, що перевищує допустимі значення.

Далі отримане число активних абонентів розподіляється між послугами і технологіями доступу відповідно до моделі рис. 2.1.

У блоці 1.2 агрегується інформація по конфігурації кодового дерева в секторі. Вона включає в себе кількість кодів SF = 128, займаних службовими каналами,

конфігурацію пулу HSDPA і таблицю утилізації кодового ресурсу голосовими і пакетними абонентами WCDMA табл.1.8.

Кількість каналів A-DPCH залежить від кількості активних абонентів HSDPA в секторі. Для кожного активного абонента HSDPA необхідно формувати свій канал A-DPSH для управління потужністю зворотного каналу HS-DPCCH. Коефіцієнт розширення каналу A-DCH дорівнює SF = 256.

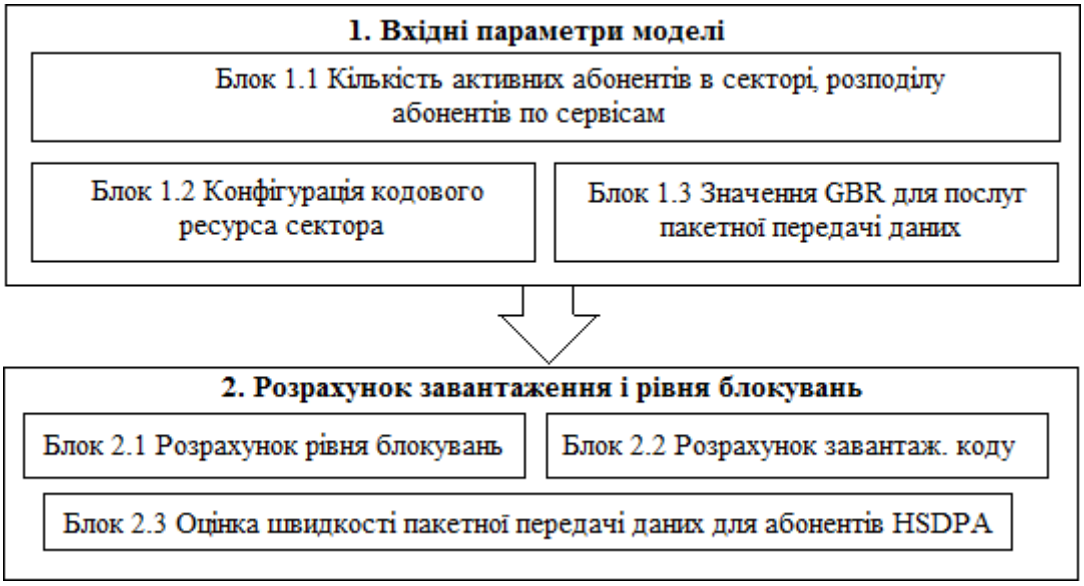


Рис. 2.6 Блок-схема алгоритму симулятора для навантаження по кодовому ресурсу

Кількість кодів, використовуваних в пулі HSDPA, вибирається в залежності від абонентського навантаження. У таблиці 2.1 вказані можливі конфігурації розподілу кодового ресурсу між технологіями WCDMA і HSDPA без урахування утилізації ресурсу каналами управління.

Розподіл кодового ресурсу регулюється в залежності від навантаження в зазначених межах. Нижній поріг за кількістю кодів для пулу HSDPA вибраний з тих міркувань, що пропускна здатність сектора для HSDPA не повинна бути нижче 3,6 Мбіт/с. Верхня межа обумовлена запасом кодового ресурсу, який повинен залишатися для обслуговування голосових абонентів.

У блоці 1.3 зберігається інформація про призначені для всіх RAB гарантованих швидкостей передачі даних GBR.

Таблиця 2.1

Можливі варіанти розподілу кодового ресурсу HSDPA

Кодовий ресурс сектора, SF=128	Кодовий ресурс HSDPA, SF=16	Кодовий ресурс HSDPA, SF=128	Кодовий ресурс R`99, SF=128
128	5	40	88
128	6	48	80
128	7	56	72
128	8	64	64
128	9	72	56
128	10	80	48
128	11	88	40
128	12	96	32
128	13	104	24
128	14	112	16

Таблиця 2.2

GBR для використовуваних типів сервісів

Тип сервісу/технологія доступу	Гарантована швидкість передачі даних (GBR)
Голосовий сервіс CS AMR 12,2	16 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 64 K	64 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 144 K	144 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 384 K	384кбіт/с
Пакетний сервіс PS HSDPA	64/144/384 кбіт/с

Відповідно до табл. 2.2 всі сервіси з пакетною передачею даних WCDMA мають гарантовані швидкості передачі даних рівні своїм номінальним швидкостям, а для технології доступу HSDPA гарантована швидкість може змінюватися. GBR є глобальним мережевим параметром і встановлюється на рівні RNC.

У другій частині алгоритму проводиться розрахунок вихідних параметрів імітаційної моделі до яких відносяться блокування по кодовому ресурсу для голосових і пакетних абонентів в залежності від використовуваної технології передачі даних. Крім блокувань проводиться розрахунок утилізації ресурсів кодового дерева і оцінка середньої швидкості пакетної передачі даних для абонентів HSDPA. Оцінка середньої швидкості пакетної передачі даних проводиться тільки для HSDPA абонентів.

Блокування по кодовому ресурсу, як і інші вихідні дані імітаційної моделі навантаження по кодовому ресурсу, розраховуються окремо для технологій WCDMA і HSDPA, оскільки даний ресурс жорстко розмежовує ці технології.

Для розрахунку блокувань по кодовому ресурсу для абонентів WCDMA попередньо необхідно розрахувати утилізацію кодового ресурсу даними абонентами:

$$C_{00VSF_R99} = L_{CS} * N_{CS} + L_{PS64} * N_{PS64} + L_{PS144} * N_{PS144} + L_{PS384} * N_{PS384} \quad (2.4)$$

В (3.4) $L_{CS}, L_{PS64}, L_{PS144}, L_{PS384}$- утилізація кодового ресурсу з відповідними RAB (табл. 3.2), $N_{CS}, N_{PS64}, N_{PS144}, N_{PS384}$- кількість абонентів з відповідними RAB.

Блокування по кодовому ресурсу з'являються в тому випадку, коли

$$C_{00VSF_R99} > C_{00VSF_R99_MAMM} \quad (2.5)$$

де C_{OVSF_MAX} - максимальна кількість кодів SF = 128, зарезервоване для абонентів WCDMA. Залежно від конфігурації кодового ресурсу значення $C_{OVSF_R99_MAX}$ можна визначити по табл. 3.1 враховуючи при цьому конфігурацію службових каналів і кількість абонентів HSDPA.

У тому випадку, коли умова (2.5) виконується, завантаження кодового ресурсу прирівнюється 100%, а блокування для голосових і пакетних абонентів розраховуються за формулами:

$$P_{BLK_CS_00VSF} = 100 * \frac{\sum C_{CCS\ 0000S}}{\sum D_{CCS}} \quad (2.6)$$

і

$$P_{BLK_PS_00VSF} = 100 * \frac{\sum C_{PS\ 0000SF}}{\sum D_{PS}} \quad (2.7)$$

(3.6) і (3.7) C_{CS_OVSF} і C_{PS_OVSF}- кількість голосових і пакетних, з'єднань з відмовами в наданні сервісів, D_{CS} і D_{PS} – кількість успішно встановлених з'єднань з голосовими пакетними послугами.

У тому випадку, коли умова (2.5) не виконується, розраховується утилізація кодового ресурсу для абонентів WCDMA.

$$P_{UTIL_00VSF_99} = \frac{L_{CCS}*N_{CCS}+L_{PS64}*N_{PS64}+L_{PS144}*N_{PS144}+L_{PS384}*N_{PS384}}{C_{0000SF_R99_MAX}} \quad (2.8)$$

Розрахунок рівня блокувань для абонентів HSDPA ґрунтується на конфігурації кодового ресурсу сектора і встановленому значень гарантованої швидкості передачі даних GBR [16]. блокування по кодовому ресурсу виникають в тому випадку, коли

$$N_{HSDPA} * GBR_{HSDPA} > B_{HS-PDSCH} * C_{00VSF_HSDPA} \quad (2.9)$$

В (3.9) NH_{SDPA} - кількість активних абонентів HSDPA в секторі GBR_{HSDPA} - гарантована швидкість для абонентів HSDPA, B_{HS_PDSCH} встановлена середня пропускна здатність одного каналу HS-PDSCH C_{OVSFJI_HSDPA} - максимальна кількість кодів SF = 128, виділених для пулу HSDPA.

У тому випадку, коли умова (2.9) виконується, утилізація кодового ресурсу абонентами HSDPA прирівнюється 100%. Середня швидкість в випадку дорівнює гарантованої швидкості передачі даних для абонентів HSDPA.

Рівень блокувань по кодовому ресурсу розраховується відповідно до формули:

$$P_{BLK_{HADPA_{0000SF}}} = 100 * \frac{\sum C_{HSDPA\ 0000S}}{\sum C_{HSDPA}} \quad (2.10)$$

де C_{HSDPA_OVSF} - кількість абонентів, які отримали відмову в наданні послуг через кодового ресурсу, C_{HSDPA} - загальна кількість абонентів, запитали з'єднання HSDPA.

Якщо блокування по кодовому ресурсу $P_{BLK_HSDPA_OVSF}$=0 розраховуються завантаження ресурсу і середня швидкість передачі даних, яка припадає на абонента HSDPA. Середня швидкість для абонента HSDPA розраховується за формулою:

$$T_{HSDPA_00VSF} = \frac{B_{HS-PDSCH} * C_{0000SF\ HSDPA}}{N_{HSDPA}} \quad (2.11)$$

Для розрахунку утилізації кодового ресурсу абонентами HSDPA враховується, що максимальна швидкість для одного абонента з високошвидкісною передачею даних обмежена T_{HSDPA_MAX}=3,6Мбіт/с. Тоді формула для розрахунку завантаження ресурсу:

$$K_{OOCSF} = 100 * \frac{N_{HSDPA} * T_{HSDPA\ 0000SF}}{B_{HS_PDSCH} * C_{0000SF_HSDPA}} \quad (2.12)$$

У реальних мережах для усунення блокувань по кодовому ресурсу крім перерозподілу кодів між технологіями доступу WCDMA і HSDPA і зміни гарантованої швидкості передачі даних для абонентів HSDPA можливо використовувати низькошвидкісні кодеки для передачі мовної інформації. Також варто відзначити, що частина кодового ресурсу може бути зарезервована для SHO, що так само впливає на максимальне абонентське навантаження. В імітаційній моделі дані факти не враховуються через складність їх реалізації і відмінності в обладнанні виробників [17].

Далі розглянемо результати розрахунків імітаційної моделі абонентського навантаження і її вплив на якість обслуговування абонентів в залежності від конфігурації кодового ресурсу. Залежність швидкості передачі даних для абонентів HSDPA від конфігурації кодового ресурсу представлена на рис. 2.7.

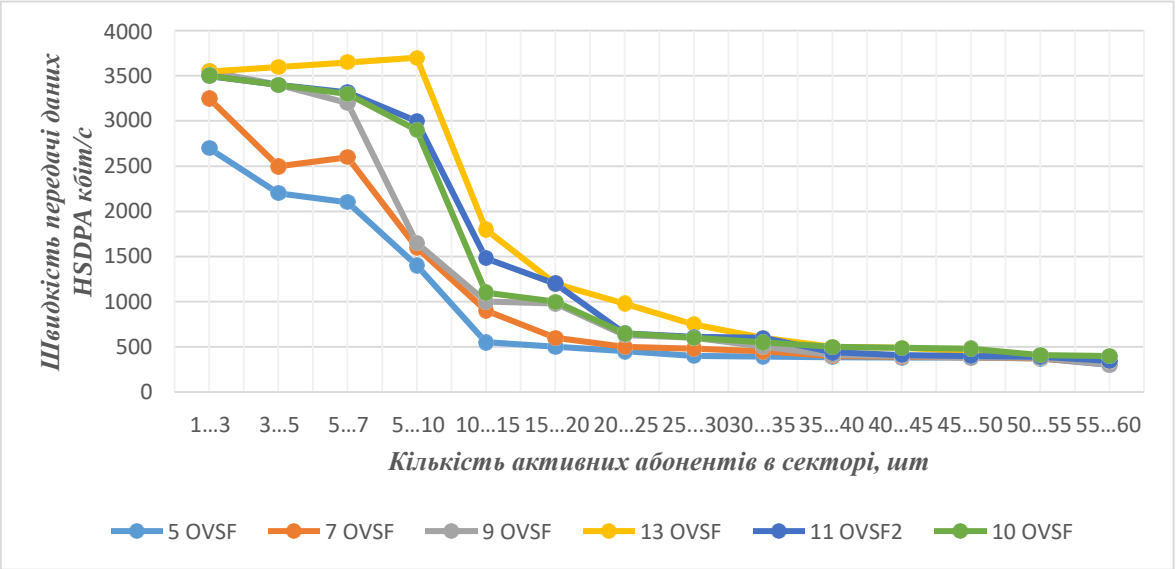


Рис. 2.7 Залежність швидкості передачі даних HSDPA від абонентського навантаження в секторі при різних конфігураціях кодового ресурсу

З отриманих залежностей можна зробити висновок, що найбільшими перепонами вплив на швидкість передачі даних HSDPA збільшення кодового ресурсу HS-PDSCH надає в області невисокого абонентського навантаження. З збільшенням навантаження швидкість передачі даних для абонентів HSDPA знижується і незначно змінюється при різних конфігураціях кодового ресурсу. Необхідно відзначити, що блокування для абонентів HSDPA через брак кодового

ресурсу для встановлення з'єднань з гарантованою швидкістю спостерігаються тільки при конфігурації з п'ятьма кодами HS-PDSCH при максимальному абонентському навантаженні і склав 10%

При використанні конфігурації з тринадцятьма кодами і збільшенні абонентського навантаження в секторі виникає ситуація, коли кількість кодів для WCDMA стає рівним нулю. При цьому неможливо встановлювати нові з'єднання як голосовим і пакетним абонентам WCDMA, так і абонентам HSDPA, оскільки немає ресурсу для встановлення каналу A-DCH. Така ситуація є неприйнятною, тому дана конфігурація не використовується для подальших розрахунків [18].

На рис. 2.8 і 2.9 представлені залежності рівнів блокувань для голосових і пакетних сервісів WCDMA від абонентського навантаження в секторі при різних конфігураціях кодового ресурсу. З результатів імітаційного моделювання можна зробити висновок, що виділення 13 кодів з коефіцієнтом розширення SF = 16 для пулу HSDPA призводить до високих рівнів блокувань для голосового і пакетного сервісів для даного розподілу абонентів по запитаних ресурсів.



Рис. 2.8 Залежність рівня блокувань для голосового сервісу від абонентського навантаження при різних конфігураціях кодового ресурсу

Для конфігурації з тринадцятьма кодами HS-PDSCH можлива ситуація з повним блокуванням сектора для абонентів WCDMA. Для подальших розрахунків приймемо, що конфігурація кодового ресурсу сектора включає десять кодів HS-

PDSCH виходячи з рівня блокувань для трафіку Release'99 і швидкості пакетної передачі даних для технології HSDPA.

На якість обслуговування абонентів HSDPA з точки зору кодового ресурсу також впливає значення гарантованої швидкості передачі даних, встановлене в контролері радіомережі.

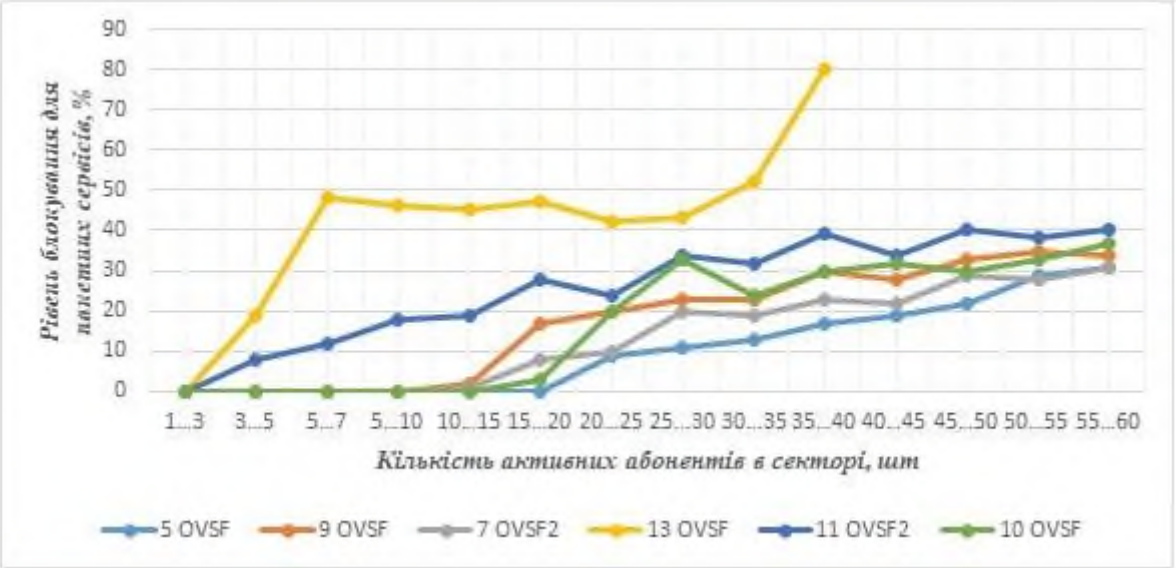


Рис. 2.9 Залежність рівня блокувань для пакетних сервісів WCDMA від абонентського навантаження при різних конфігураціях кодового ресурсу

Розглянемо результати імітаційного моделювання даного впливу при конфігурації кодового ресурсу HS-PDSCH = 10 і двох значень GBR: 144 кбіт/с і 384 кбіт/с. Гарантована швидкість передачі даних 64 кбіт/с з не розглядається, так як при GBR = 144 кбіт/с істотних блокувань для абонентів HSDPA не спостерігається.

На рис. 2.10 представлена залежність рівня блокувань для абонентів HSDPA від абонентського навантаження в секторі при зміні значення GBR. За результатами імітаційного моделювання впливу гарантованої швидкості передачі даних на якість обслуговування абонентів HSDPA можна зробити висновок, що збільшення GBR зі 144 кбіт/с до 384 кбіт/с дозволяє забезпечити більш високою швидкість передачі даних, однак при це різко зростає рівень блокувань для абонентів HSDPA. У зв'язку з цим при подальших розрахунках приймемо гарантовану швидкість передачі даних рівну 144 кбіт/с.

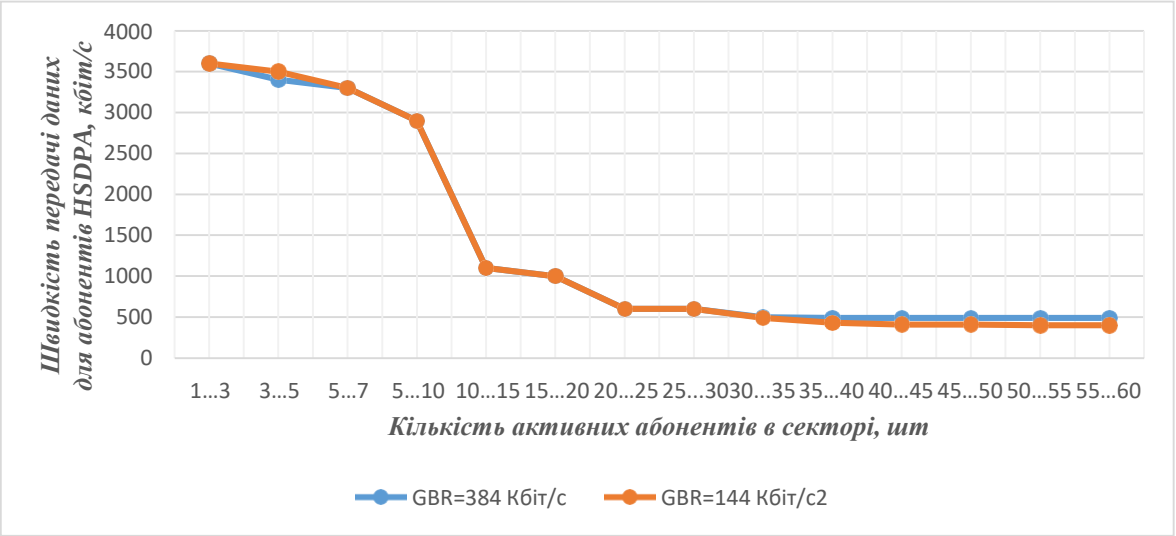


Рис. 2.10 Залежність швидкості передачі даних для абонентів HSDPA від абонентського навантаження в секторі для різних значень GBR

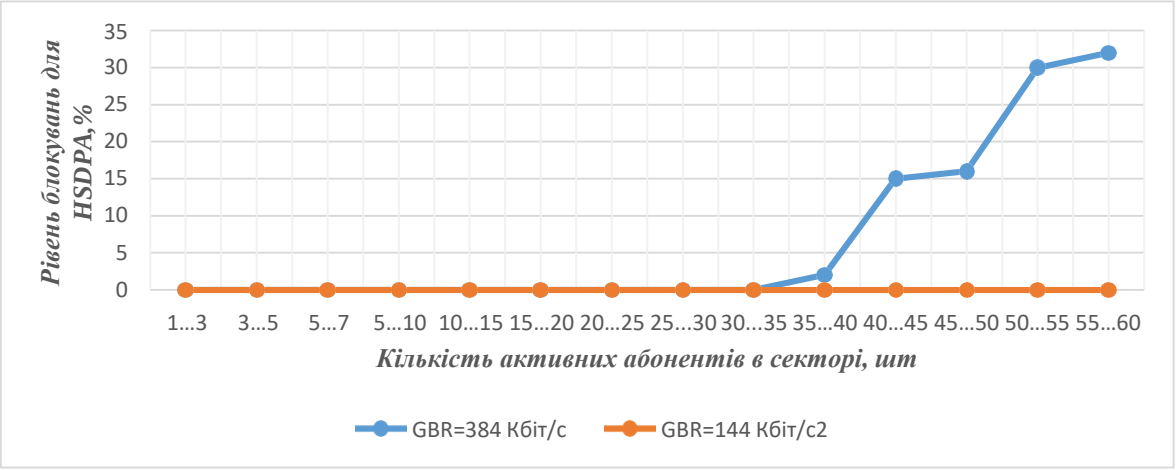


Рис. 2.11 Залежність рівня блокувань HSDPA від абонентського навантаження при зміні значення GBR

Значення гарантованої швидкості передачі даних впливає на якість обслуговування абонентів не тільки з точки зору утилізації кодового ресурсу, а й з точки зору такого ресурсу, як пропускна здатність каналу інтерфейсу Iub. У зв'язку з цим вплив на якість обслуговування значення параметра GBR розглядається далі з урахуванням всіх ресурсів радіопідсистеми.

В результаті імітаційного моделювання отримані графіки залежностей рівнів блокувань для пакетного і голосового трафіку при обмеженому кодовому ресурсі

від розподілу ресурсу між технологіями доступу і від значення гарантованої швидкості передачі даних. Ці результати дозволяють приймати рішення про налаштування даних параметрів в мережі WCDMA для отримання можливої якості обслуговування абонентів.

2.3 Результати імітаційного моделювання впливу сукупності ресурсів на якість обслуговування абонентів

Інтегральна оцінка впливу обмежень ресурсів радіопідсистеми на якість обслуговування абонентів в мережі WCDMA з використанням технологій високошвидкісної передачі даних дозволяє провести порівняння впливу сукупності обмежень і визначити найбільш критичні обмеження за ресурсами. Результуючий вплив на якість обслуговування абонентів буде залежати від взаємодії обмежень по ресурсам радіопідсистеми [17].

Розглянемо результати імітаційного моделювання впливу абонентського навантаження на утилізацію ресурсів радіопідсистеми і якість обслуговування абонентів. В якості вихідних умов щодо обмеження ресурсів, поведінкової моделі абонентів і розподілу ресурсів між голосовими і пакетними абонентами, а так само між абонентами WCDMA і HSDPA/HSUPA вибираються значення, відповідні результатам імітаційного моделювання впливу обмежень кожного ресурсу радіопідсистеми. Початкові умови зведені в табл. 2.3.

Розглянемо результати імітаційного моделювання з початковими параметрами, представленими в табл. 2.3.

За результатами імітаційного моделювання для голосового сервісу можна зробити висновок, що блокування спостерігаються по тим ресурсам, для яких немає можливості визначити межі утилізації для пакетних сервісів. Основним проблемним ресурсом є ресурс в прямому каналі.

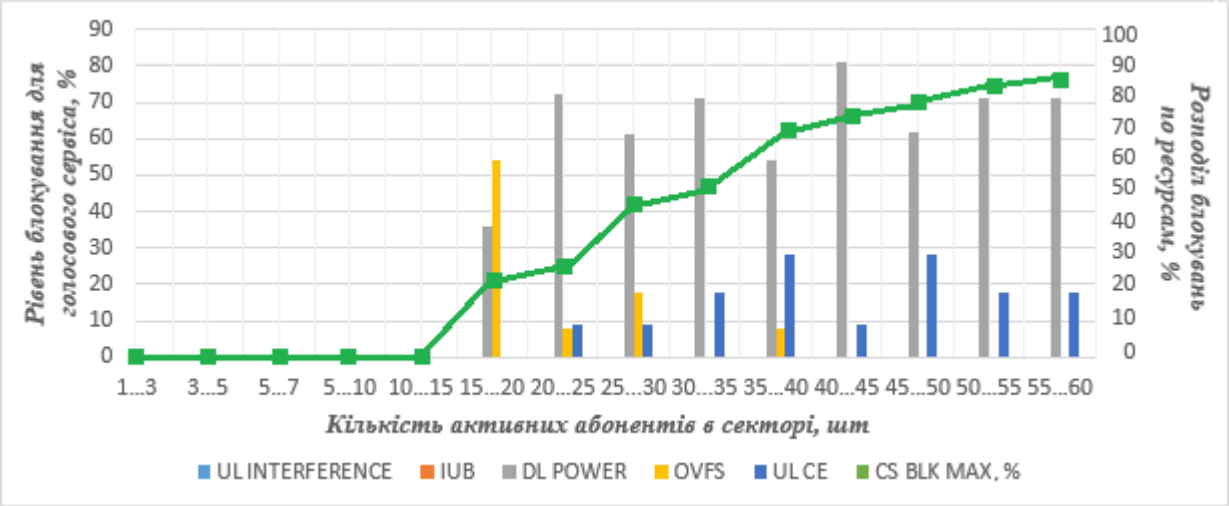


Рис. 2.12 Залежність рівня блокувань для голосових абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми

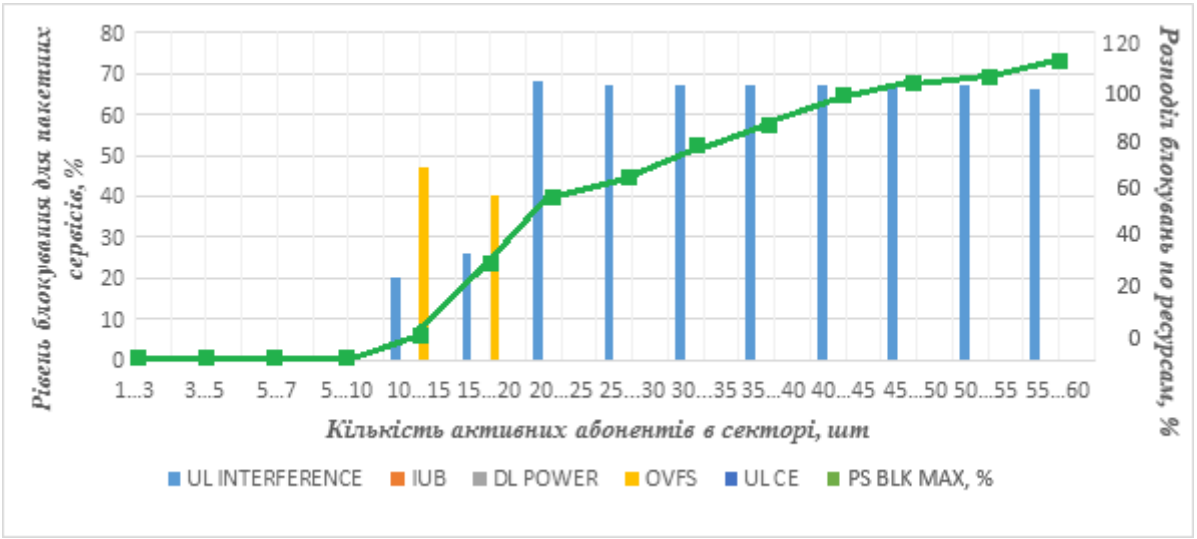


Рис. 2.13 Залежність рівня блокувань для пакетних абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми

За результатами імітаційного моделювання для пакетних сервісів можна зробити висновок про те, що основним проблемним ресурсом є інтерференція в зворотньому каналі сектора WCDMA. Так як для голосового сервісу блокування по обмеженню навантаження в зворотному каналі дорівнюють нулю, можна змінити обмеження по утилізації ресурсу для пакетних сервісів з 85% до 95%.[19]

Таблиця 2.3

Початкові значення імітаційної моделі сукупності ресурсів

араметр	Значення	Примітка
Коефіцієнт активності голосових абонентів	0,6	Фіксована величина
Коефіцієнт активності пакетних абонентів	0,7	Значення, вибране по результатам проведення імітаційного моделювання
Коефіцієнт перешкоди від сусідніх секторів в UL	0,7	Значення, вибране по результатам проведення імітаційного моделювання
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу CS AMR 12,2 дБ	5	
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу PS 64, дБ	4	
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу PS 144, дБ	3	
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу PS 384, дБ	3	
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу PS HSDPA, дБ	2	
Необхідне співвідношення сигнал/ шум для сервісу PS HSUPA, дБ	2	
Обмеження по навантаженню в зворотному каналі для PS сервісів, %	85	Значення, вибране по результатам проведення імітаційного моделювання
Конфігурація інтерфейсу Iub	4xE1	ATM,IMA
Гарантована швидкість передачі даних HSDPA, кбіт/с	144	Значення, вибране по результатам проведення імітаційного моделювання
Кількість кодів SF128 для пула HSDPA	80	Значення, вибране по результатам проведення імітаційного моделювання
Конфігурація процесорної ємкості Node B	192/256	Максимальна кількість для конфігурації 1xBBU DBS 3800Huawei
Потужність службових каналів управління, % від макс. потужності Node B	20	
Коефіцієнт неортогональності	0,6	
Коефіцієнт перешкоди від сусідніх секторів в прямому каналі	1,7	

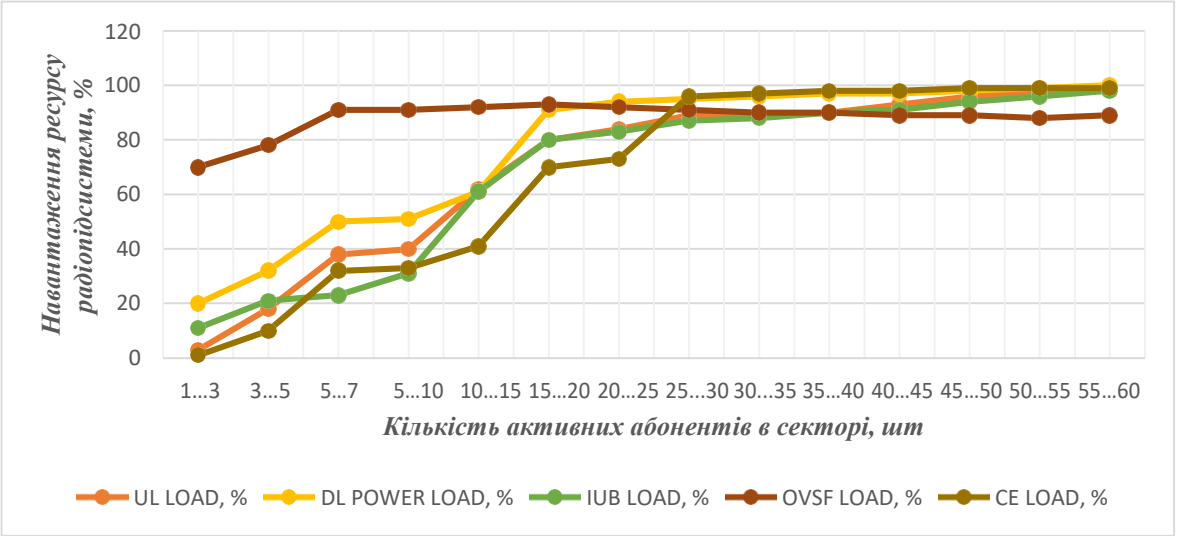


Рис. 2.14 Утилізація ресурсів радіопідсистеми при збільшенні абонентського навантаження в секторі

Графіки залежностей утилізації ресурсів радіопідсистеми підтверджують отримані дані по блокуванням. За графіком навантаження зворотнього каналу можна зробити висновок, що скорочення запасу ресурсу для голосового сервісу може привести до зростання утилізації ресурсу і скорочення блокувань.

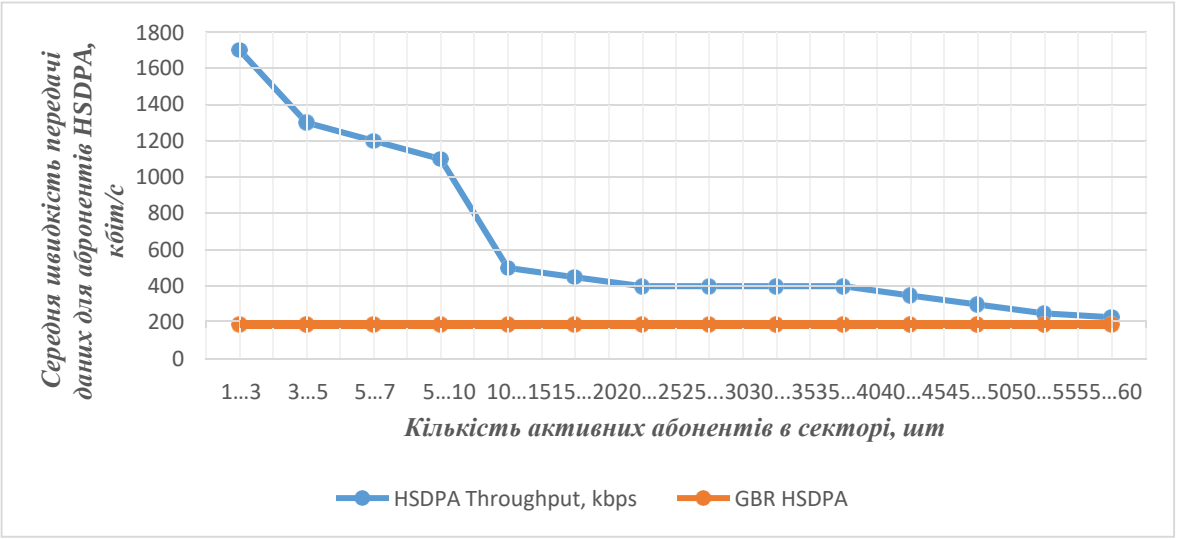


Рис. 2.15 Залежність швидкості передачі даних HSDPA від абонентського навантаження в секторі з урахуванням обмежень по всіх ресурсах радіопідсистеми

Залежність середньої швидкості пакетної передачі даних для абонентів HSDPA від абонентського навантаження в секторі WCDMA на рис.2.14 визначається обмеженнями пропускної здатності каналу інтерфейсу Iub. В цілому на середню швидкість впливає два ресурса: ресурс інтерфейсу Iub і кодовий ресурс.

При конфігурації кодового ресурсу з пулом HBOPA, що складається з 10 кодів SF = 16, і при конфігурації інтерфейсу Iub ATM 4xE1 з урахуванням рівномірного розподілу між секторами базової станції обмежуючим ресурсом буде є інтерфейс Iub.

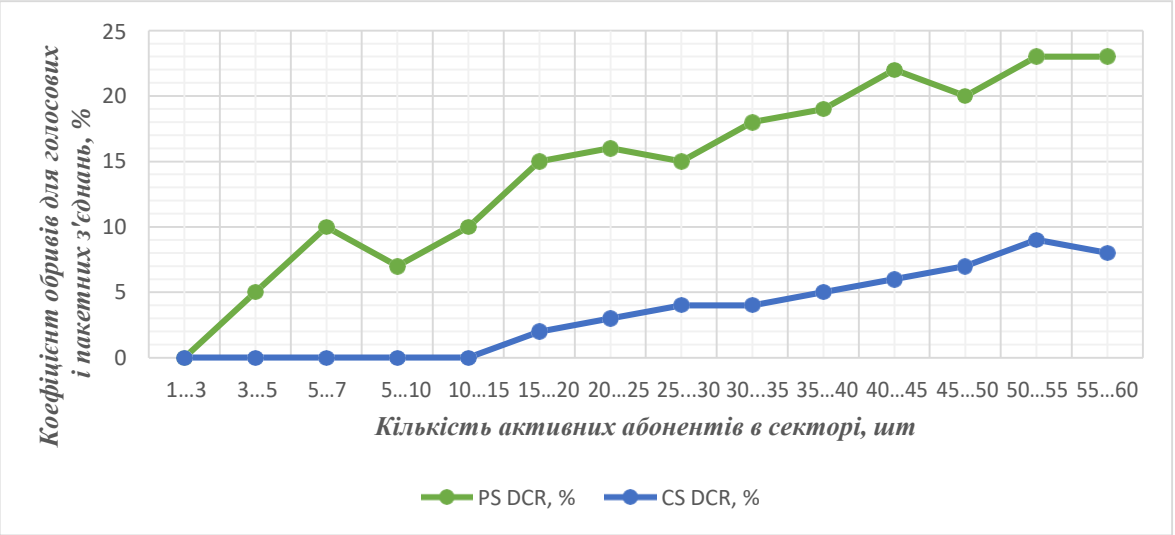


Рис. 2.16 Залежність коефіцієнтів обривів для голосових і пакетних з'єднань від абонентського навантаження в секторі

Розглянемо результати імітаційного моделювання впливу абонентського навантаження на якість надання послуг з урахуванням зміни наступних параметрів рис. 2.17 – 2.19:

- обмеження для пакетних абонентів по утилізації ресурсу інтерференції в зворотному каналі прийнято рівним 95%;

- обмеження по потужності в прямому каналі для сервісів PS144 і PS384 встановлено рівним 25% і 40% відповідно.

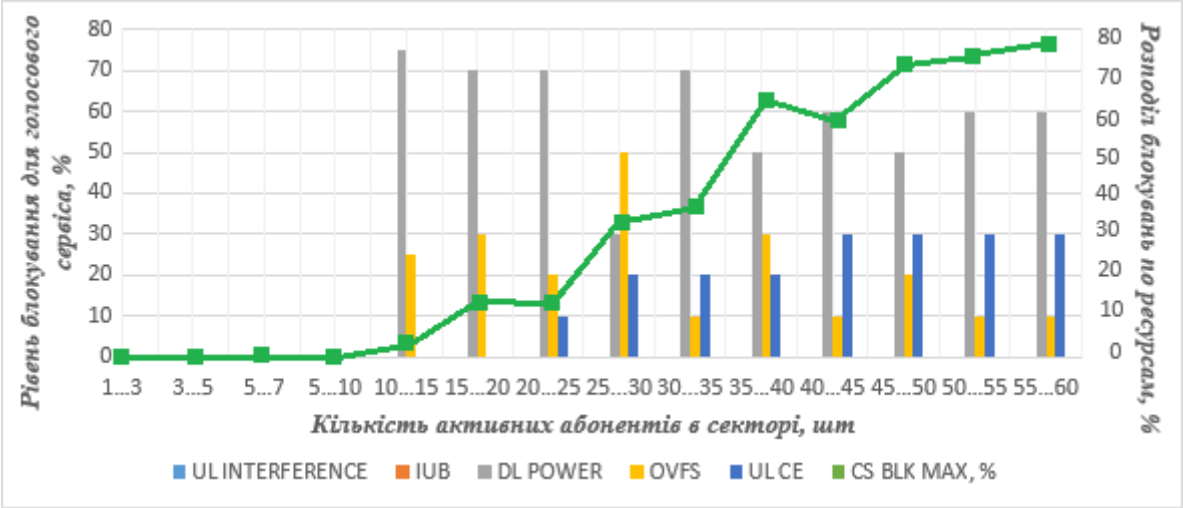


Рис. 2.17 Залежність рівня блокувань для голосових абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми

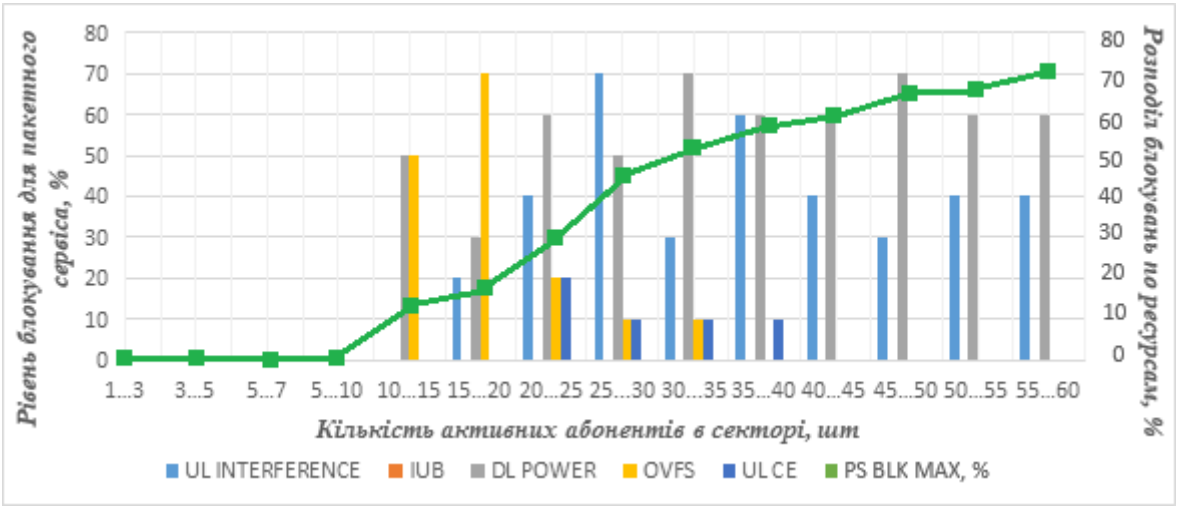


Рис. 2.18. Залежність рівня блокувань для пакетних абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми

З графіків утилізації ресурсів радіопідсистеми, отриманих внаслідок імітаційного моделювання при скоригованих значеннях обмеження навантаження в зворотньому каналі для пакетних сервісів і максимальною потужності в прямому каналі для сервісів PS144 і PS384, можна зробити висновок, що ресурси радіопідсистеми використовуються більш коректно.

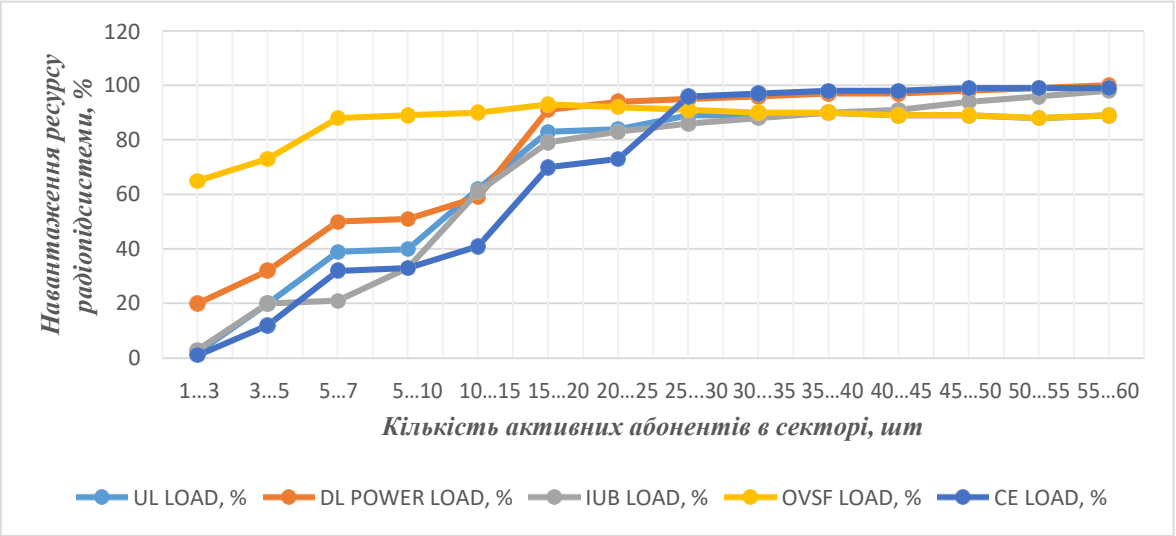


Рис. 2.19 Утилізація ресурсів радіопідсистеми при збільшенні абонентського навантаження в секторі

Цей висновок можна зробити на підставі аналізу кривих утилізації ресурсів. Найбільше збіг свідчить про раціональний вибір конфігурації ресурсів, відбулося зниження утилізації ресурсу потужності в прямому каналі, проте даний ресурс залишився найбільш критичним в сенсі впливу на якість обслуговування абонентів.

Основним рішенням для боротьби з блокуванням по потужності в прямому каналі є введення в експлуатацію другої несучої частоти і оптимального розподілу навантаження між двома несучими.

Результатом збільшення порогу навантаження по зворотньому каналу для пакетних абонентів стало збільшення коефіцієнта обривів для голосових і пакетних з'єднань внаслідок ефекту «дихання» стільники. Розглянемо вплив некоректного вибору конфігурації і параметрів ресурсів радіопідсистеми на якість обслуговування абонентів [16].

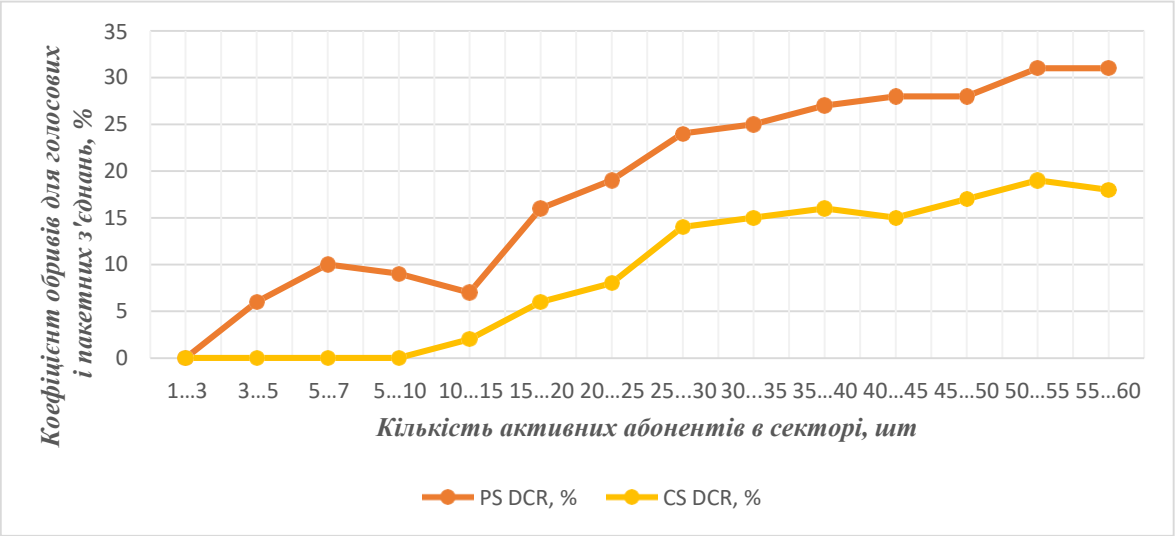


Рис. 2.20 Залежність коефіцієнтів обривів для голосових і пакетних з'єднань від абонентського навантаження в секторі

Обмежимо максимальну кількість канальних елементів, встановлене на базовій станції, до 92 в зворотньому каналі і 128 в прямому каналі (50% навантаження на процесори БС).

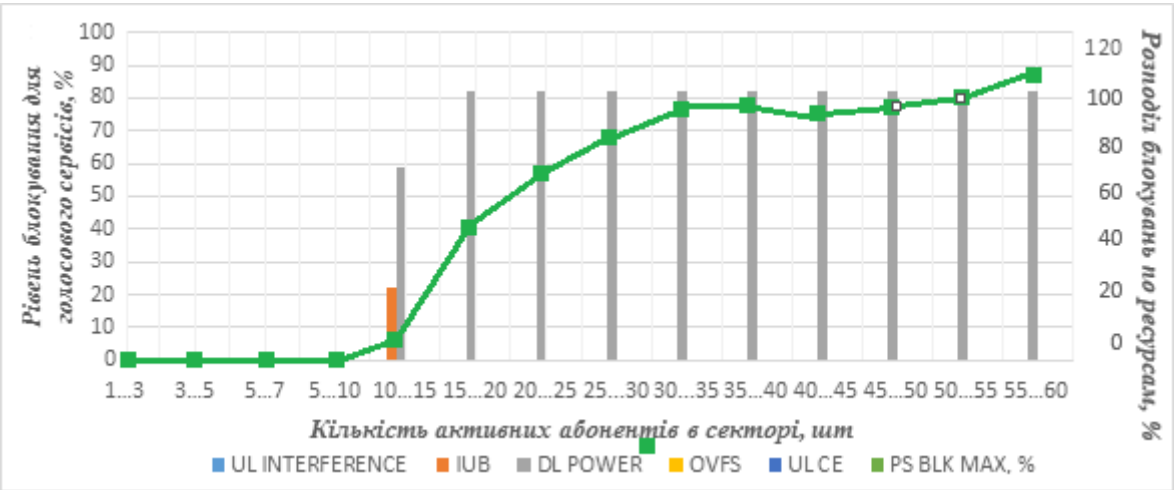


Рис. 2.21 Залежність рівня блокувань для голосових абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми з обмеженням по СЕ

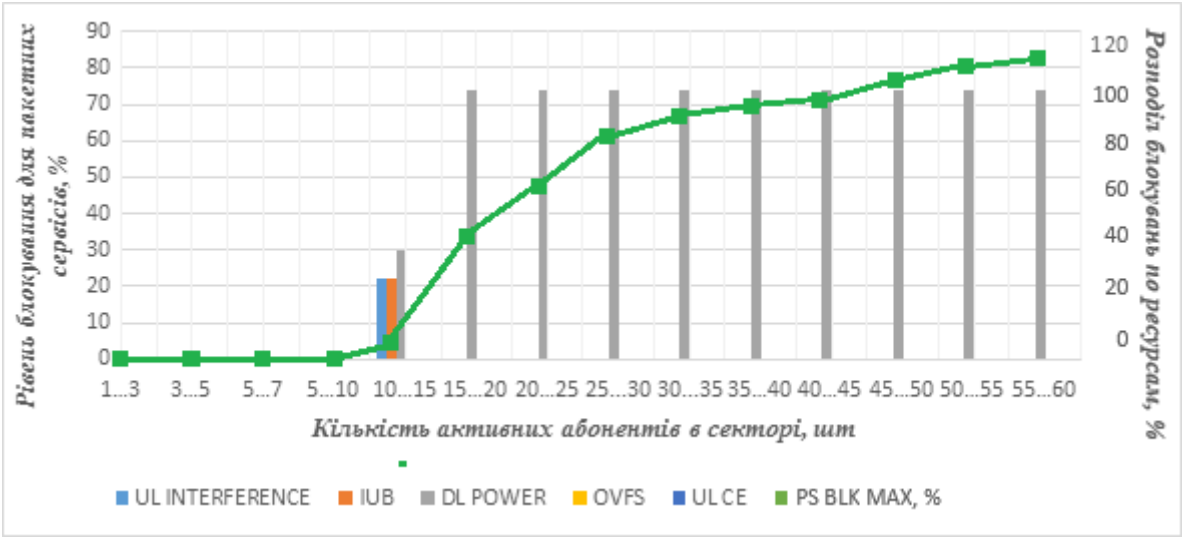


Рис. 2.22 Залежність рівня блокувань для пакетних абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми з обмеженням по CE

Для такого прикладу некоректної конфігурації обмежимо пропускну здатність інтерфейсу Iub до 2xE1. Результати імітаційного моделювання представлені на рис. 2.23 – 2.24.

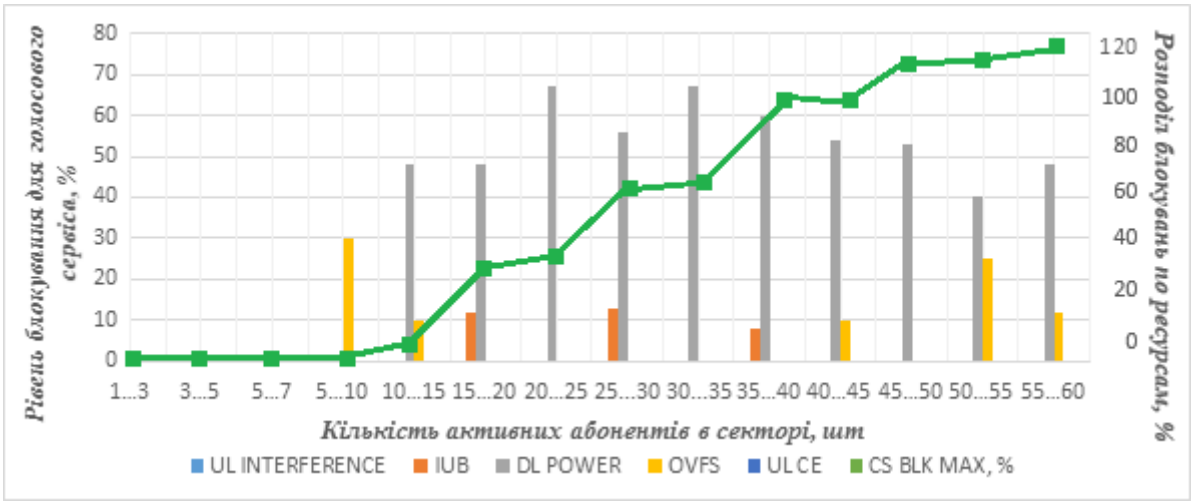


Рис. 2.23 Залежність рівня блокувань для голосових абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсів радіопідсистеми з обмеженням по Iub

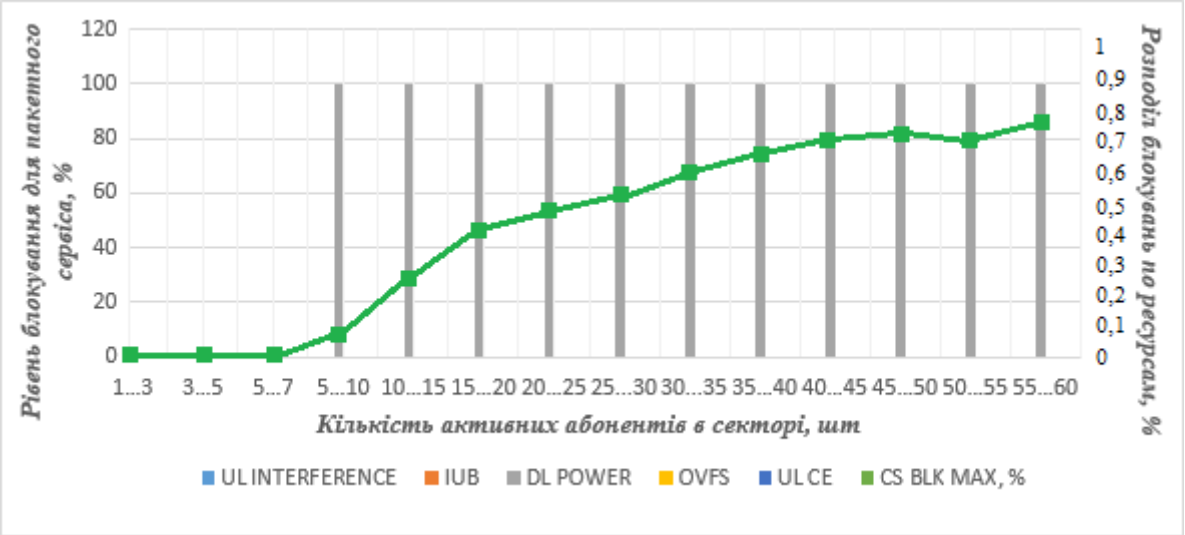


Рис. 2.24 Залежність рівня блокувань для пакетних абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсам радіопідсистеми з обмеженням по Iub

З графіків рівнів блокувань і розподілу блокувань між ресурсами радіопідсистеми можна зробити висновок про те, що некоректна конфігурація ресурсів може привести до погіршення якості послуг, що надаються і більш інтенсивного розподілу ресурсів.

Наприклад, обмеження по кількості виділених кодів для пулу HSDPA може відбитися на утилізації інтерфейсу Iub, який часто є одним з найбільш проблемних ресурсів, що вимагають істотних фінансових витрат.

З іншого боку, кількість-кодів SF = 16 також обмежується ліцензійно. Таким чином, невідповідність конфігурацій ресурсів радіопідсистеми може призводити не тільки до деградації якості послуг, що надаються, а й до фінансових втрат.

Представлена методика розрахунку і імітаційного моделювання утилізації ресурсів радіопідсистеми може бути корисна як на етапі планування радіопідсистеми WCDMA для отримання оптимальних конфігурацій при наявності проблемних ресурсів, так і на етапі експлуатації для виявлення проблемних ресурсів.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПАПАРАМЕТРІВ І РЕСУРСАМИ РАДІОПІДСИСТЕМИ WCDMA

3.1 Показники якості обслуговування абонентів і завантаження ресурсів радіопідсистеми

У зв'язку з ростом навантаження в мережі 3G і обмеженістю ресурсів радіопідсистеми необхідний постійний моніторинг якості послуг, що надаються. Відповідно до існуючих ресурсів радіопідсистеми можна виділити наступні типи блокувань, за якими необхідно здійснювати контроль:

- блокування по обмеженню навантаження в зворотному каналі WCDMA;
- блокування за ліцензіями канальних елементів в прямому і зворотньому каналах;
- блокування по продуктивності обладнання;
- блокування за кодами OVSF;
- блокування по нестачі ширини каналу інтерфейсу Iub;

Для контролю якості послуг, що надаються необхідні додаткові показники роботи мережі:

- використання потужності в прямому каналі абонентами WCDMA;
- обсяг переданих пакетних даних;
- кількість обривів голосових і пакетних сесій;
- кількість міжсистемних естафетних передач з мережі 3G в мережу 2G для голосових і пакетних з'єднань;
- рівень інтерференції в секторах.

Основні показники якості роботи мережі WCDMA KPI утворюються шляхом застосування найпростіших математичних операцій над базовою статистичною інформацією, яка збирається в Moc1eB і пересилається в систему управління радіопідсистеми. У системі управління радіопідсистеми (СУ UTRAN) у всіх провідних виробників є можливість створення KPI за формулами.

Розглянемо докладніше основні KPI, необхідні для контролю якості

Для формування індикаторів, за якими буде прийматися рішення про зміну параметрів радіопідсистеми, крім блокувань по ресурсам радіопідсистеми оцінюється статистика по середньої потужності БС в прямому каналі, обсяг переданих пакетних даних окремо для абонентів WCDMA і HSDPA/HSUPA, кількість обривів для голосових і пакетних з'єднань, кількість естафетних передач для голосових і пакетних абонентів, середній рівень RTWP в секторі.

Приклади розрахунку рівня блокувань і обривів показані, наприклад, для потужнісного ресурсу в прямому каналі і описуються формулами у другому розділі. Блокування по ресурсам радіопідсистеми є частиною статистики, що відбиває доступність мережі для абонентів, а обриви - цілісність з'єднань.

Абонентське навантаження крім постійного зростання, яке можна передбачити, користуючись довгостроковою статистикою і побудовою на її основі тренда, має і випадковий характер, який особливо помітний не в цілому по мережі, а для конкретних разових станцій. Такий випадковий процес може бути пов'язаний з масовими скупченнями абонентів в зв'язку з проведенням різних заходів. Крім того, в мережі спостерігаються коливання трафіку пов'язані з сезонними особливостями. У зв'язку з цим контроль якості що надаються абонентам сервісів необхідно здійснювати в режимі, наближеному до реального часу. Можливість створення індикаторів або аварійних подій передбачається в системах управління радіомережею у більшості виробників. Пропоновані аварійні події, засновані на статистичних даних. Нижче наведено приклад умов активації і деактивації аварійної події, що свідчить про перевищення допустимого порогу по блокуванням по причині обмеження навантаження в зворотньому каналі.

Аварійна подія «високий рівень блокувань по інтерференції в UL» Умова активації аварійної події:

$$\langle CSS_RRRRRR_RRBBBB_UUBB_IIIIII >= BB_{CCCC_UUUU_IIIII} \| \| PPSS_RRRRRR_RRBBBB_UUBB_IIIIII >= BB_{PPCC_UUUU_IIIII} \rangle \quad (3.1)$$

В (3.1) $K_{CS_UL_INT}$ і $K_{PS_UL_INT}$

Умова деактивації аварійної події:

$$(CS_RAB_BLK_UL_INT < (K_{CS_{UU_INT}} * H_{CS_{UU_INT}})\&\&PS_RAB_BLK_UL_INT < (KPS_UL_INT * HPS_UL_INT)) \quad (3.2)$$

Окремо розглянемо аварійні події, пов'язані з перевищенням допустимого порогу по урвищах активних сполук для голосового та пакетного трафіку. На відміну від блокувань, які виникають у разі перевантажень на базових станціях, що само собою передбачає наявність великого обсягу трафіку, аварійні події, пов'язані з обривами, необхідно доповнювати обсягами трафіку.

Наприклад, на слабо завантаженій соті може статися єдиний обрив, який не повинен викликати аварійну подію, незважаючи на те, що рівень обривів в процентному співвідношенні може бути досить великий.

Аварійна подія «Високий рівень обривів по голосовим або пакетним з'єднанням » Умова активації аварійної події:

$$\{(DCR_CS >= K_{CS}\&\&CS_RAB_ATT >= N_{CS})||(DCR_{PS} >= K_{PS}\&\&PS_RAB_ATT >= N_{CPS})\} \quad (3.3)$$

В (3. 3) K_{CS} і K_{PS} - пороги за рівнем обривів у відсотках, N_{CS} і N_{PS} - пороги за кількістю спроб встановлення голосових і пакетних з'єднань.

Умова деактивації аварійної події:

$$\{DCR_{CS} < (K_{CS} * H_{CS})\&DCR_PS < (K_{PS} * H_{PS})\} \quad (3.4)$$

де H_{CS} і H_{PS} - гістерезис для усунення аварійної події для голосових і пакетних з'єднань.

Необхідно виділити аварійну подію, пов'язану з високим рівнем інтерференції в секторі. Як зазначалося раніше, інтерференція може носити внутрішньосистемний і позасистемний характер. Внутрішньосистемна інтерференція, як правило, характеризує навантаження в мережі, в той час як позасистемна інтерференція говорить про наявність зовнішньої перешкоди. Аварійну подію, створену на базі статистичних даних, направлено на виявлення позасистемної інтерференції. Відповідно з цим вибирається поріг спрацьовування

аварійної події. Аналіз внутрісистемної інтерференції проводиться окремо від аварійних подій.

Аварійна подія «високий рівень інтерференції» Умова активації аварійної події:

$$\{RTRRP_LEV >= RTRRP_MA\text{MM}\} \quad (3.5)$$

В (3.5) RTWP_MAX - поріг для спрацьовування аварійної події.

Умова деактивації аварійної події:

$$\{RTRRP_LEV < RTRRP_MA\text{MM}\} \quad (3.6)$$

де H_{RTWP} - гістерезис, який за замовчуванням дорівнює 1.

Статистика за кількістю міжсистемних естафетних передач для голосових і пакетних з'єднань і по використанню потужності базової станції абонентами WCDMA застосовується для додаткового аналізу і не використовується в умовах генерації аварійних подій.

З формул (3.1) - (3.6) і Додатка 1 видно, що для кожного типу блокувань по радіоресурсу можливе застосування індивідуальних порогів для активації аварійних подій. Дані пороги вибираються оператором виходячи з власної політики. В роботі прийнято, що

$$K_{CS_UL_CE} = K_{CS_DL_CE} = K_{CS_H\text{W}} = K_{CS_00VSF} = K_{PS_IUB} = K_{CS_UL_INT} \quad (3.7)$$

і

$$K_{PS_UL_CE} = K_{PS_DL_CE} = K_{PS_H\text{W}} = K_{PS_00VSF} = K_{PS_IUB} = K_{PS_UL_INT} \quad (3.8)$$

Аналогічні умови застосовуються до гістеризам:

$$H_{CS_UL_CE} = H_{CS_DL_CE} = H_{CS_H\text{W}} = H_{CS_00VSF} = H_{CS_IUB} = K_{CS_UL_INT} \quad (3.9)$$

і

$$H_{CPS_UL_CE} = H_{PS_DL_CE} = H_{PS_H\text{W}} = H_{PS_00VSF} = H_{PS_IUB} = K_{PS_UL_INT} \quad (3.10)$$

Слід зазначити, що порогові значення для блокувань по голосовим і пакетним з'єднанням не рівні. Як правило, для пакетних з'єднань допускаються більш високий рівень блокувань. Граничні значення для генерації аварійних подій по урвищах голосових і пакетних з'єднань вибираються окремо у відповідності зі стратегією оператора. Поріг по рівню інтерференції вибирається з таких міркувань,

щоб аварій не було занадто багато. Позасистемну інтерференцію характеризують високі рівні перешкод, тому вибираючи поріг, слід орієнтуватися на значення > -95 дБм / 5МГц.

3.2 Пропозиція по реалізації системи обробки статистичних аварійних подій

Наведений список аварійних подій може доповнюватися оператором по мірі необхідності. Статистичні дані, на основі яких генеруються аварійні події, можуть мати різні періоди вимірювань. В залежності від виробника обладнання періоди вимірювання складають від 5 хвилин до однієї доби. У тому випадку, коли період вимірювання статистичних даних становить 5 хвилин, статистичні аварійні події будуть найбільш оперативно надавати інформацію про перевантаження і погіршення якості обслуговування в радіопідсистемі. Однак при використанні короткого періоду вимірювань виникає обмеження, пов'язане з продуктивністю сервера системи керування радіомережею.

При збільшенні кількості статистичних аварій і використанні короткого періоду вимірювань підвищується ймовірність перевантаження сервера системи управління радіопідсистеми. Крім того, для п'ятихвилинних вимірювань висока ймовірність помилкового спрацьовування аварій, які будуть пов'язані з короткочасними сплесками обривів або блокувань.

Обмеження по продуктивності сервера системи управління радіомережею не є єдиним. У тому випадку, коли мережа стільникового зв'язку складається з обладнання різних виробників, дані аварійні події доводиться створювати окремо в кожній системі управління. Тоді зростає кількість джерел аварійних подій, а отже і загальна кількість подій.

У зв'язку з зазначеними обмеженнями доцільне використання зовнішнього середовища для генерації аварійних подій, яка буде, уніфікованим програмним комплексом збору і відображення статистичних аварійних подій, пов'язаних зі зниженням якості що надаються абонентам послуг.

Пропонована схема представлена на рис. 3.1. Система управління радіомережею (поставляється виробником обладнання) після закінчення періоду збору статистики зберігає значення всіх лічильників на сервері.

Після цього зовнішній сервер підключається до сервера системи управління радіомережею і по протоколу FTP (File Transfer Protocol, протокол передачі файлів) забирає свіжі статистичні дані, зберігаючи їх на своєму диску.

Реалізація такої схеми дозволяє також забезпечити довгострокове зберігання статистичних даних, так як сервер керування радіомережею для цього не передбачений. Тривалість зберігання статистики на сервері управління виробника обмежена.

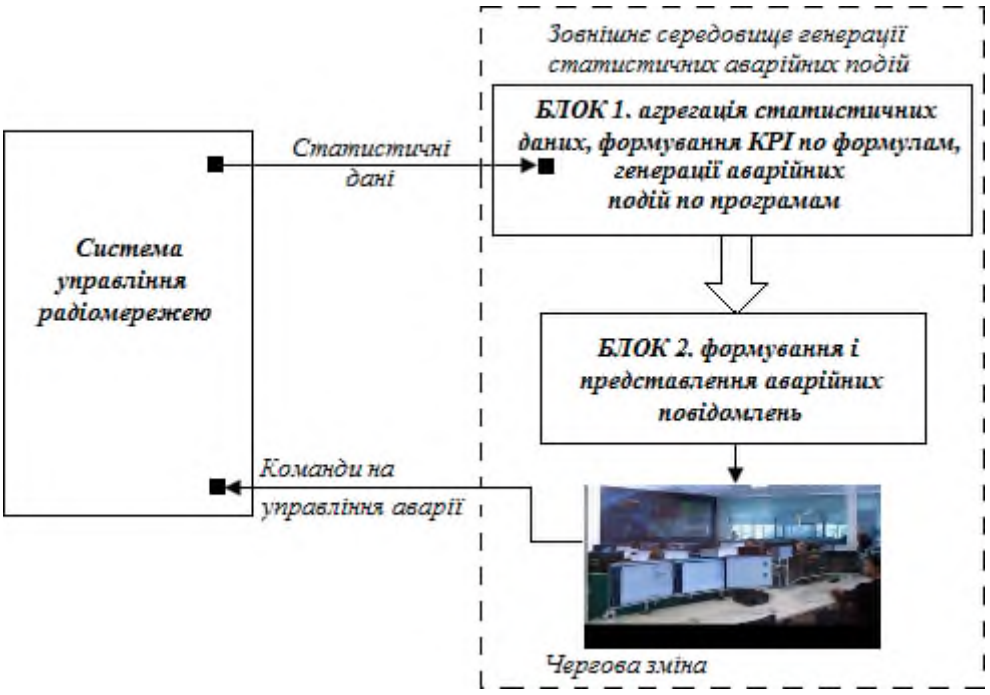


Рис. 3.1 Блок-схема реалізації зовнішнього ПК моніторингу аварійних подій за якістю

Блок 1 розраховує KPI, які беруть участь у формуванні аварійних подій за якістю. За попередньо заданих формулах і порогам формуються аварійні події. Блок 1 являє собою базу даних, звернення до якої відбувається за допомогою SQL (Structured Query Language, мова управління базами даних) команд за заздалегідь написаним процедурам. Зовнішня система дозволяє агрегувати дані від обладнання

різних виробників. Ці дані зберігаються в різних таблицях, до них можна застосовувати різні формули і пороги.

В результаті оператор отримує єдину систему моніторингу аварійних подій за якістю послуг в мережі, яка не обмежена кількістю аварійних подій. Блок 2 є програмним середовищем, в завдання якої входить відображення аварійних подій з їх ранжуванням по критичності.

Наприклад, можливе створення аварійної події з обмеження навантаження в зворотньому каналі і три порога по блокуванням. Перший поріг буде самим низьким і критичність аварії буде невеликий - Minor. перевищення другого порога переведе аварійна подія в більш високий статус критичності Major. Перевищення третього порога означає поява аварійної події зі статусом Critical. Даний блок реалізований на базі середовища HP Open View.

Зовнішній вигляд середовища зі сформованими аварійними подіями представлений на рис. 3.2 [20].

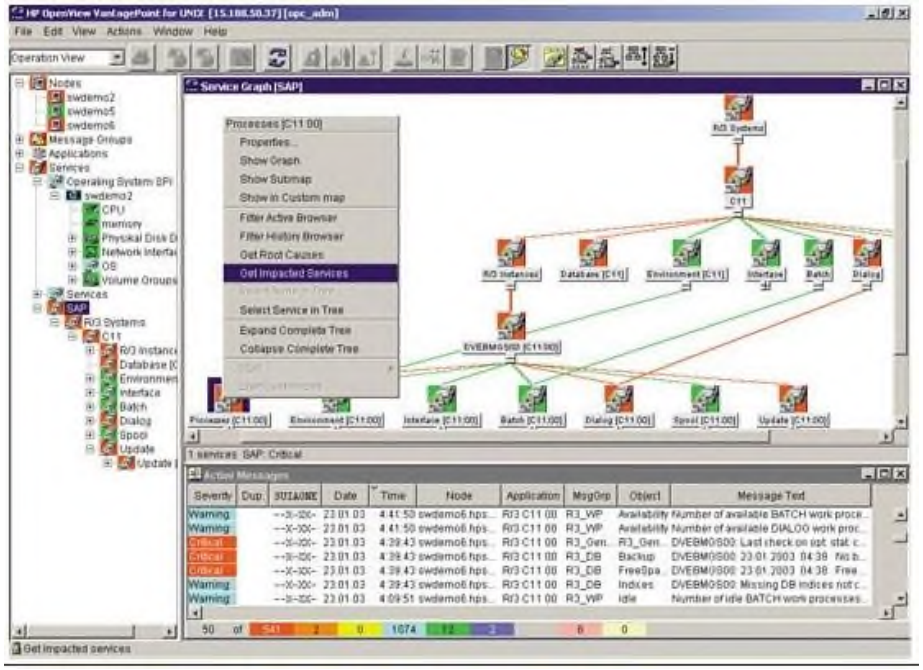


Рис. 3.2 Приклад відображення аварійних подій за якістю

Аварійні події з присвоєним їм статусом в доступному і зручному для моніторингу вигляді пересилаються на програму - клієнт, встановлену на персональному комп'ютері чергової зміни. Далі, в залежності від статусу аварійної

події інженерами чергової зміни застосовуються заходи для усунення аварійної події. Для зручності усунення в тілі аварійної події відображаються наступні дані: назва стільника, номер стільника, рівень блокувань, рівень обривів, рівень інтерференції, час виникнення аварійної події.

У запропонованій схемі є істотний недолік. Чим менше період вимірювань статистичних даних, тим швидше відбудеться генерація аварійних подій. Підвищується оперативність прийняття заходів для усунення причин погіршення якості сервісів, однак усунення аварійних подій вимагає великих людських ресурсів.

3.3 Реалізація програмного комплексу автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми

Для того щоб усунення аварійних подій могло відбуватися в автоматичному режимі і найбільш оперативно, в блок-схемі, представленої на рис.3.3 додані нові функціональні елементи. Блок-схема з новими функціональними елементами представлена на рис.3.3 [21].

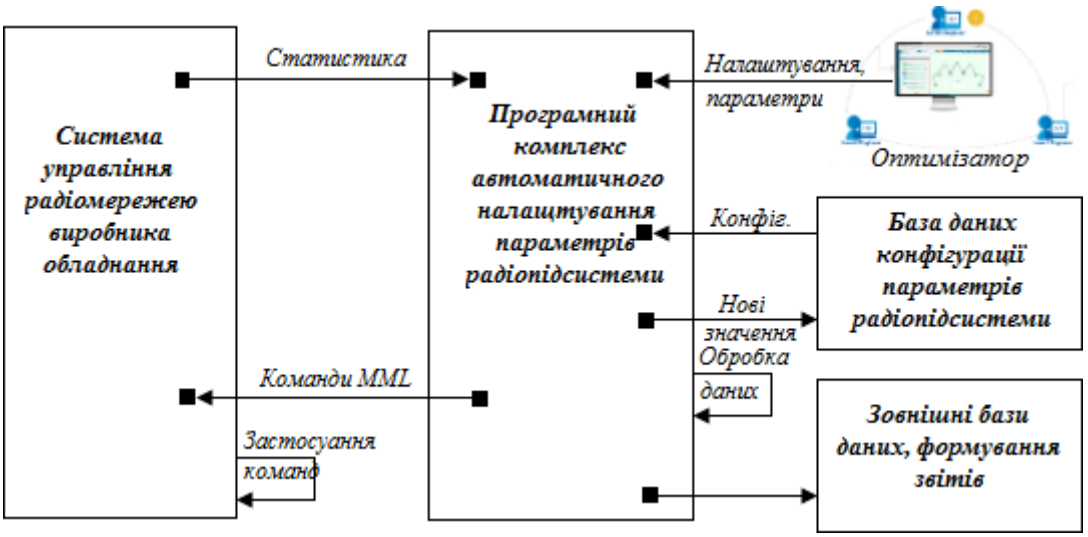


Рис. 3.3 Блок-схема реалізації ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми

Основним блоком на рис. 3.3 є сам програмний комплекс (ПК).

Система керування радіомережею виробника устаткування після закінчення чергового періоду збору статистичних даних пересилає їх на сервер ПК. Оптимізатор може задавати різні пороги генерації аварій і формувати умови активації аварійних подій за якістю. База даних конфігурації радіопідсистеми зберігає в собі всі параметри радіопідсистеми: обмеження по навантаженню в зворотньому каналі, пропускну здатність каналу інтерфейсу Iub, кодовий розподіл між HSDPA і WCDMA, кількість канальних елементів в прямому і зворотньому каналах і т.д. ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми агрегує дані статистики і конфігурації і на основі описаних математичних алгоритмів автоматично генерує нові значення параметрів радіопідсистеми. Вони записуються в базу даних конфігурації параметрів радіопідсистеми і відправляються в мережу за допомогою MML команд.

Додатковою функцією програмного комплексу є формування звітності, яка необхідна для прийняття рішень про фізичне розширення базових станцій: додавання процессорной ємності, розширення каналу Iub (в тому випадку, якщо застосовується технологія ATOMwerE1).

Слід зазначити, що в даній блок-схемі відсутній блок, пов'язаний з відображенням аварійних ситуацій і немає необхідності в участі чергового інженера. Всі оперативні заходи ПК виконує в автоматичному режимі.

Розглянемо докладніше архітектуру ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми. Архітектура заснована на модульному принципі і показана на рис. 3.4.

Основним модулем ПК є модуль розрахунку параметрів. Його функцією є розрахунок нових параметрів радіопідсистеми на підставі даних, отриманих з допоміжних модулів програмного комплексу, налаштувань і реалізованих математичних алгоритмів.

Основним модулем ПК є модуль розрахунку параметрів. Його функцією є розрахунок нових параметрів радіопідсистеми на підставі даних, отриманих з допоміжних модулів програмного комплексу, налаштувань і реалізованих математичних алгоритмів.

Модуль статистики забезпечує зберігання статистичних даних, необхідних для функціонування модуля розрахунку параметрів, попереднє оброблення статистичних даних, очищення невикористовуваних статистичних даних.

Модуль конфігурації служить для зберігання конфігураційних даних, попереднє оброблення цих даних і їх очищення в тому випадку, якщо вони втрачають актуальність. Конфігураційні дані завантажуються з відповідною бази даних.

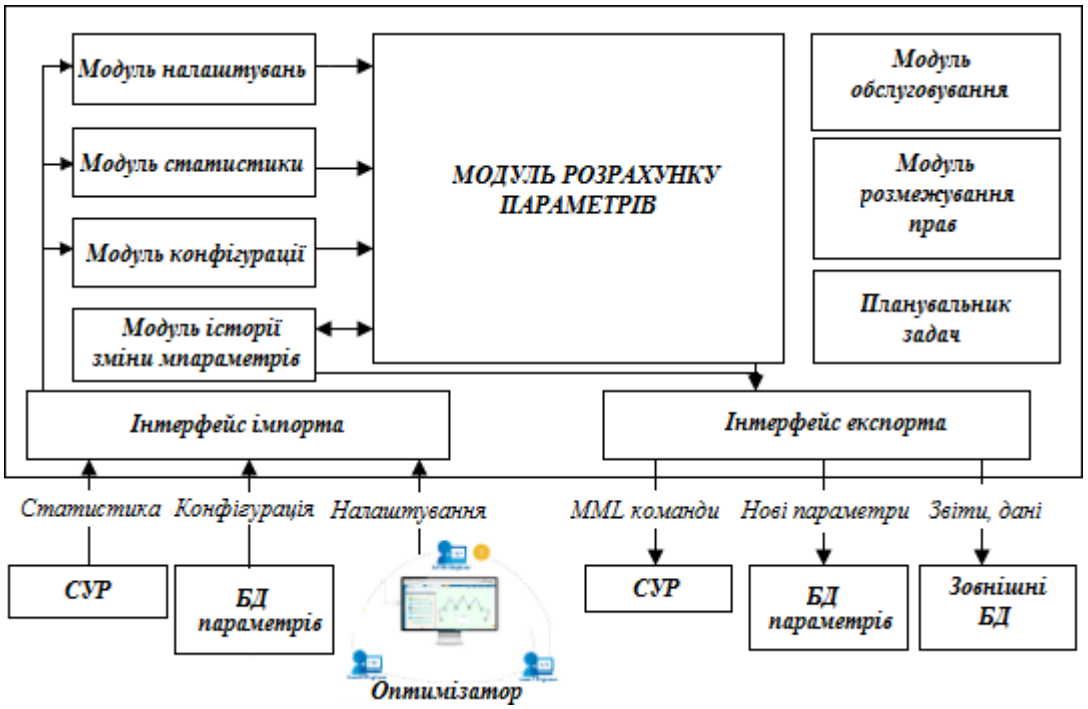


Рис. 3.4 Модульна структура ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми

Модуль історії зміни параметрів забезпечує зберігання історії зміни параметрів, сформованих модулем розрахунку параметрів.

Модуль «Планувальник завдань» забезпечує запуск завдань модулів: розрахунку параметрів; статистики; конфігурації; налаштувань; історії зміни параметрів; інтерфейсів імпорту; інтерфейсів експорту.

Основними завданнями модуля є формування черги завдань, запуск завдань на виконання, контроль стану виконання завдань, переривання виконання завдань.

Інтерфейси імпорту забезпечують завантаження в ПК статистичних та конфігураційних даних, а так само налаштувань. До складу інтерфейсів імпорту входять модулі завантаження статистичних даних і завантаження конфігурації.

Інтерфейси експорту забезпечують вивантаження з ПК сформованих MML нових значень для бази даних конфігурації параметрів радіопідсистеми і звітів для зовнішніх систем. До складу інтерфейсів експорту входять модулі формування MML команд і вивантаження параметрів радіопідсистеми.

Функціями модуля налаштувань є:

- зберігання вхідних параметрів, використовуваних в алгоритмах модуля розрахунку параметрів;

- зберігання різних обмежень і винятків, які використовуються в алгоритмах модуля розрахунку параметрів;

- зберігання налаштувань роботи модулів ПК;

- зберігання правил генерування аварійних подій радіопідсистеми.

Налаштування завантажуються з зовнішніх систем або вводяться користувачем в інтерфейси налаштування ПК.

Модуль обслуговування забезпечує отримання інформації про проблеми в роботі ПК, ранжування проблем за рівнями критичності і їх відображення в зручному інтерфейсі. На підставі даних про виконання завдань модулями ПК, він формує:

- інтегральний показник працездатності ПК;

- при критичних збоях формує розсилку попереджень.

Модуль розмежування прав забезпечує розмежування прав користувачів на зміну налаштувань ПК і отримання доступу до звітів.

Для автоматичного усунення блокувань за допомогою ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми в модулі розрахунків параметрів необхідно створити алгоритми, які в залежності від типу і величини блокувань а також встановлених параметрів в мережі будуть формувати нові параметри, які за допомогою допоміжних модулів будуть завантажуватися в мережу.

Слід зазначити, що роботу ПК автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми умовно можна розділити на дві частини: оперативну та довгострокове налаштування параметрів. Оперативне налаштування включає в себе дії, спрямовані на усунення блокувань в режимі, наближеному до реального часу. Довгострокове налаштування включає в себе аналіз статистичних даних за період більше доби (як правило, від декількох діб до декількох тижнів) і вироблені рекомендацій з фізичного розширення обладнання або зміни параметрів радіопідсистеми.

Розглянемо тимчасові співвідношення для оперативного налаштування для двох варіантів. Варіанти різняться тривалістю періоду збору статистики. У першому випадку він дорівнює одній годині, у другому п'ятнадцяти хвилинам. На рис. 3.5 показані тимчасові діаграми сумарного часу реакції алгоритму на виникаючі аварійні події. З малюнка видно, що в порівнянні з вартовими вимірами, п'ятнадцятихвилинні дозволяють скоротити час реакції на виникаючі проблеми з блокуваннями в радіо підсистемі з двох годин до сорока п'яти хвилин в зв'язку зі зменшенням часу обробки інформації за менший період. Різниця в часі в загальному випадку зросте і за рахунок того, що проблема з блокуваннями може початися в будь-який момент періоду вимірювань. Таймаут 1 пов'язаний з запасом на формування файлів статистики в СУ UTRAN після їх збору з мережевих елементів, а таймаут 2 є запасом по часу, який необхідний для пересилання команд в СУ UTRAN і настройками планувальника.

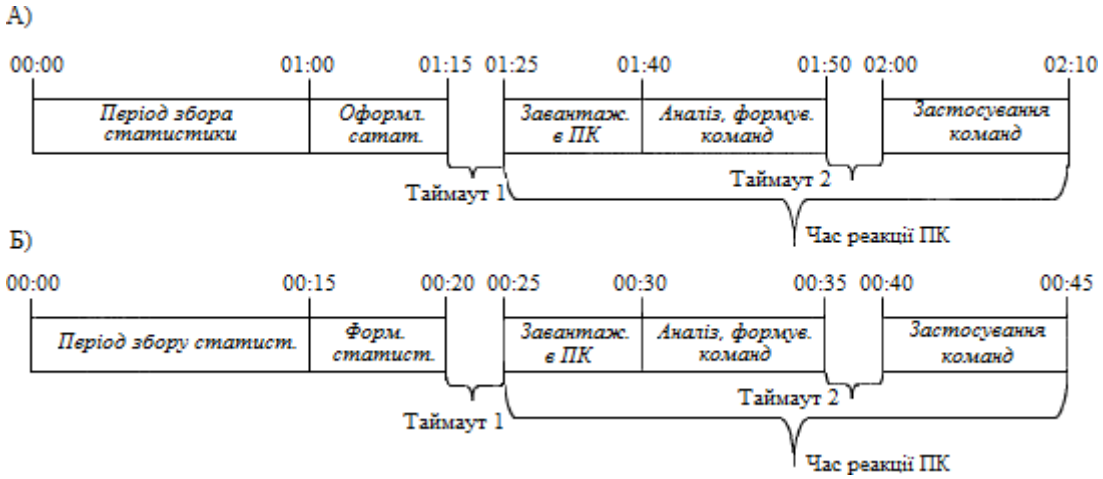


Рис. 3.5 Тимчасові діаграми розрахунку часу реакції ПК на аварійні події

Розглянемо дані алгоритми на прикладі ресурсів по інтерференції в зворотньому каналі і пропускної здатності інтерфейсу Iub. Представлені алгоритми реалізовані для мережі WCDMA HSDPA компанії Huawei. Для радіоподсістем інших виробників алгоритми будуть відрізнятися не тільки синтаксисом MML команд, а й назвами параметрів.

Рівень інтерференції в зворотньому каналі. Як вже зазначалося раніше, оцінка навантаження в зворотньому каналі проводиться за кількістю активних абонентів в секторі за умови, що заздалегідь відомі навантажувальні коефіцієнти від кожного типу абонента по сервісу. Оцінка за рівнем RTWP може привести до небажаного ефекту, коли зовнішня інтерференція, що збільшує рівень RTWP, може бути розцінена RNC як корисне навантаження.

Оцінка навантаження проводиться по еквівалентним абонентам EUN, число яких розраховується як

$$EUN = \frac{N_{\text{CS}}*y_{CS}+N_{PS_{64}}*y_{PS_{64}}+N_{PS128}*y_{PS_{128}}+\cdots+N_{HSDP\text{A}}*y_{HSUP\text{A}}}{y_{CS}} \quad (3.11)$$

В (3.11) N_{CS}, N_{PS_64}, N_{PS_128}…N_{HSUPA} - кількість абонентів з різними типами сервісів. Коефіцієнти $ⅿ_{CS}$, $ⅿ_{PS_64}$, $ⅿ_{PS_128}$…$ⅿ_{HSUPHH}$– навантажувальні коефіцієнти для одного абонента за різними типами сервісів. Тоді кількість еквівалентних абонентів розраховується як відношення сумарного навантаження від усіх активних абонентів в секторі до навантаження, створюваної одним голосовим абонентом.

За замовчуванням навантаження в зворотньому каналі сектора мережі WCDMA обмежена шляхом встановлення максимальної кількості еквівалентних абонентів, яке може отримати доступ до сервісів. при збільшенні навантаження обмеження може викликати блокування для абонентів при спробі встановлення нового з'єднання. Для усунення блокувань досить збільшити максимальну дозволену кількість еквівалентних абонентів, тобто збільшити допустиме

навантаження в секторі. Алгоритм управління абонентським навантаженням в зворотньому каналі у вигляді блок-схеми представлений на рис. 3.6.

Весь алгоритм розділений на три частини: перша частина відповідає за оперативне усунення блокувань по навантаженню в зворотньому каналі, друга частина служить для формування звітів. Третя частина алгоритму є прикладом довгострокового налаштування, яке може виконуватися в автоматичному режимі тільки частково і потребує аналізу з боку оптимізатора мережі.

Блок 1.1 алгоритму розташований відразу в декількох модулях ПК. Формула для формування аварійних подій розташовується в модулі налаштувань, статистика підвантажується з однойменного модуля. Блок 1.2 відповідає модулю конфігурації. Блок 1.3 є модулем розрахунку параметрів.

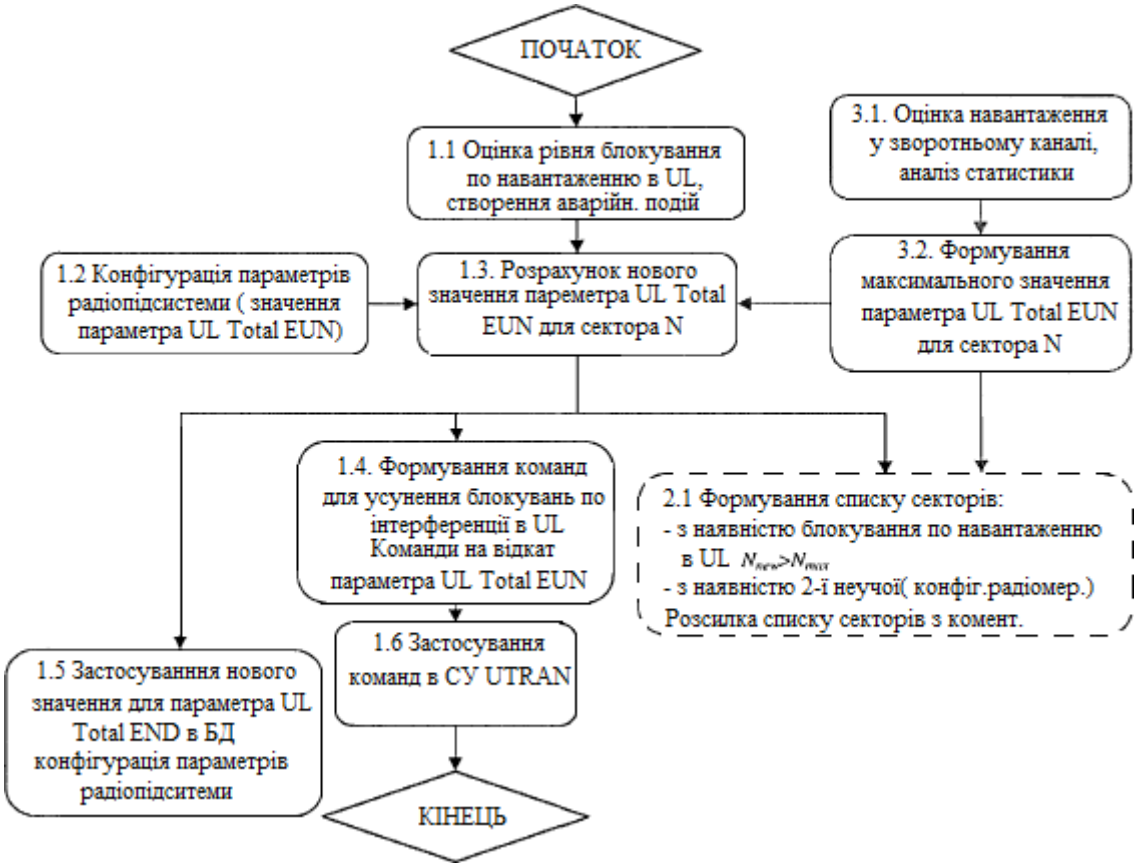


Рис. 3.6 Блок - схема алгоритму автоматичного усунення блокувань по навантаженню в UL

Формування команд в блоці 1.4 відповідає модулю формування MML команд інтерфейсів експорту ПК. Блок 1.5 також розташовується в інтерфейсі експорту і

відноситься до модулю вивантаження параметрів радіопідсистеми. Розглянемо алгоритм, за яким працює блок розрахунку параметрів радіопідсистеми.

Нове значення параметра EUN розраховується для стільника мережі WCDMA в тому випадку, якщо виконується умова для активації аварійної події, пов'язаного з блокуваннями по навантаженню в зворотньому каналі. Алгоритм вибирає максимальне значення блокувань за попередній період вимірювання для голосового або пакетного сервісів:

$$BLK = \{MA\text{MM}CS_RAB_BLK_UL_INT, PS_RAB_BLK_UL_INT\} \quad (3.12)$$

Нове значення параметра EUN розраховується як:

$$EUN_{NE\text{W}} = EUN_{N0\text{0W}} + EUN_{N0\text{0W}} * BLK_{UL_INT_MA\text{MM}} \quad (3.13)$$

В (3.13) EUN_{NOW} - поточний параметр EUN в соте, EUN_{NEW} – нове розраховане значення параметра. Нове значення параметра EUN не має перевищувати максимального, яке відповідає 100% навантаженні в секторі.

Блок 1.3 також відповідає за відкат параметра в початкове значення в тому випадку, якщо блокування були викликані разовим збільшенням абонентської навантаження. Дана дія необхідно для контролю за значеннями параметра EUN які встановлені в мережі для усунення блокувань і для подальшого застосування в алгоритмі довгостроковій налаштування параметрів.

Необхідне значення параметра EUN розраховується на основі статистики по утилізації даного ресурсу, що визначається лічильником EUN_{UTIL}. Для визначення нового значення параметра, знаходиться максимальне значення лічильника за попередню добу. Також можлива вибірка значення лічильника за годину найбільшого навантаження (ГНН) в соті, який визначається за обсягом переданого трафіку. Треба зауважити, що голосовий і пакетний ГНН не збігаються, тому перший варіант найбільш точно визначать необхідне значення параметра

$$EUN_{NE\text{W}} = MA\text{MM}\blacklozenge EUN_{UTIL_H0\text{0}UR}\blacklozenge * HYST \quad (3.14)$$

В (3.14) E_{UNUTIL_HOUR} - годинні значення необхідної кількості еквівалентних абонентів в секторі а HYST - гістерезис, який по замовчуванням дорівнює одиниці але може бути змінений для того, щоб уникнути повторного появи блокувань.

Тоді умови зменшення параметра EUN можна уявити в наступному вигляді:

$$EUN_{MAMM} > EUN_{NOOW}$$
$$MAMM\{CS_RAB_BLK_UL_INT, PS_RAB_BLK_UL_INT\} < BLK_{th} \quad (3.15)$$

Третя частина алгоритму, пов'язана з довгостроковим налаштуванням параметрів, визначає максимальне значення UL EUN в мережі. Як уже зазначалося раніше, визначення порогу по максимальному навантаженні в зворотньому каналі відбувається в напівавтоматичному режимі, оскільки алгоритм його визначення досить складний. Необхідність визначення максимально допустимого навантаження пояснюється ефектом «дихання» стільника, який був детально розглянуто та проаналізовано в розділі 2. При збільшенні навантаження в секторі радіус зони обслуговування зменшується, що призводить до того, що частина абонентів, що знаходяться ближче до кордону сектора, може перейти в зону обслуговування мережі 2G, зробивши міжсистемну естафетну передачу, або повністю втратити мережу. Особливо негативно даний ефект впливає на абонентів, що використовують високошвидкісну передачу даних HSDPA, оскільки при естафетній передачі в мережу 2G швидкість передачі даних значно знижується. В результаті оператор втрачає частину абонентів в мережі 3G, тобто втрачає трафік і виручку.

Для мінімізації даного ефекту необхідно обмежувати навантаження в сотах в зворотньому каналі. За статистичними даними можна оцінювати навантаження в соті і додаткові показники, такі як кількість естафетних передач в мережу 2G для абонентів HSDPA, значення рівня RTWP, обсяг переданих даних. Корисною інформацією може бути і середній рівень сигналу, що приймається базовою станцією від всіх абонентів, проте дана інформація рідко доступна в статистичних даних і її можна отримати з трейсу сигнальних повідомлень в радіопідсистемі. Через великий обсяг даних отримання цієї інформації проблематичне.

Одним з варіантів обмеження навантаження є вибір максимального навантаження в зворотньому каналі для всіх секторів мережі однакового. Цей метод не є оптимальним, оскільки абоненти розташовуються в зоні обслуговування випадковим чином і, якщо для одного стільника критичним навантаженням буде величина 70%, то в інший соті, в якій всі абоненти перебувають в безпосередній

близькості до базової станції, максимальне навантаження може бути дорівнює 90%. Для вибору оптимальної максимального навантаження необхідно оцінювати додаткові статистичні показники, наприклад кількість естафетних передач в мережу 2G абонентів HSDPA. Кількість естафетних передач оцінюється не по абсолютним значенням, а віднесене до обсягу переданих пакетних даних або до кількості спроб встановлення з'єднань HSDPA.

$$H_{HSDPA_TOO_GSM} = 100 * \frac{N_{HSDPA\ NUM}}{DATA_{HSDPA}} \quad (3.16)$$

В (3.16) $H_{HSDPA_TO_GSM}$ - показник кількості естафетних передач в мережу 2G для абонентів HSDPA N_{HSDPA_NUM} віднесених до обсягу переданих даних абонентами HSDPA в мегабайтах. Грунтуючись на цьому показнику і на статистичному рівні інтерференції в секторах можна зробити висновок про вплив збільшення навантаження в секторі на покриття по зворотньому каналу.

Ресурс пропускної спроможності інтерфейсу Iub. Блокування через брак пропускної здатності каналу інтерфейсу Iub визначаються значенням гарантованої швидкості передачі даних GBR, що призначається оператором для кожної послуги. Гарантована швидкість передачі даних для голосового сервісу CS AMR 12,2 є постійною, а для пакетного трафіку, в залежності від технології доступу WCDMA і HSDPA, може відрізнятися. Значення гарантованої швидкості передачі даних є глобальним параметром і встановлюється на контролері радіомережі.

Блокування виникають в тому випадку, коли сумарна смуга для всіх активних абонентів, що обслуговуються базовою станцією, перевищує фізичну смугу каналу інтерфейсу Iub:

$$T_{all} = T_{CS} * N_{CS} + T_{PS64} * N_{PS64} + T_{PS144} * N_{PS144} + T_{PS384} * N_{PS384} + \\ + T_{HSDPA} * N_{HSDPA} \quad (3.17)$$

В (3.17) T - смуга пропускна, виділена в каналі інтерфейсу Iub для даної послуги, N - кількість активних абонентів з даною послугою, обслуговуються даної базової станцією.

Слід помітити, що для пакетних сервісів WCDMA в загальному випадку можна встановлювати гарантовану швидкість передачі даних менше, ніж заявлена

на радіоканалі. Це означає, що сервіс PS 384 кбіт/с на радіоканалі може мати гарантовану швидкість передачі даних рівну 64 кбіт/с. В окремому випадку, розглянутому в роботі, сервіси WCDMA мають гарантовану швидкість передачі даних, рівну заявленої швидкості. Тому даний параметр цікавий, саме для абонентів HSDPA.

Таким чином, оскільки кількість абонентів HSDPA сильно перевершує кількість абонентів WCDMA.

Гарантована швидкість передачі даних для сервісів є глобальним параметром, оскільки саме контролер радіомережі, а не базова станція, оцінює навантаження ресурсів і приймає рішення про те, що поточний ресурс і абонентська навантаження не дозволяють обслуговувати нових абонентів. Для того щоб усунути блокування на базовій станції через брак пропускної здатності каналу інтерфейсу Iub в радіопідсистеми UTARN Huawei передбачений параметр, що характеризує абонентську активність. Даний параметр називається active factor (Коефіцієнт активності) і може бути встановлений для кожної базової станції індивідуально. Коефіцієнт активності може встановлюватися для кожного типу доступу.

У тому випадку, коли в каналі інтерфейсу Iub виникають перевантаження, зміна коефіцієнта активності для абонентів з пакетними сервісами є тимчасовим заходом для усунення блокувань. Перепишемо формулу з урахуванням коефіцієнта активності:

$$T_{all} = T_{CS} * N_{CS} * K_{CS} + (T_{PS64} * N_{PS64} + T_{PS144} * N_{PS144} + T_{PS384} * N_{PS384} + \\ + T_{HSDPA} * N_{HSDPA}) * K_{PS} \quad (3.18)$$

де K_{CS} - коефіцієнт активності голосових абонентів, K_{PS} – коефіцієнт активності пакетних абонентів.

Тоді при перевантаженнях в каналі інтерфейсу Iub, зменшуючи коефіцієнт активності пакетних абонентів, можливо усунути блокування з даного ресурсу. За замовчуванням коефіцієнт активності абонентів встановлений рівним одиниці. Необхідно враховувати, що при зменшенні коефіцієнта активності пакетних абонентів зменшується гарантована швидкість передачі даних. Коефіцієнт

активності дозволяє обслужити більшу кількість абонентів в певний момент часу, однак при цьому знижується якість обслуговування. При зміні коефіцієнт активності для пакетних абонентов- необхідно створювати звіт зі списком БС, для яких необхідно провести розширення каналу інтерфейсу Iub.

Перша частина алгоритму рис.3.7 відповідає за оперативне усунення блокувань по ресурсу інтерфейсу Iub. У блоці 1.1 відбувається оцінка рівнів блокувань по сервісах, пов'язаних з нестачею ресурсу Iub, і утилізації ресурсу.

У блоці 1.2 зберігається інформація про конфігурацію інтерфейсів Iub для всіх базових станцій в мережі і встановлені значення коефіцієнта активності пакетних абонентів K_{PS}.

У блоці 1.3 відбувається призначення нового коефіцієнта активності K_{PS} для базових станцій з блокуваннями по Iub інтерфейсу. Як такий математичний алгоритм для розрахунку нового значення K_{PS} не передбачений. В тому випадку, якщо генерується аварійна подія по блокуванню, відбувається призначення нового коефіцієнта K_{PS}, розрахованого заздалегідь. Як показано раніше, за нове значення можна приймати усереднений коефіцієнт активності пакетних абонентів, рівний 0,7. В тому випадку якщо після застосування нового значення для K_{PS} блокування все одно перевищують задану межу і генерується аварійна подія, можна додатково зменшити коефіцієнт активності. Така базова станція повинна потрапляти в список на термінове розширення каналу інтерфейсу Iub.

У блоці 1.4 відбувається формування MML команд на установку нового значення K_{PS} а в блоці 1.5 нові параметра записуються в базу даних конфігурації радіопідсистеми.

Перша частина алгоритму відповідає за повернення параметра K_{PS} в тому випадку, коли відбувається зміна конфігурації інтерфейсу Iub (фізична або логічне розширення). Аналізуючи інформацію від бази даних з конфігурацією інтерфейсів Iub і утилізації каналу, в блоці 1.3 приймається рішення про застосування початкового значення $K_{PS}=1$. Для алгоритму реалізоване повернення коефіцієнта активності абонентів при середньодобовій утилізації інтерфейсу Iub менше 70% і максимальної утилізації менше 90%.

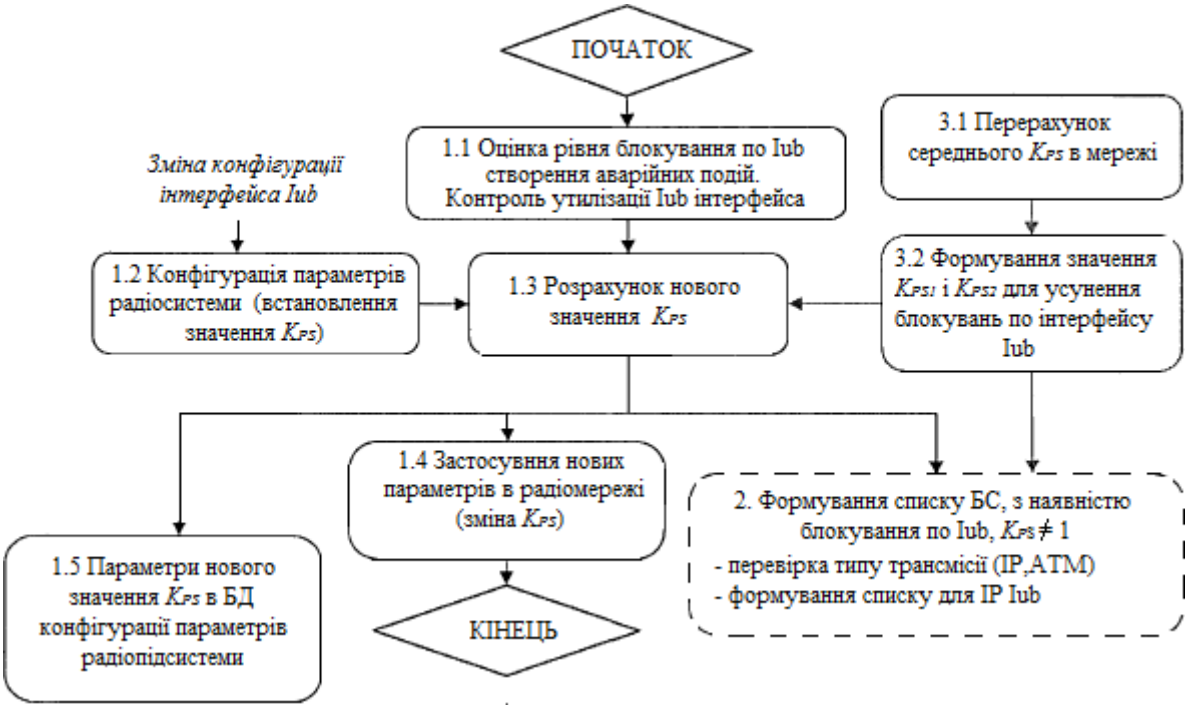


Рис. 3.7 Блок - схема алгоритму автоматичного усунення блокувань по інтерфейсу Iub

Утилізація інтерфейсу Iub розраховується як виходячи з використовуваної абонентами смуги пропускання і конфігурації інтерфейсу:

$$U_{IUB} = 100 \times \frac{\sum_0^{N_{CS}} A_{CS} \times T_{CS} + \cdots + \sum_0^{N_{hsdpa}} A_{HSDPA} \times T_{HSDPA}}{B} \qquad (3.19)$$

де U_{IUB} - утилізація каналу інтерфейсу Iub у відсотках, A - абонент з певним типом сервісу, T - смуга яку він займає в каналі, N - кількість абонентів з даним типом сервісу. Розрахунок чисельника для (3.19) виробляється на базовій станції в реальному часі. Дані по завантаженню каналу інтерфейсу Iub пересилаються на контролер радіомережі, який приймає рішення про відмову в доступі новим абонентам при високому завантаженні ресурсу.

Друга частина алгоритму (блок 2) відповідає за формування звітності по базовии станціям, для яких потрібно фізичне або логічне розширення каналу Iub інтерфейсу. При зменшенні коефіцієнту активності пакетних абонентів знижується гарантування швидкість передачі даних, за рахунок чого зменшуються блокування. Однак швидкості передачі даних у абонентів падають. Тому всі базові станції з

високою утилізацією ресурсу Iub, з наявністю блокувань і конфігурацією формують звіт, який раз на добу розсилається для аналізу до відповідних служб.

В якості додаткової функції, можна формувати команди на розширення пропускної здатності каналу Iub в тому випадку, якщо він базується на технології IP. Структурна схема управління пропускною смугою інтерфейсу Iub представлена на рис. 3.8.

На блок-схемі рис. 3.8 керуючі команди на зміну пропускної здатності направляються в систему управління транспортною мережею. З допомогою команд можна збільшувати або зменшувати пропускну здатність каналів в залежності від навантаження на базовій станції.

При використанні в якості базової технології IP для організації Iub інтерфейсу використовується стандартний FE (Fast Ethernet) протокол з швидкістю передачі даних до 100 Мбіт/с. Однак, реально швидкість обмежують на вузлах транспортної мережі, так як по-перше пропускна здатність радіоканалу навіть з шістьма секторами нижче, а по-друге можливе існування обмежень в ядрі транспортної мережі.

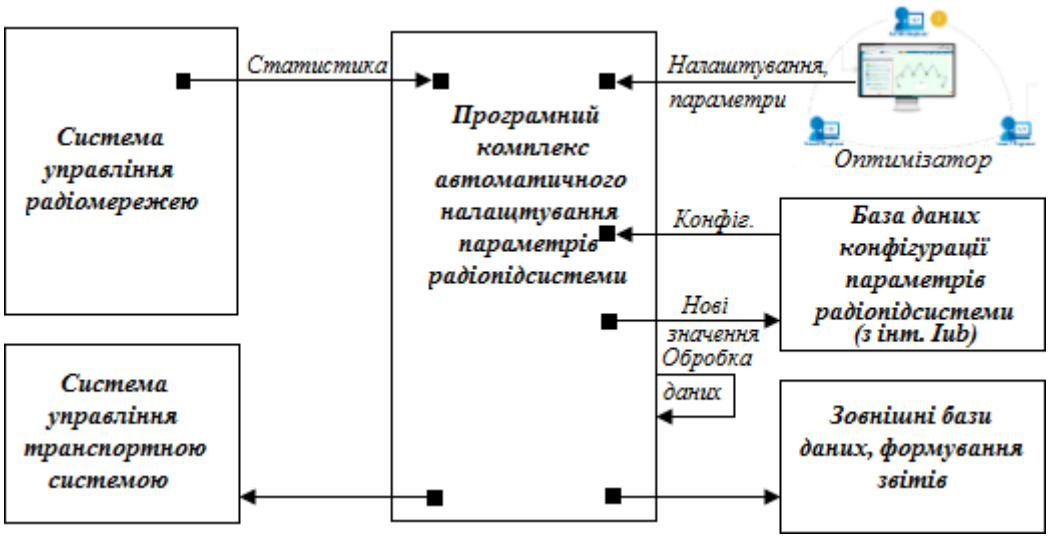


Рис. 3.8 Блок-схема реалізації управління пропускною спроможністю каналу інтерфейсу Iub

Знаючи конфігурацію ядра транспортної мережі можна розподіляти загальну пропускну здатність між базовими станціями в залежності від абонентського

навантаження. Третя частина алгоритму періодично коригує значення Kps1 і K_{PS2} виходячи з розподілу трафіку за типами.

3.4 Результат впровадження алгоритму автоматичного управління навантаженням

За отриманими результатами імітаційного моделювання запропоновані алгоритми автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми, що відповідають за регулювання навантаження на ресурси радіопідсистеми. Відповідно до концепції реалізований програмний комплекс автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми на основі мови PL/SQL. Досліджений програмний комплекс використовується в мережі WCDMA з підтримкою технології високошвидкісної передачі даних HSPA ПрАТ «Київстар». Розглянемо основні зміни в показниках якості обслуговування абонентів та обсязі переданих пакетних даних яких вдалося досягти за рахунок застосування програмного комплексу. Так як розробка і введення в експлуатацію алгоритмів управління параметрами радіопідсистеми ще не закінчені, розглянемо результати впровадження алгоритму для управління інтерференційним ресурсом зворотнього каналу.



Рис. 3.9 Вплив роботи алгоритму регулювання доступу абонентів на кількість відмов у наданні сервісу

На рис. 3.9 в відносних величинах представлено вплив роботи алгоритму на кількість відмов у наданні каналу абонентами по причині обмежень інтерференційного ресурсу. Величина відмов нормується щодо максимального значення за період.

З графіка видно, що після включення програмного комплексу з алгоритмом регулювання навантаження в зворотньому каналі близько двох тижнів займає перехідний процес, коли алгоритм розраховує необхідні обмеження для доступу абонентів на кожному секторі. Зниження рівня відмов після завершення перехідного періоду склало 92% від максимального. Оператор може встановлювати цільове допустиме значення відмов в мережі окремо для голосового і пакетного трафіку. Налаштованими параметрами також є: максимальне абонентське навантаження в зворотньому каналі; максимальна кількість естафетних передач для абонентів HSDPA в мережу 2G, віднесене до обсягу переданих даних; максимальне допустиме значення рівня RTWP в секторі.

Для цих обмежень алгоритм розраховує максимальні значення еквівалентних абонентів для кожного сектора і враховує це значення при регулюванню. Одним з основних показників успішної роботи алгоритму є підвищення успішності встановлення з'єднань. Розглянемо вплив алгоритму на успішність встановлення пакетних з'єднань і обсяг переданого пакетного трафіку.

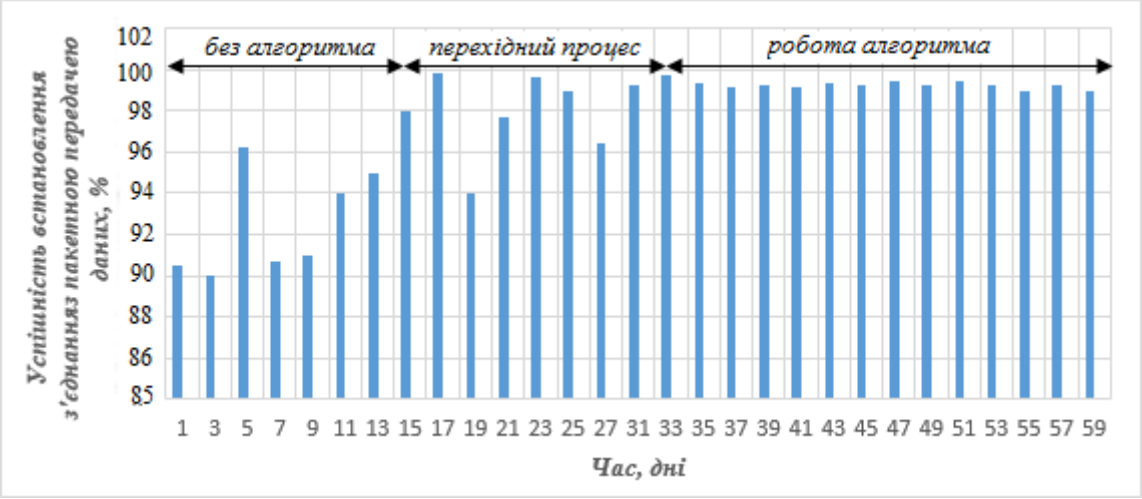


Рис. 3.10 Вплив роботи алгоритму на успішність встановлення з'єднань з пакетною передачею даних



Рис. 3.11 Вплив алгоритму на обсяг пакетних даних

Впровадження алгоритму управління абонентського навантаження в зворотньому каналі дозволило підвищити успішність встановлення з'єднань з пакетною передачею даних в середньому на 8% на одному з вибраних RNC мережі. При збільшенні успішності встановлення з'єднань очікується збільшення пакетного трафіку.

На рис. 3.11 показано вплив алгоритму автоматичного управління абоненським навантаженням в зворотньому каналі. Обсяг переданого пакетного трафіку представлений в відносних величинах, наведених до максимального значення трафіку за період вимірювань. Збільшення обсягу переданого пакетного трафіку після включення програмного комплексу склало в середньому 7%.

Алгоритм з управління абонентським навантаженням в зворотньому каналі, реалізований на базі розробленого програмного комплексу і впроваджений в мережу WCDMA, дозволив підвищити якість обслуговування абонентів і обсяг переданого пакетного трафіку. Слід зазначити, що в алгоритмі враховано вплив зростання абонентського навантаження на якість обслуговування абонентів, в зв'язку з чим розроблено заходи щодо обмеження максимальної кількості абонентів в секторах на основі статистичних даних за рівнем RTWP, кількості обривів і естафетних передач в мережу 2G.

Розглянемо перспективні алгоритми, реалізація яких на базі програмного комплексу дозволить підвищити якість послуг. Крім управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми основними напрямками в розвитку програмного комплексу автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми є:

- підтримання якості обслуговування абонентів в разі аварійних ситуацій;

- оптимізація розподілу абонентського навантаження між несучими частотами;

- управління якістю обслуговування абонентів.

Перший напрямок включає в себе ряд заходів, які можуть застосовуватися в наступних випадках:

- високий рівень обривів по голосовому сервісу, який пов'язаний з аваріями на обладнанні радіопідсистеми;

- високий рівень обривів по голосовому і пакетного сервісів, пов'язаний з аваріями на обладнанні радіопідсистеми;

У тому випадку, коли за статистичними даними програмний комплекс реєструє високий рівень обривів в секторі протягом одного або декількох періодів вимірювань, він автоматично генерує команди на переклад голосового трафіку в мережу GSM. Дана функціональність реалізована у більшості виробників обладнання радіопідсистеми і називається SBHO (Service Based HandOver, естафетна передача за типом встановлюваного з'єднання).

Робота функціональності SBHO полягає в тому, що при встановленні з'єднання RRC мобільний термінал посилає в мережу повідомлення на встановлення з'єднання RAB, в якому вказується який тип з'єднання запитується мобільним терміналом. У тому випадку, коли функціональність SBHO включена для даного стільника і абонент запитує встановлення голосового з'єднання, відразу після встановлення RAB з голосовим сервісом на мобільний термінал від RNC приходить команда на вчинення естафетної передачі в мережу 2G. За допомогою функціональності SBHO можливо тимчасово усунути обриви по голосовому сервісу до вжиття заходів щодо усунення причин обривів.

При високому значенні обривів для голосового, пакетного трафіку або при неможливості встановити RRC з'єднання з'являється необхідність в блокуванні стільника для усунення впливу на абонентів. Цей захід застосовується при сильній деградації якості обслуговування до моменту усунення її причин. Збільшення обривів для голосового і пакетного сервісу контролюється за допомогою аварійної події «Високий рівень обривів по голосової пошти чи пакетним з'єднанням».

Коли один із секторів мережі блокується оператором з причин аварійних ситуацій на обладнанні радіопідсистеми або високим рівнем обривів для підтримки якості обслуговування, можливо проводити роботи з коригування списку сусідів з урахуванням заблокованого сектора. Розглянемо докладніше механізм коригування.

На рис. 3.12 представлений випадок, коли сота 2 блокується у зв'язку з різкою деградацією якості обслуговування абонентів через аварійне ситуацю.

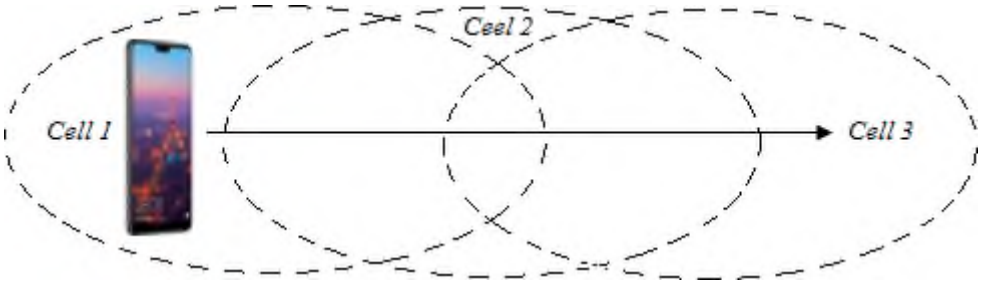


Рис. 3.12 Випадок з блокуванням стільники і оптимізацією сусідських відносин 3G-3G

Між сотами 1 і 2, 2 і 3 описані сусідські відносини для виконання естафетних передач. У тому випадку, якщо сота 2 блокується через проблеми з роботою обладнання, алгоритм автоматично описує сусідські відносини між секторами 1 і 3. Цей захід дозволить уникнути збільшення інтерференції, зростання обривів і естафетних передач в мережу 2G. Конфігурацію естафетних передач в мережі алгоритм забирає з бази даних конфігурації. Спираючись на статистичні дані можна визначити необхідність додавання даної сусідської відносини. Після додавання сусідства між сотами 1 і 3 за наступний період вимірювань оцінюється статистика.

У тому випадку якщо кількість естафетних передач і їх успішність перевищать задані пороги, описані сусідські відносини залишаються в мережі до включення в роботу сектора 2. Другим напрямком є завдання рівномірного розподілу навантаження між несучими частотами в мережі WCDMA. Додавання другої несучої частоти є одним з основних заходів по розширенню потужнісного і кодового ресурсів. При цьому коректний розподіл абонентського навантаження між частотами є вельми важливим питанням. Очевидно, то максимальна пропускна здатність для абонентів буде забезпечена при рівномірному розподілі навантаження між несучими частотами, оскільки кодовий і потужнісний ресурси будуть використовуватися найбільш оптимально. Спільне завдання розподілу навантаження можна розділити на два етапи: розподіл навантаження за допомогою абонентів, знаходяться в режимі «Idle mode» та розподіл навантаження за допомогою управління абонентами, що знаходяться в режимі «Connected mode».

Розглянемо докладніше обидва етапи. У режимі «Idle mode» абоненти можуть вибирати несучу частоту, найкращу з точки зору радіоусловій. Грунтуючись на абонентської завантаженні для першої і другої несучої, алгоритм може автоматично підлаштовувати параметри реселекції між частотами для рівномірного розподілу навантаження. Процедура реселекції стільники з іншого несучої частотою описується наступною формулою [23]:

$$QQ_{QQUALMEAS} \leq QQ_{QQUALMI} + S_{INTERSEARCH} + \frac{\ddot{u}dleQQ_{00FFSE}}{2} \quad (3.20)$$

У формулі значення $Q_{QUALMEAS}$ - виміряне значення якості прийнятого сигналу, яке є відношенням сигнал /шум усереднене за період виміру. Мінімальний рівень, при якому абонент може зробити реселекцію в дану соту позначений як $Q_{QUALMSN}$. Параметр $S_{INTERRATSEARCH}$ відповідає за налаштування реселекцій для всього RNC, тобто є глобальним. Керованим параметром є $IdleQ_{OFFSET}$.

Залежно від навантаження можливо досягти перерозподілу навантаження між несучими частотами, що обслуговують однакову зону. У режимі «connected mode» перерозподіл навантаження можна реалізувати, змінюючи параметри міжчастотних естафетних передач окремо для голосового і пакетного трафіку,

причому пакетний трафік можна розділити за технологіями доступу WCDMA і HSDPA. Міжчастотні естафетні передачі в WCDMA можуть відбуватися по причині погіршення рівня сигналу RSCP (Receive Signal Code Power, рівень сигналу) або через погіршення якості прийнятого сигналу Ec/No. При розподілі навантаження необхідно враховувати обидва порога для естафетних передач табл.3.1. У таблиці позначені пороги тільки для сервісів пакетної передачі даних за технологією HSDPA [23].

Таблиця 3.1

Параметри естафетної передачі

Параметри естафетних передач зі зміною частоти	Пояснення параметра
HADPA EcNo inter-frequency measurement start	Поріг, який визначає перехід UE в compressed для HSDPA сервіса по EcNo
HADPA RSCP inter-frequency measurement start	Поріг, який визначає перехід UE в compressed mode для HSDPA сервіса по RSCP
HADPA EcNo inter-frequency measurement stop	Поріг, який визначає вихід UE з compressed mode для HSDPA сервіса по EcNo
HADPA RSCP inter-frequency measurement stop	Поріг, який визначає вихід UE з compressed mode для HSDPA сервіса по RSCP
HADPA EcNo used inter-frequency trigger	Поріг по EcNo в обслуговуючій соті, при якому пройде хендовер на сосідню соту з іншою частотою
HADPA RSCP used inter-frequency trigger	Поріг по RSCP в обслуговуючій соті, при якому пройде хендовер на сосідню соту з іншою частотою
HADPA EcNo target inter-frequency trigger	Поріг по EcNo в соті з іншою частотою, при якій на неї можливо здійснити хендовер
HADPA RSCP target inter-frequency trigger	Поріг по RSCP в соті з іншою частотою, при якій на неї можливо здійснити хендовер

Змінюючи значення порогів переходу в compressed mode, рівнів обслуговуючої стільники і стільники - кандидата, можна рівномірно розподіляти навантаження між несучими частотами, домагаючись: зниження блокувань, максимального рівня інтерференції, збільшення швидкостей передачі даних для абонентів. Даний захід є більш коректної з точки зору збереження покриття, ніж управління потужністю каналу PCPICH в залежності від навантаження.

ВИСНОВКИ

Отже, виконуючи завдання магістерської роботи, у першому розділі дано короткий опис радіопідсистеми мережі WCDMA, відображені ключові моменти організації високошвидкісного пакетного доступу в прямому каналі- HSDPA. Проаналізовано структури кадрів, що застосовуються для технології доступу HSDPA. Коротко описані зміни, необхідні для організації каналу E-DCH (Enhanced Dedicated Chanel, покращений виділений канал передачі даних), відповідно до технології HSUPA. Наведено порівняльні категорій мобільних терміналів, які підтримують високошвидкісну передачу даних. Визначено область подальших досліджень. Виконано аналіз концепції управління параметрами мережі WCDMA з підтримкою технології високошвидкісної передачі даних HSPA, що відповідають за управління навантаженням на ресурси радіопідсистеми та розглянуто основні методи управління абонентської навантаженням в мережах WCDMA.

На основі результатів імітаційного моделювання проведено оцінку впливу абонентського навантаження на якість надання послуг, визначається коефіцієнтами обривів і блокування для голосових і пакетних сервісів і середньою швидкістю передачі даних для абонентів HSDPA.

Моделювання проведено на базі розглянутого математичного апаратного розрахунку завантаження ресурсів радіопідсистеми з використанням мови програмування PL/SQL.

В процесі імітаційного моделювання проведено аналіз впливу основних параметрів радіопідсистеми, таких як гарантована швидкість передачі даних, розподіл кодового ресурсу між технологіями доступу, зміни інтерфейсу Iub, на основі якого визначено значення, що дозволяють підвищити якість обслуговування абонентів.

У практичній частині роботи виконано реалізацію моделі системи моніторингу аварій за якістю, яка є зовнішньою по відношенню до системи управління і моніторингу радіопідсистеми і дозволяє формувати будь-які аварійні ситуації на основі статистичних даних. При цьому не відбувається збільшення

навантаження на систему управління і моніторингу радіопідсистеми, що дає можливість формувати велику кількість KPI.

На основі концепції управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми досліджений програмний комплекс, що дозволяє управляти абонентським навантаженням та ресурсами радіопідсистеми. Розроблено алгоритми управління навантаженням ресурсів який заснований на обробці статистичних даних та враховує рівні блокувань для голосових і пакетних з'єднань, рівень RTWP в секторах мережі WCDMA, кількість естафетних передач для абонентів з пакетною передачею даних по технології HSDPA.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.WCDMA Radio Network Tuning.- Student Book.Ericsson.2007

2.Скрынников В.Г. Нетрадиционное частотное планирование в сетях UMTS/HSPA+//Радиочастотный спектр. - 2012. - № 6.

3. Скрынников В.Г. Предварительная оценка параметров сети UMTS/HSDPA при статическом распределении мощности базовой станции// Мобильные Телекоммуникации. - 2009. - № 2.

3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М.: Экр-Трендз, 2013. - 230 с.

5. Holma H., Toskala A. WCDMA for UMTS. N.Y.: John Wiley & Sons Ltd., 2011. Pp. 45-60.

6. Иванов, М.В. Технология высокоскоростной передачи данных HSDPA в сетях с кодовым разделением каналов WCDMA// 60-я НТК/ ГОУВПО СПбГУТ. - СПб, 2014. с. 30 - 35.

7. 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects. Physical Layer Procedures (FDD). TS 25.214 V 4.0.0. France, 2011.

8. Кузнецов М.А., Рыжков А.Е. Современные технологии и стандарты подвижной связи. - СПБ.: Линк, 2016. - 122-127 с..

9. 3GPP. UTRA High Speed Download Packet Access (HSDPA): Overall description stage 2. TS 25.308. France 2013.

10. Rupp Markus, Wrulich Martin. Investigations of HSDPA schedulers./ Institute of communications and radio-frcquency engineering.2017

11. Holma H., Toskala A. HSDPA/HSUPA for UMTS. N.Y.: John Wiley & Sons Ltd., 2016. pp. 65-81;

12. 3GPP. Handover requirements between UTRAN and GERAN or other radio system. V8.0.0. France, 2016;

13. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи / СПбГУТ. - СПб, 2011. - 130 с.;

14. Holma H., Toskala A. HSDPA/HSUPA for UMTS. N.Y.: John Wiley & Sons Ltd., 2016. pp. 92-98;

15. Zhang D., Oh S-J., Sindhushayana. Optimal resource allocation for data services in CDMA reverse link. / IEEE Transactions on wireless communications. San Diego, 2017.

16. Иванов М.В. Расчет пропускной способности радиоканала HSUPA с учетом особенностей высокоскоростной передачи данных // Вестник связи / Ириас. СПбГУТ, 2013. № 8.;

17. 3GPP. UTRAN Iu interface layer 1. TS 25.411. V6.1.0. France, 2014;

18. Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen and oth., UMTS networks: Architecture, Mobility and Services. West Sussex.: John Wiley & Sons Ltd., 2013. pp. 47-49;

19. 3GPP. UTRAN Iur and Iub interface data transport and transport signaling fot DCH data streams. V3.9.0., France, 2012;

20. 3GPP. Policy and charging control architecture. VI0.0.0., France, 2015;

21. 3GPP. Low output powers for general purpose Frequency Division Duplex (FDD) Base Station (BS). V6.0.0., France, 2014;

22. Qualcomm Engineering Services Group. Aspect of HSUPA Network Planning. / Qualcomm Incorporated. San Diego, 2017.;

23. 3GPP. Technical Specification Group RAN. Radio Resource Management Strategies. TR 25.992, V 2.4.0. France, 2015.;

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж



МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

« ПОБУДОВА МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУНА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ WCDMA»

Виконав: студент гр. ТСДМ-63 Хаврел О.І.
Керівник роботи: доцент Лаврінець К.Г.

2025рік

Завдання та мета роботи

Мета роботи – підвищення якості обслуговування абонентів в мережі WCDMA

Об'єкт дослідження – процес впливу радіосистеми мережі WCDMA на якість обслуговування абонентів.

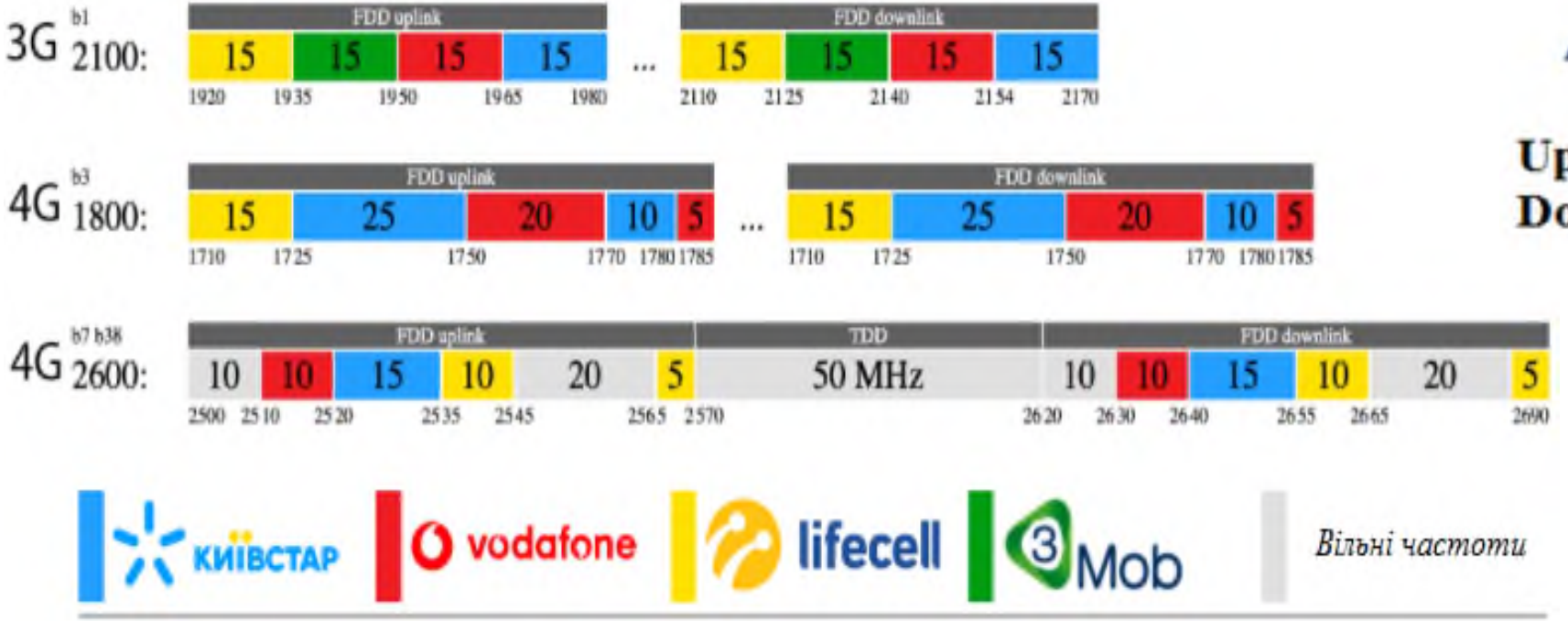
Предмет дослідження – радіопідсистема мережі WCDMA з підтримкою технології передачі даних HSPA

Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1. Принципи побудови та управління ресурсами та параметрами радіомережі WCDMA;
2. Імітаційне моделювання впливу абонентського навантаження на якість надання послуг;
3. Реалізації програмного комплексу автоматичного управління та налаштування параметрів завантаження ресурсів радіопідсистеми WCDMA

Частотний ресурс операторів України

На даний час в нашій країні вже широко використовують технології мобільного зв'язку 4–го покоління, але все ж таки є регіони де немає можливості користуватись послугами LTE, тому користувачі змушені використовувати послуги мереж 3G а інколи і 2G. Хоча технологія WCDMA не нова, але вона доповнює телекомунікаційний ринок України і має своїх абонентів, тому актуальною задачею є дослідження варіантів підвищення якості обслуговування абонентів на базі мережі WCDMA.



ІНТЕРТЕЛЕКОМ

Uplink 869,04– 893,97 МГц
Downlink 824,04- 848,86 МГц.

vodafone

Uplink 463-468 МГц
Downlink 453-458 МГц.

Для того щоб надавати якісні послуги, в мережі мобільного зв'язку, слід раціонально використовувати мережеві ресурси. Особливо цінним є частотний ресурс, оскільки він обмежений. В першу чергу мною було проаналізовано спектр частот якими володіють лідери мобільного зв'язку України, що зображено на слайд 3.

Храктеристик підсистеми радіодоступа мережі WCDMA

Табл.1. Основні характеристики стандарту UTRA FDD

Характеристики	Значення
Діапазон частот, МГц	1920-1980, 2110-2170
Полоса частот , МГц	5
Чіпова швидкість, Мчіп/с	3,84
Кодування	Згортковий код (R=1/2,R=1/3) + код Ріда-Соломона,турбокод
Ортогональні коди	Ортогональний код OVSF зі змінним кооффіцієнтом розширення 4-256
Розширяючиі послідовності	Коди Голда
Схема пошуку сот	Трьохетапна
Мінімальна довжина кадру,мс	10
Маніпуляція даних	BPSK, QPSK
Естафетна передача	М’ягка, жорстка
Управління потужністю	Швидкість 1,6 кбіт/с, крок управління 0,25-1,25 дБ

Табл.2.Швидкість передачі даних WCDMA DL

SF	Символічна швидкість в радіоканалі	Бітова швидкість в радіоканалі
256	15	30
128	30	60
64	60	120
32	120	240
16	240	480
8	480	960
4	960	1920

Табл.3.Швидкість передачі даних WCDMA UL

SF	Символічна швидкість в радіоканалі	Бітова швидкість в радіоканалі
256	7,5	15
128	15	30
64	30	60
32	60	120
16	120	240
8	240	480
4	480	960

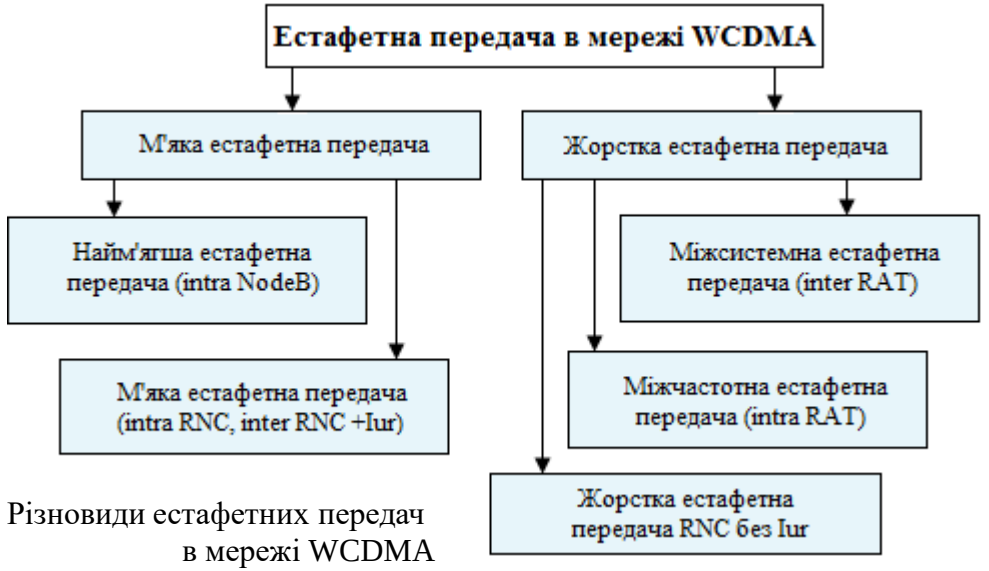


Рис.1. Різновиди естафетних передач в мережі WCDMA

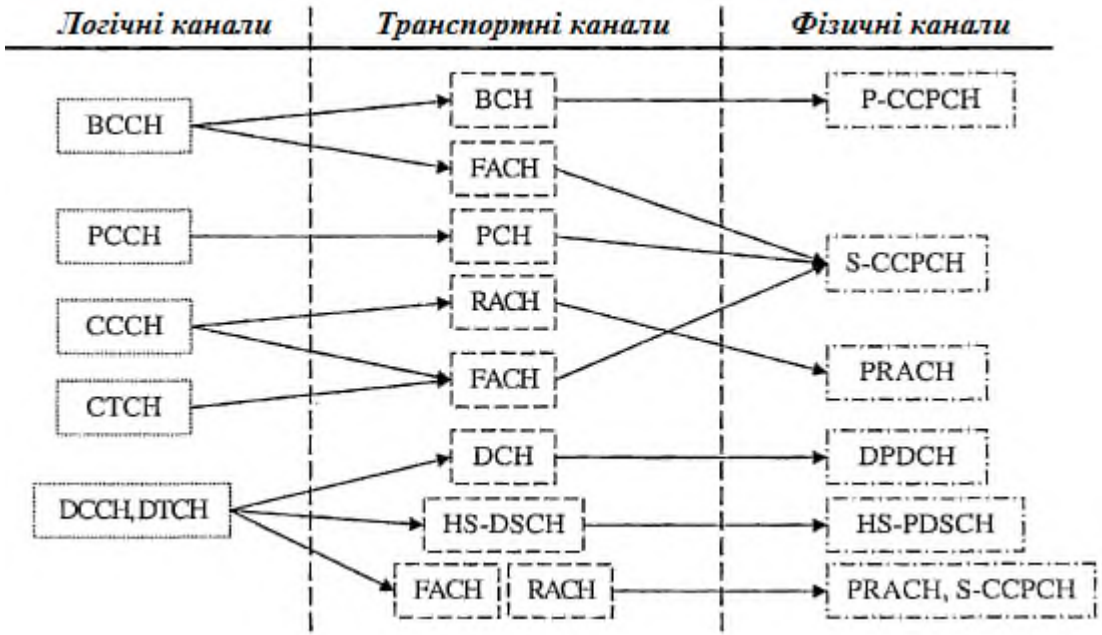


Рис.2. Взаємодія каналів трирівневої структури в WCDMA

Принципи організації технології доступу HSUPA, характеристики мобільних терміналів

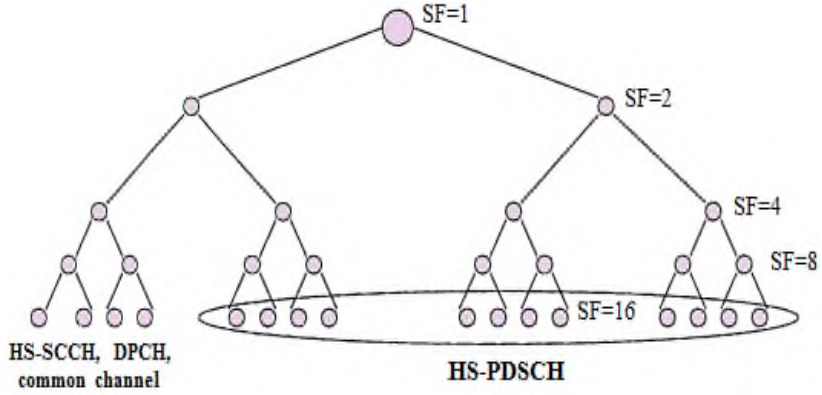


Рис. 1. Кодова дерево при використанні протоколу HSDPA

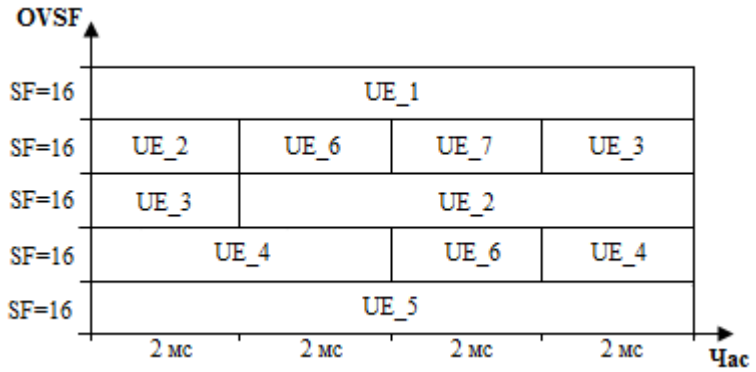


Рис.2.Приклад розподілу кодового ресурсу між активними абонентами в секторі

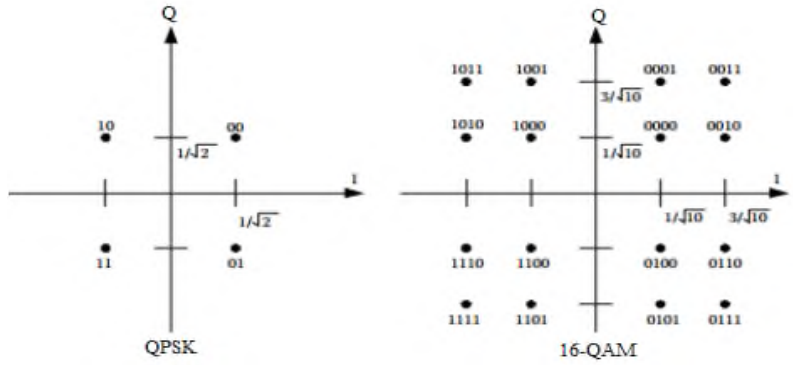


Рис.3.Сигнальні сузір'я маніпуляцій QPSK і 16 QAM

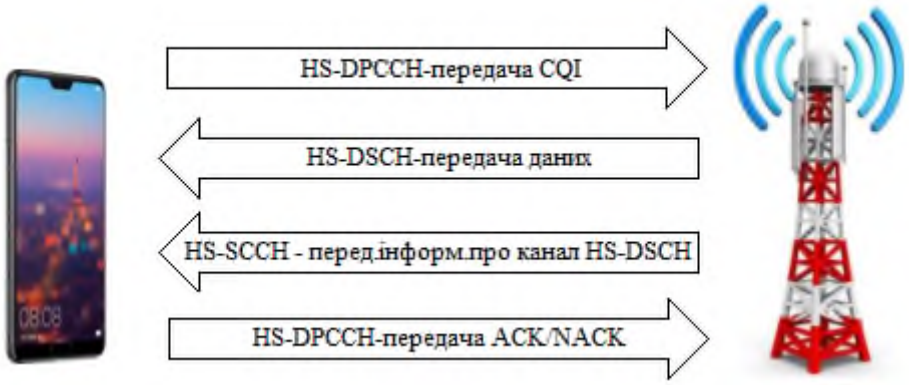


Рис.4. Взаємодія каналів технології доступу HSDPA

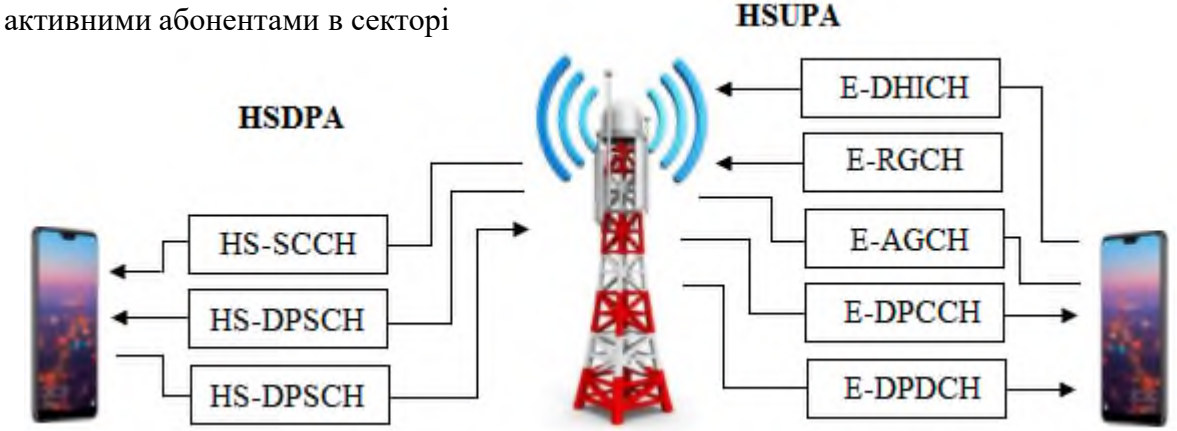


Рис.5. Взаємодія каналів технологій HSPA

Табл.1. Категорії мобільних терміналів з підтримкою HSDPA

Категорія	Кількість кодів	Інтервал між TT1	Розмір транспортного блока, біт	Біти HARQ	Маніпуляція	Швидкість передачі даних Мбіт/с
1	5	3	7300	19200	QPSK/16QAM	1,2
2	5	3	7300	28800	QPSK/16QAM	1,2
3	5	2	7300	28800	QPSK/16QAM	1,8
4	5	2	7300	38400	QPSK/16QAM	1,8
5	5	1	7300	57600	QPSK/16QAM	3,6
6	5	1	7300	67200	QPSK/16QAM	3,6
7	10	1	14600	115200	QPSK/16QAM	7,2
8	10	1	14600	134400	QPSK/16QAM	7,2
9	15	1	20432	172800	QPSK/16QAM	10,2
10	15	1	28776	172800	QPSK/16QAM	14,4
11	5	2	3650	14400	QPSK	0,9
12	5	1	3650	-	QPSK	14,4

Далі мною виконано аналіз принципу організації технології доступу HSDPA. Аналіз показав, що при реалізації технології доступу WCDMA схема утилізації кодового ресурсу сектора змінюється. Як приклад мною було розглянуто приклад, коли для організації високошвидкісного каналу передачі даних зарезервовано 12 каналоутворюючих кодів, рис.1,слайд 5. На рис. 2 наведено приклад розподілу кодового ресурсу між активними абонентами. Залежно від якості радіоканалу, в протоколі HSDPA передбачена робота з двома схемами маніпуляції: QPSK і 16-QAM , рис.3.

Для функціонування протоколу HSDPA крім каналу передачі призначених для користувача даних HS-DSCH організовуються два канали управління: HS- SCCH і HS-DPCCH, взаємодія яких представлена на рис.4. Наведено порівняльні таблиці категорій мобільних терміналів, підтримуючих високошвидкісну передачу даних.

Концепція системи управління ресурсами радіопідсистеми мережі WCDMA

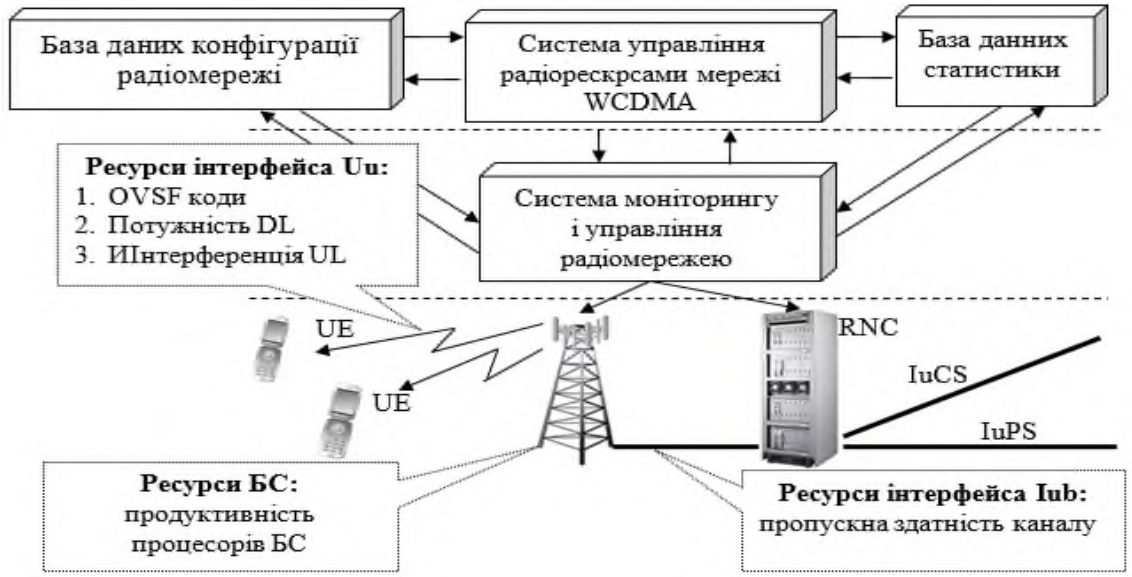


Рис. 1. Концепція управління ресурсами радіопідсістемі



Рис.2. Способи управління завантаженням ресурсів радіо-підсистеми в мережах WCDMA

Табл.1.Призначення характеристики кодів

	Каналоутворюючі коди	Скремблюючі коди
Застосування	Зворотній канал: розподіл на фізичному рівні каналів даних каналів управління від одного UE Прямий канал: розподіл каналів для різних користувачів в одному секторі	Зворотній канал: Селекція UE Прямий канал: розподіл секторів
Кількість кодів	Кількість кодів під одним скремблюючим кодом дорівнює коефіцієнту розширення	Зворотній канал: декілька міліонів Прямий канал: 512x16 кадрів

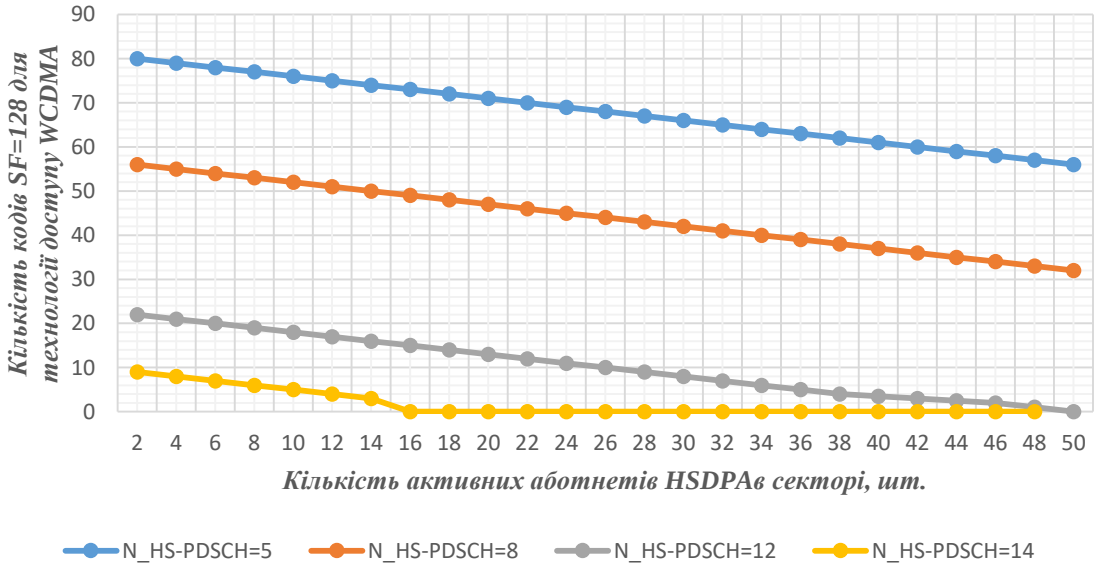


Рис.3.Варіанти розподілу кодового ресурсу між технологіями доступу в мережі WCDMA

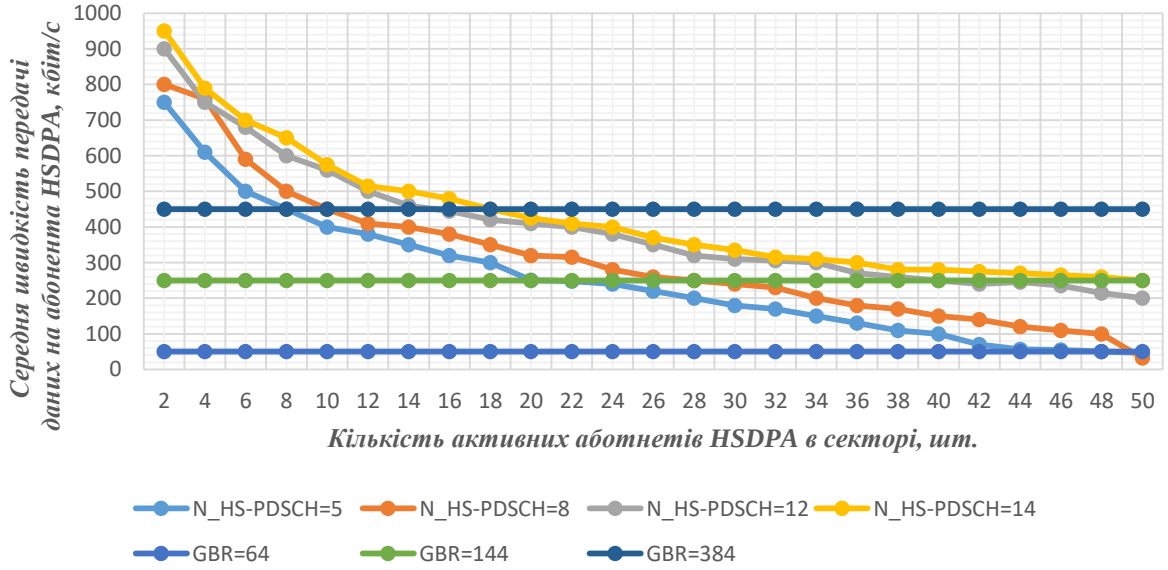


Рис.4. Вплив зміни кодового ресурсу на ємність сектора в порівняно зі значеннями GBR для абонентів мережі

Формування моделі абонентського навантаження

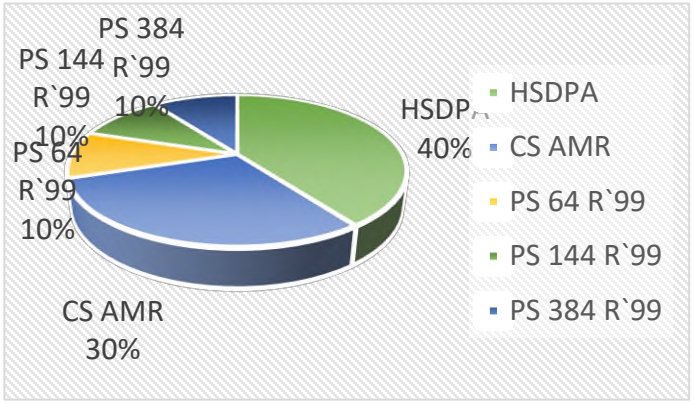


Рис.1. Розподіл активних абонентів в секторі по сервісах

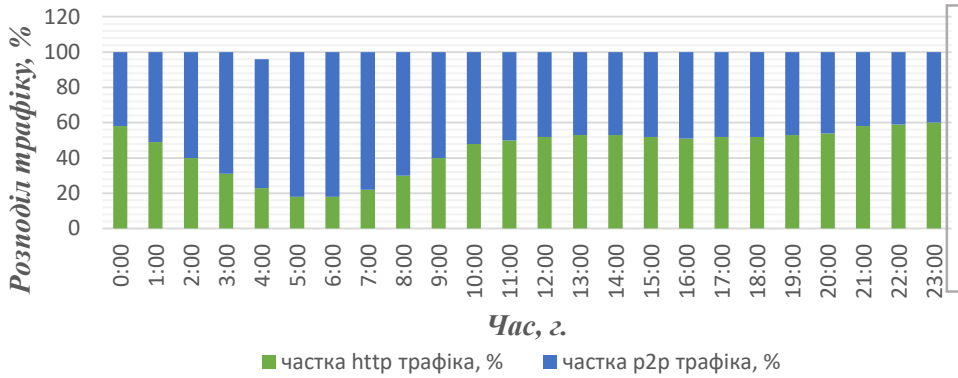


Рис. 2. Розподіл трафіку по протоколах HTTP і P2P протягом доби

Середню активність пакетних абонентів

$$K_{PS} = T_{P2P} \times 1 + T_{HTTP} \times 0{,}5$$

де K_{PS} - коефіцієнт активності пакетних абонентів,
T_{P2P} - частка трафіку p2p від загального трафіку,
T_{HTTP} - частка трафіку HTTP від загального обсягу трафіку.

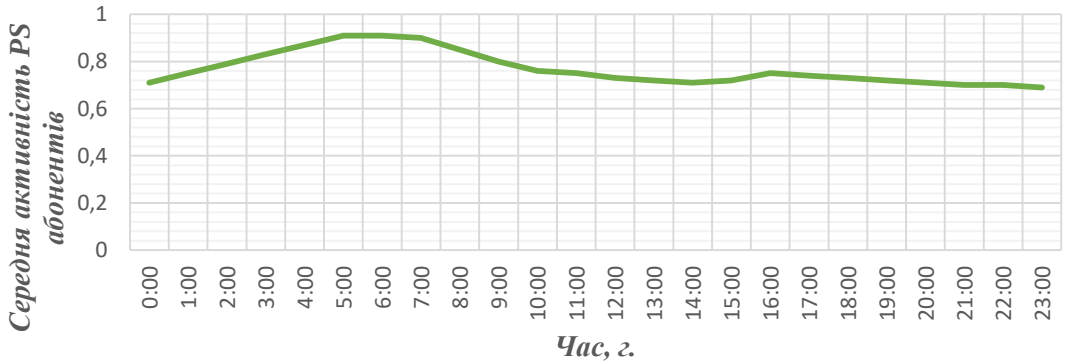


Рис..3. Середня активність пакетних абонентів за добу

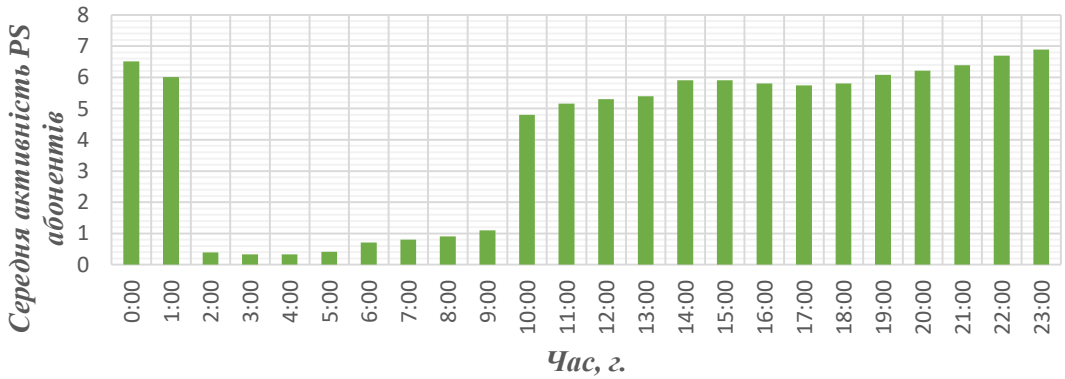


Рис. 4. Розподіл обсягу переданого трафіку за добу



Рис.5. Залежність швидкість передачі даних від рівня прийнятого сигналу при використанні одного коду HS-PDSCH

Одною з важливих факторів обслуговування абонентів є віддаленість абонента від базової станції. На рис.5 представлений графік залежності швидкості від рівня сигналу від базової станції.

Отримані результати і допущення на рис.7. надалі використовуються для формування абонентського навантаження в імітаційної моделі впливу завантаження ресурсів радіопідсистеми на якість обслуговування абонентів.

Імітаційна модель впливу обмежень ресурсів на якість обслуговування абонентів

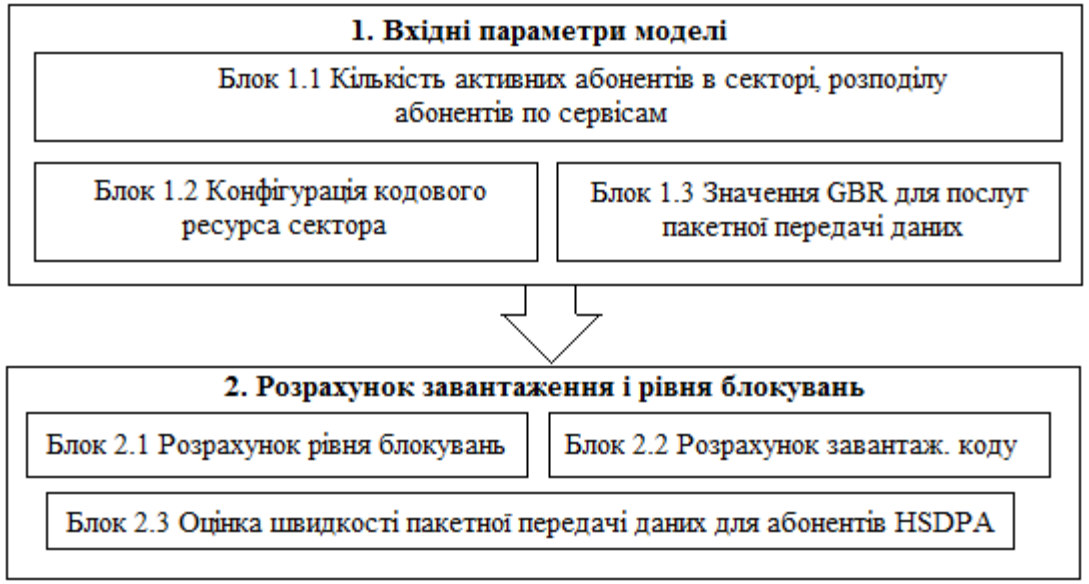


Рис. 1. Блок-схема алгоритму симулятора для навантаження по кодовому ресурсу

Табл.1.Можливі варіанти розподілу кодового ресурсу HSDPA

Кодовий ресурс сектора, SF=128	Кодовий ресурс HSDPA, SF=16	Кодовий ресурс HSDPA, SF=128	Кодовий ресурс R`99, SF=128
128	5	40	88
128	6	48	80
128	7	56	72
128	8	64	64
128	9	72	56
128	10	80	48
128	11	88	40
128	12	96	32
128	13	104	24
128	14	112	16

Табл.2. GBR для використовуваних типів сервісів

Тип сервісу/технологія доступу	Гарантована швидкість передачі даних (GBR)
Голосовий сервіс CS AMR 12,2	16 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 64 K	64 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 144 K	144 кбіт/с
Пакетний сервіс PS 384 K	384кбіт/с
Пакетний сервіс PS HSDPA	64/144/384 кбіт/с

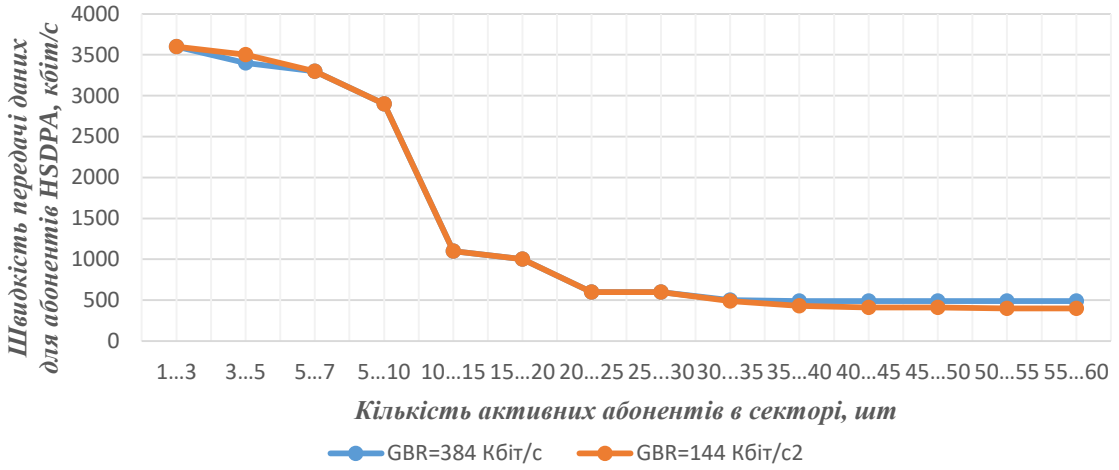


Рис.1.Залежність швидкості передачі даних для абонентів мережі від абонентського навантаження в секторі для різних значень GBR

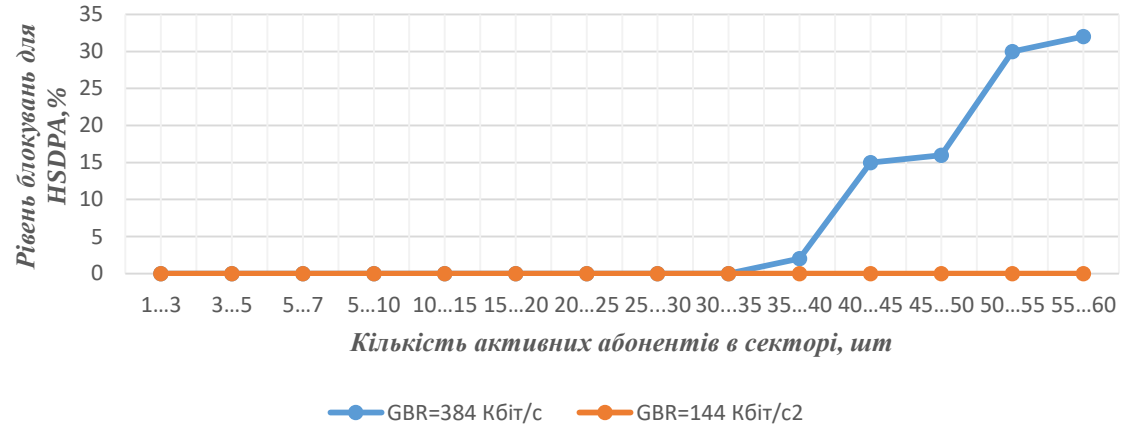


Рис.2. Залежність рівня блокування від абонентського навантаження при зміні значення GBR

В результаті моделювання на рисунку 1 і 2 показана залежність швидкості передачі даних для абонентів мережі від абонентського навантаження в секторі для різних значень GBR та залежність рівня блокування від абонентського навантаження при зміні значення GBR.
Отримані значення дозволяють приймати рішення про настройках даних параметрів в мережі WCDMA для отримання можливої якості обслуговування абонентів.

Результати імітаційного моделювання впливу сукупності ресурсів на якість обслуговування

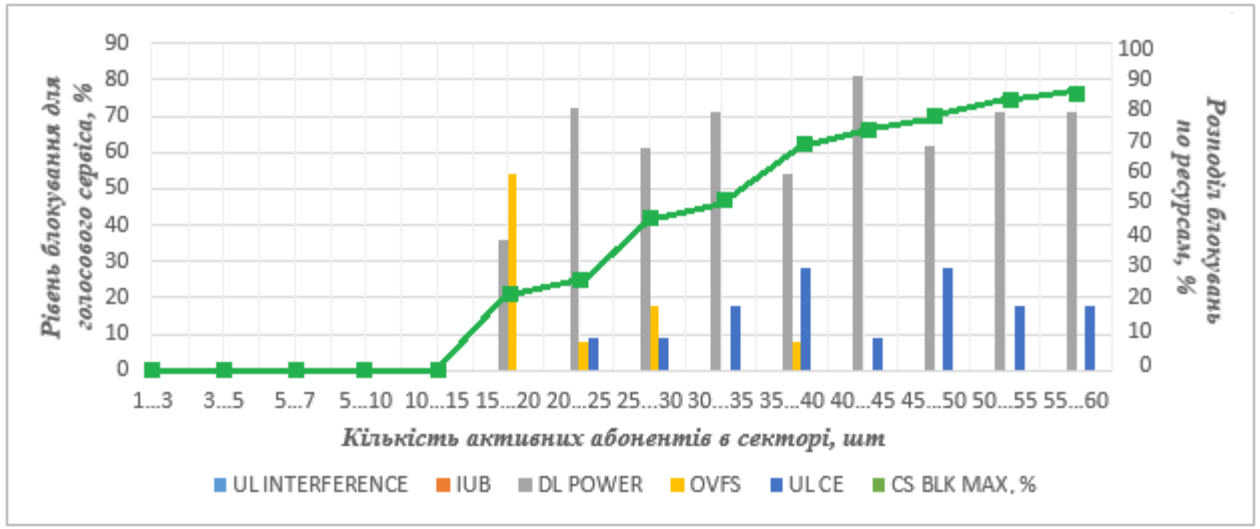


Рис. 1. Залежність рівня блокування для голосових абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокування по ресурсів радіопідсистеми

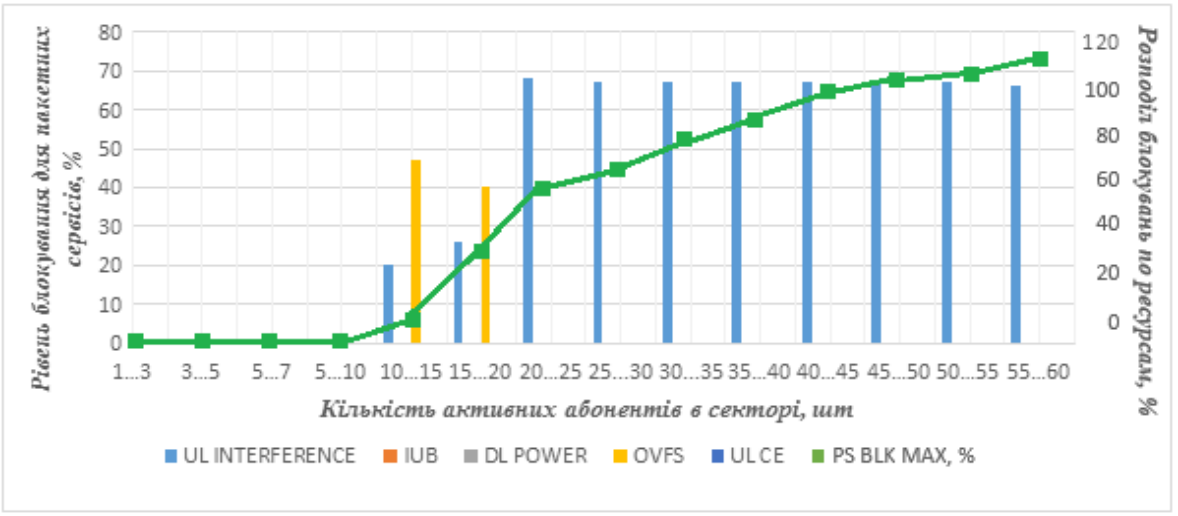


Рис. 2. Залежність рівня блокувань для пакетних абонентів від кількості активних абонентів в секторі і розподіл блокувань по ресурсів радіопідсистеми

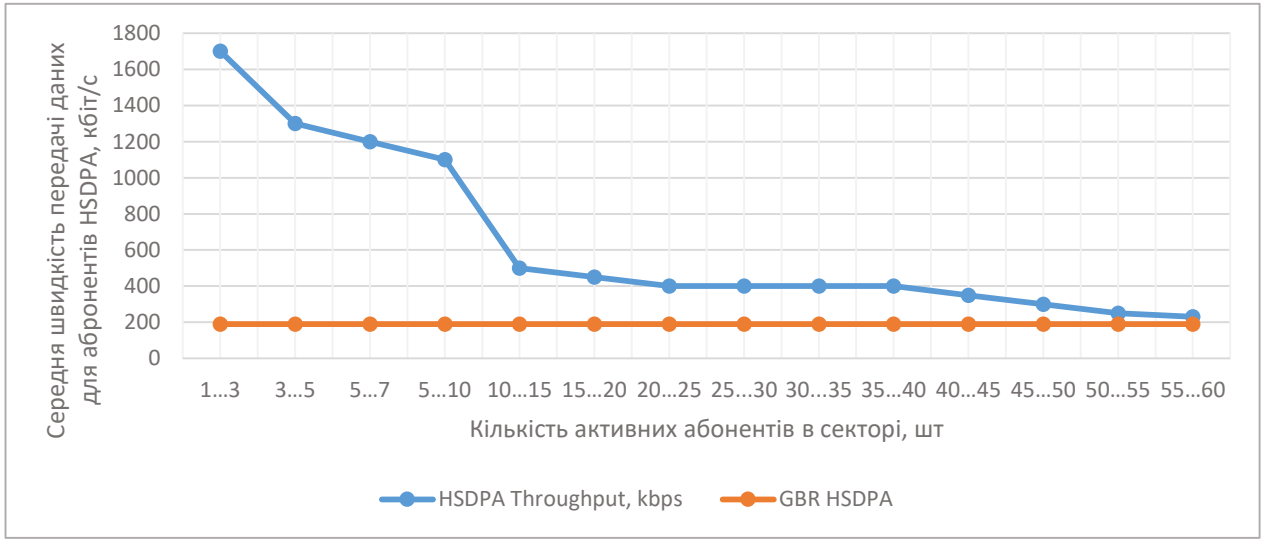


Рис. 3. Залежність швидкості передачі даних HSDPA від абонентської навантаження в секторі з урахуванням обмежень по всіх ресурсах радіопідсистеми

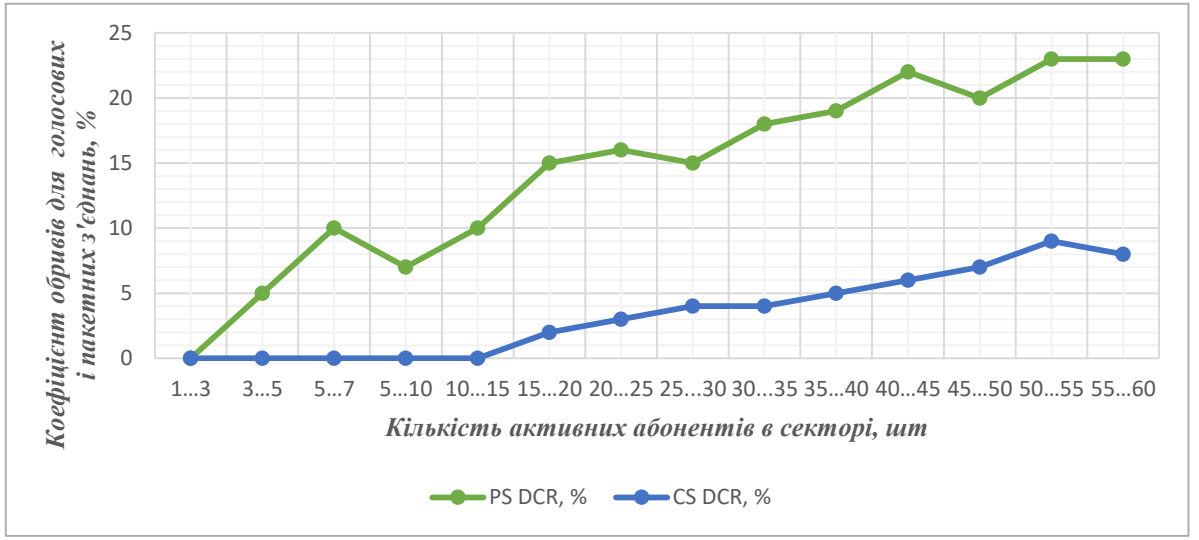


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів обривів для голосових і пакетних з'єднань від абонентського навантаження в секторі

Реалізації системи обробки статистичних аварійних подій



Рис.1.Блок-схема реалізації зовнішнього ПК моніторингу аварійних подій за якістю

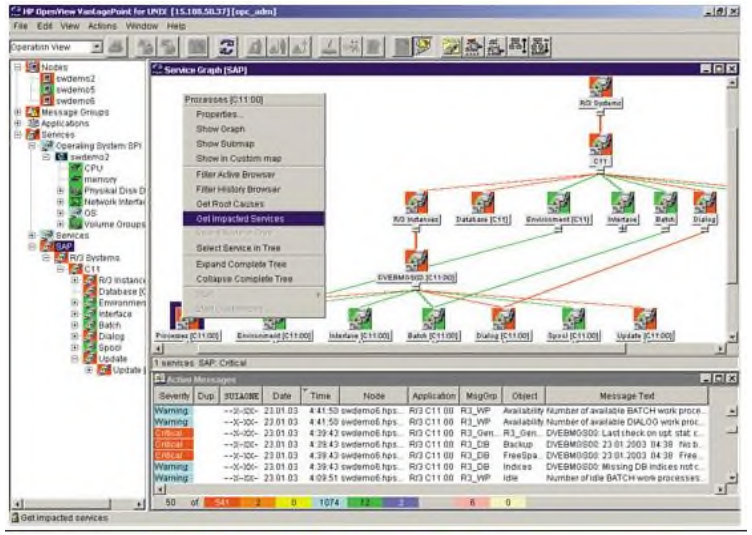


Рис. 2. Приклад відображення аварійних подій за якістю

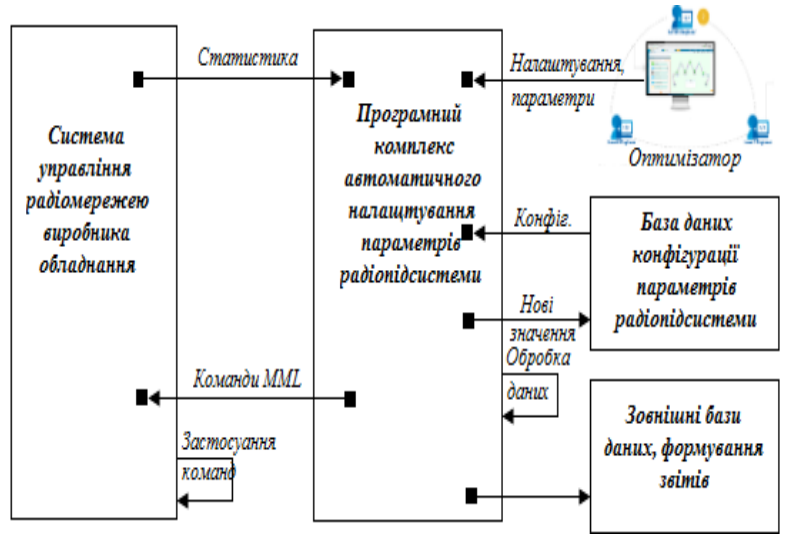


Рис.3. Блок-схема з новими функціональними елементами

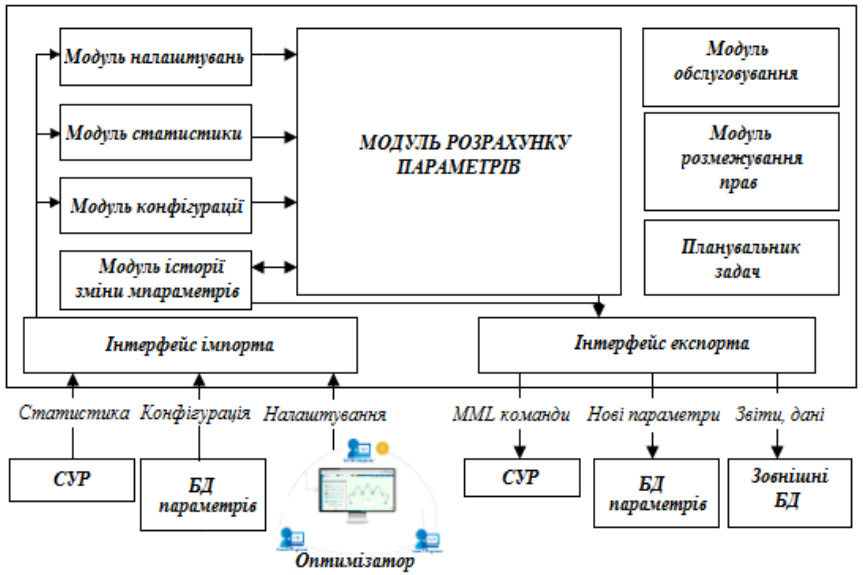


Рис.4. Модульна структура ПК автоматичної настройки Параметрів радіопідсистеми

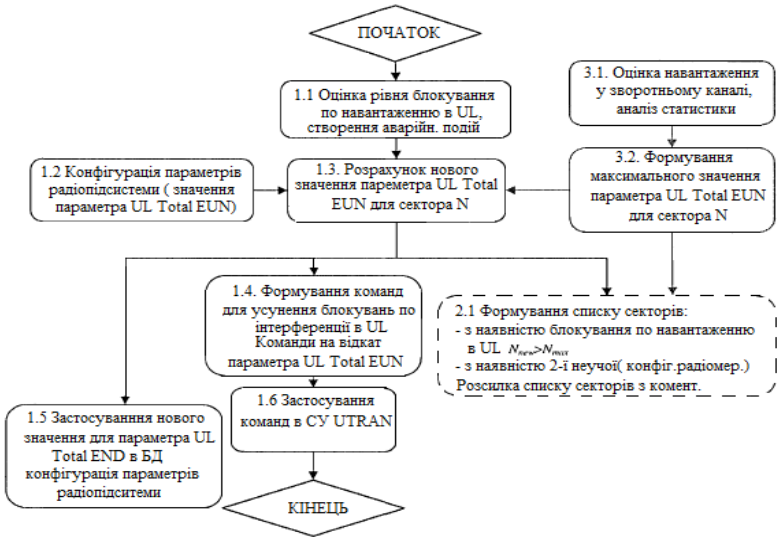


Рис.5.Алгоритм управління абонентської навантаженням в каналі

Управління параметрами відбувається на основі статистичних даних мережі і конфігурації мережевих елементів. Програмний комплекс реалізований як зовнішнє середовище по відношенню до систем управління RAN і створений на основі БД Oracle. Алгоритми реалізовані за допомогою мови програмування PL/SQL.

Принцип взаємодії програмного комплексу із зовнішніми базами даних і системою управління RAN представлений на рис. 3 Архітектура програмного комплексу автоматичного налаштування параметрів радіопідсистеми заснована на модульному принципі і показана на рис. 4. Основним же модулем ПК є модуль розрахунку параметрів. Алгоритм управління абонентської навантаженням в каналі у вигляді блок-схеми представлений на рис. 5

Результат впровадження алгоритма автоматического управління навантаженням



Рис. 1. Вплив роботи алгоритму регулювання доступу абонентів на кількість відмов у наданні сервісу

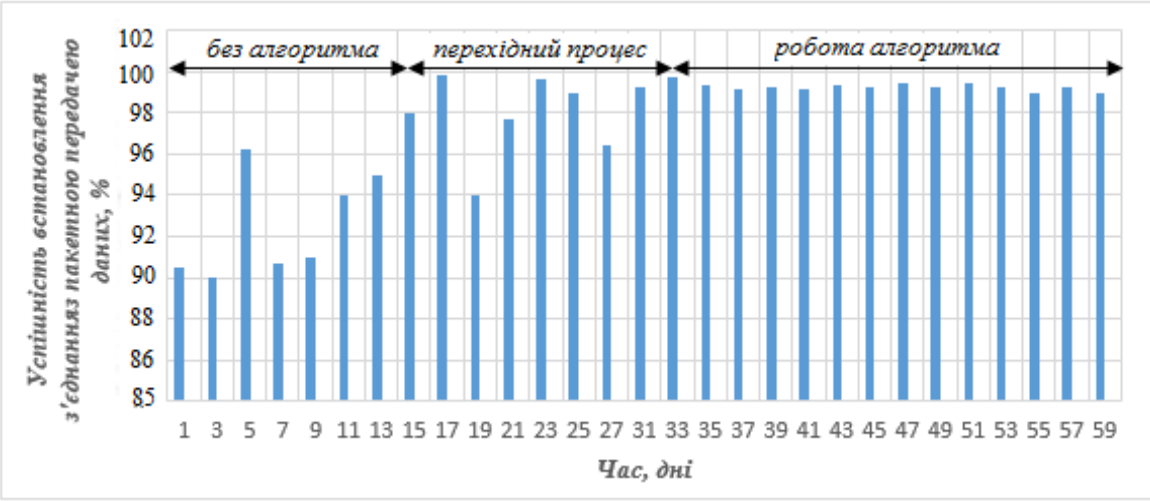


Рис. 2. Вплив роботи алгоритму на успішність встановлення з'єднань з пакетною передачею даних



Рис. 3. Вплив алгоритму на обсяг пакетних даних

На слайді 11 представлені результати застосування програмного комплексу для усунення блокування по канальному ресурсу в мережі WCDMA на базі оператора зв'язку ПрАТ «Київстар». На рис.1 та 2 показано результат впливу роботи алгоритму на кількість відмов у наданні каналу абонентами по причині обмежень інтерференційного ресурсу та впливу алгоритму на успішність встановлення пакетних з'єднань і обсяг переданого пакетного трафіку. Та наведено результат впливу застосування алгоритму на обсяг пакетних даних

Висновки по магістерській роботі роботі

Отже виконавши поставлені завдання, в роботі показано, що технології 3G хоч вже і не мають великих перспектив , але все ж займають певне місце на телекомунікаційному ринку як нашої країни так і світі.

Проведено аналіз технічних характеристик, побудови радіоканалів та раціонального використання радіоресурсу.

Виконано аналіз концепції управління параметрами мережі WCDMA з підтримкою технології високошвидкісної передачі даних HSPA, що відповідають за управління навантаженням на ресурси радіопідсистеми та розглянуто основні методи управління абонентської навантаженням в мережах WCDMA, оскільки саме завдяки ефективному управлінню є можливість раціонального розподілу і можливість надання якісних послуг абонентам.

На основі результатів імітаційного моделювання проведено оцінку впливу абонентського навантаження на якість надання послуг, визначається коефіцієнтами обривів і блокування для голосових і пакетних сервісів і середньою швидкістю передачі даних для абонентів.

У практичній частині роботи виконано реалізацію моделі системи моніторингу аварій за якістю, яка є зовнішньою по відношенню до системи управління і моніторингу радіопідсистеми і дозволяє формувати будь-які аварійні ситуації на основі статистичних даних. При цьому не відбувається збільшення навантаження на систему управління і моніторингу радіопідсистеми, що дає можливість формувати велику кількість KPI.

На основі концепції управління завантаженням ресурсів радіопідсистеми досліджений програмний комплекс, що дозволяє управляти абонентським навантаженням та ресурсами радіопідсистеми.

Дякую за увагу, доповідь завершено