

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РАДІОДОСТУПУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

**Dyshchuk A.S., Sorochenko I.V., Parunov M.O., Chekanov S.O., Karpets' M.O. Research of radio-accounting features and enhancement of quality indicators at lte technology base.** The work is devoted to research on the distribution of radio signals in the conditions of the Solomyansky region in relation to LTE (4G) technology, as well as the effectiveness of technology implementation in order to increase the speed of information transmission. In the process of work, the calculation and analysis of the level of power of the radio signal at different heights of the device hanger receiver was made. The resulting graphs may be of practical importance for the operational assessment of the coverage area with the expansion of the communication network. In the process of work, the calculation and analysis of the level of power of the radio signal at different heights of the suspension of the receiving device was performed. The resulting graphs may be of practical importance for the operative assessment of the coverage area with the expansion of the communication network.

Comparison of the results obtained by calculation with the results of simulation of the level of radio signal with the help of the program Atoll showed that the calculated values have deviations from the results of simulation in the range of 3 - 5%.

The use of orthogonal frequency (OFDM) and spatial (MIMO) diversity, which are the most important areas in the development of mobile communication technologies of new generations, potentially ensures the approximation of their spectral efficiency. Calculation of network bandwidth for multimedia services allowed to determine the required number of base stations.

The analysis of speed tests in LTE networks showed that the increase in downlink speed was 130-500 times.

**Keywords:** high transmission speeds, network structure, orthogonal frequency division multiplexing, MIMO technology, radio signal strength, network bandwidth

**Дишук А.С., Сороченко І.В., Парунов М.О., Чеканов С.О., Карпець М.О. Дослідження особливостей радіодоступу та підвищення показників якості на базі технології LTE.** Робота присвячена дослідженню поширення радіосигналу в умовах Солом'янського району стосовно технології LTE (4G), а також ефективності впровадження технології з метою підвищення швидкості передачі інформації. У процесі роботи було зроблено розрахунок і аналіз рівня потужності радіосигналу при різних висотах підвісу пристрою одержувача. Отримані графіки можуть мати практичне значення для оперативної оцінки зони покриття при розширенні мережі зв'язку.

**Ключові слова:** високі швидкості передачі, структура мережі, мультиплексування з ортогональним частотним розділенням, технологія MIMO, рівень потужності радіосигналу, пропускна здатність мережі

**Дышук А.С., Сороченко И.В., Парунов Н.А., Чеканов С.О., Карпец Н.А. Исследование особенностей радиодоступа и повышения показателей качества на базе технологии LTE.** Работа посвящена исследованию распространения радиосигнала в условиях Соломенского района относительно технологии LTE (4G), а также эффективности внедрения технологии с целью повышения скорости передачи информации. В процессе работы был произведен расчет и анализ уровня мощности радиосигнала при различных высотах подвеса устройства. Полученные графики могут иметь практическое значение для оперативной оценки зоны покрытия при расширении сети связи.

**Ключевые слова:** высокие скорости передачи, структура сети, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением, технология MIMO, уровень мощности радиосигнала, пропускная способность сети.

### Вступ

Зробимо розрахунок зони покриття БС по моделі Окумура-Хата і порівняємо результати напруженості поля з вимірними значеннями за допомогою моделюючої програми Atoll.

Проаналізуємо залежність радіуса зони покриття як від висоти підвісу антени БС, так і від висоти приймальної антени, тому що прийомні пристрої мережі LTE можуть розташовуватися на висоті. Відмінної від 1,5 м, заявленої в моделі Окумура-Хата.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Використовуючи формулу (1) для висот підвісу антени одержуючого пристрою визначимо  $a(h_m)$  – табл. 1, на підставі якої будемо графік залежності втрат від висоти підвісу антени приймаючої станції (рис. 1).

$$a(h_m) = 3.2 * [\log(11.75 * h_m)]^2 - 4.97 \quad (1)$$

Так як мережі LTE використовуються, в основному, для передачі даних при побудові мультисервісних мереж, які беруть радіосигнал пристрої, як правило, розташовуються на значній висоті; даху будівлі, стінах і т.п. Тому важливо оцінити, як таке розташування вплине на величину зони покриття.

Таблиця 1. Залежність втрат від висоти підвісу антени пристрою одержувача

h(m)	log(11.75*h(m))	[log(11.75*h(m))]^2	a(h(m))
1.5	1.246129126	1.552837798	-0.26908
2.5	1.467977875	2.154959042	-2.19587
3.5	1.614105911	2.605337892	-3.63708
4.5	1.72325038	2.969591873	-4.80269
5.5	1.810400556	3.277550174	-5.78816
6.5	1.882951223	3.545505309	-6.64562
7.5	1.94509913	3.783410626	-7.40691
8.5	1.999456792	3.997827464	-8.09305
9.5	2.047761472	4.193327046	-8.71865
10.5	2.091227166	4.373231058	-9.29434
11.5	2.130735707	4.540034653	-9.82811
12.5	2.16694788	4.695663113	-10.3261
13.5	2.200371635	4.841635333	-10.7932
14.5	2.231405869	4.979172152	-11.2334
15.5	2.260369565	5.109270569	-11.6497
16.5	2.287521811	5.232756035	-12.0448
17.5	2.313075915	5.35032019	-12.421
18.5	2.337209595	5.462548691	-12.7802
19.5	2.360072478	5.569942101	-13.1238
20.5	2.381791728	5.672931834	-13.4534

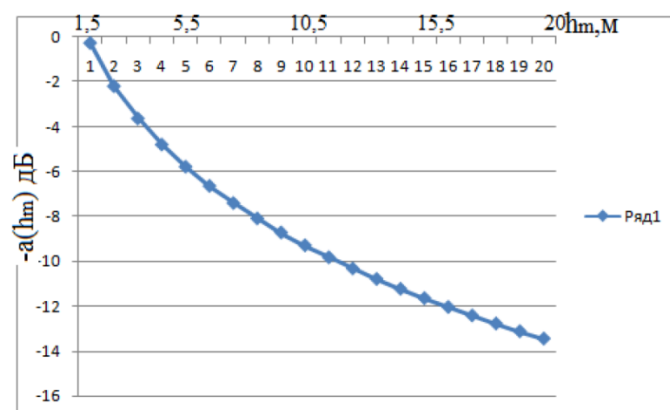


Рис. 1. Графік залежності втрат від висоти підвісу антени приймаючої станції

На підставі даних визначимо по формулі (2) значення потужності радіосигналу на різних відстанях від БС (Рис. 2 - 5). Також за отриманими графіками можна визначити відстань між БС і приймаючою станцією, вибравши в якості рівня, достатнього для впевненого прийому сигналу рівень  $P = -10$  дБм. При цьому, відстань між БС і приймаючою станцією можна визначити в залежності від висоти підвісу приймаючої станції.

$$P_{\text{ПРМ}} \left( \frac{\text{дБ}}{\text{Вт}} \right) = P_{\text{ПРД}} \left( \frac{\text{дБ}}{\text{Вт}} \right) + \eta_{\text{ФПРМ}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРД}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{П}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРМ}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{ФПРМ}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{С}}(\text{дБ}) - L_{\Sigma}(\text{дБ}) \quad (2)$$

Аналіз показує, що дальність зв'язку невелика і коливається від 1,5 до 3,5 км, також розглядається можливість установки антен різних стандартів (GSM1800 і LTE) в одному місці; на одному даху, одній опорі і т.п. Це дозволяє економити і місце і засоби.

Стандарт LTE допускає можливість розгортання сегмента LTE в уже існуючих діапазонах систем стільникового зв'язку стандарту GSM.

«Гнучка» смуга LTE дає можливість виробляти реформування спектру досить просто, так як смуга починається з 1.4 МГц або 3 МГц, а потім вона може збільшуватися, при поступовому розвитку мережі LTE, і, відповідно, зменшення трафіку мережі GSM на яку LTE накладається.

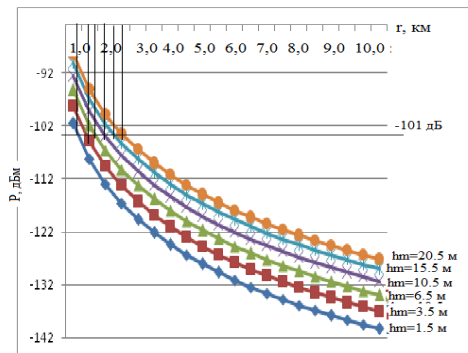


Рис. 2. Графік потужності радіосигналу при  $h_b = 30$  м

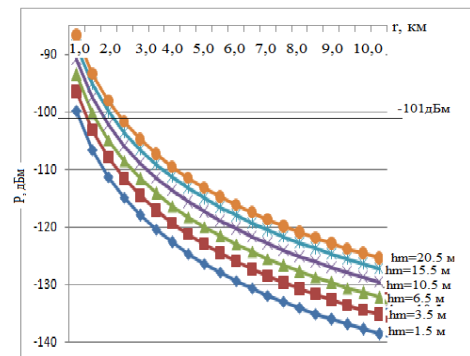


Рис. 3. Графік потужності радіосигналу при  $h_b = 40$  м

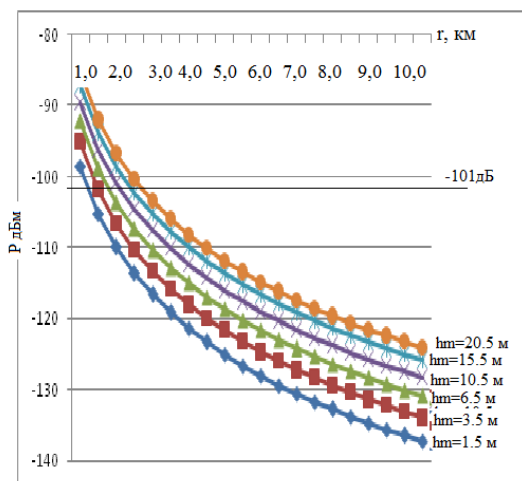


Рис. 4. Графік потужності радіосигналу при  $h_b = 50$  м

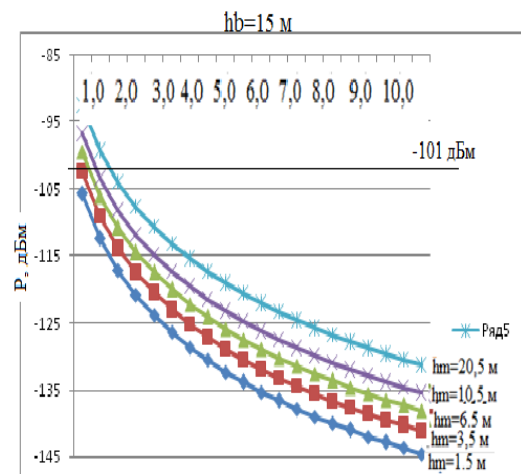


Рис. 5. Графік потужності радіосигналу при  $h_b = 15$  м

Закономірно зменшення дальності зв'язку зі зменшенням висоти підвісу антени БС і антени пристрою одержувача.

В ході дослідження було проведено аналіз і моделювання мережі LTE в Солом'янському районі. Моделювання мережі проводилося з використанням моделюючої програми Atoll.

Розрахунок покриття в LTE на прикладі Солом'янської площі (рис. 5). Параметр використовується при плануванні радіомережі для оцінки рівня радіосигналу в LTE називається RSRP. RSRP-Reference Signal Received Power. В правому куті у вікні вказано проміжок рівнів сигналу, отриманих при моделюванні. Розрахунок був зроблений на 3D карті.

Розрахунок в Urban area (місто-щільна забудова). Азимути 0/120/240. Висота підвісу антен 32м / 30,5м / 30,5м, відповідно 1-ий сектор / 2-й сектор / 3-й сектор.

Електричний нахил (electrical tilt) - 4 на всіх секторальних антенах.

Кути механічного нахилу 2/0/0.

Також у вікні вказані рівні RSRP.

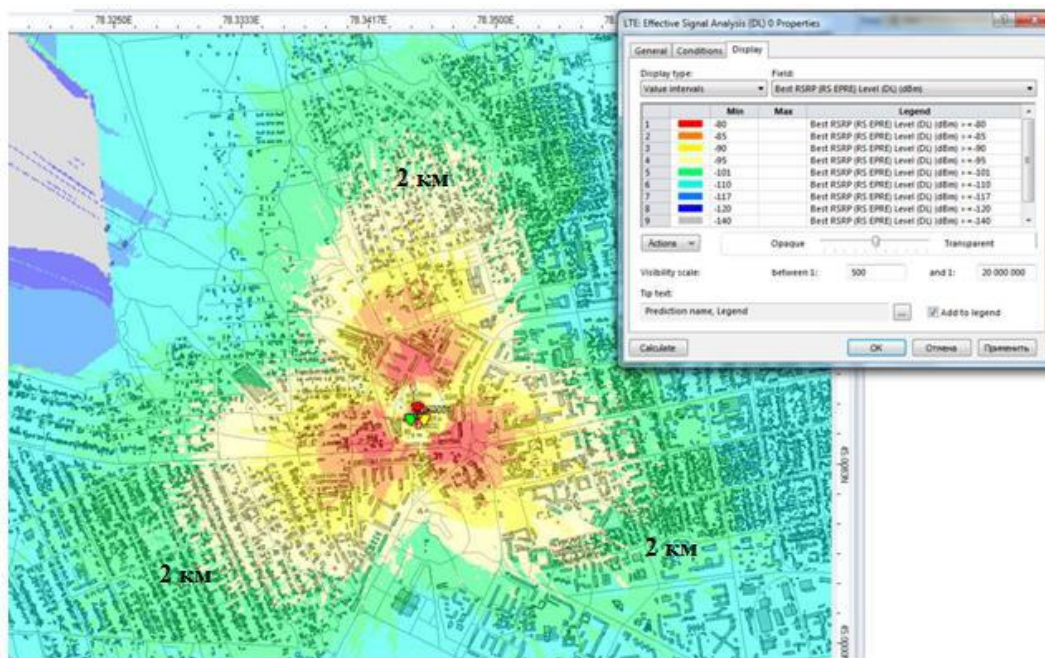


Рис. 5. Розподіл потужності сигналу, отримане в результаті моделювання, при електричному Тілт 40

А тепер розглянемо розрахунок на прикладі того ж місця але вже з електричним тілтом 8 градусів. Так як сайт розташований в місцевості з щільною забудовою багатоповерхових будівель і для зменшення інтерференції були сконфігуровані кути нахилу більшої величини (Рис. 6).

Як видно з розрахунку покриття зменшилося але рівень сигналу (до -101 dBm) допустимого для indoor користування LTE сконцентрувався в радіусі 1200 - 1500 метрів.

Результати моделювання співпали з результатами розрахунку:

розрахунок 1,6– 2, 1км;

моделювання 1,5 – 2,4 км.

Відносна похибка  $\sigma \frac{0,1}{1,85} 100 = 5,4\%$

Особливістю радіоінтерфейсу в лінії «вниз» мережі E-UTRAN є використання технології множинного доступу OFDMA - мультиплексування з ортогональним частотним поділом. Одна з основних цілей використання технології OFDMA є боротьба з перешкодами, викликаних багатопроблемним поширенням сигналу, так як OFDM-сигнал розглядається як безліч повільно модульованих вузькосмугових сигналів, а не як один швидко модульований широкосмуговий сигнал. Технологія OFDM заснована на формуванні багаточастотного сигналу, що складається з безлічі піднесуть частот. При формуванні OFDM-сигналу потік

послідовних інформаційних символів тривалістю  $T_i / N$  розбивається на блоки, що містять  $N$  символів;  $T_i$  - тривалість одного символу. Блок послідовних інформаційних символів перетворюється в блок паралельних символів, в якому кожен інформаційний символ відповідає певній частоті багаточастотного сигналу.

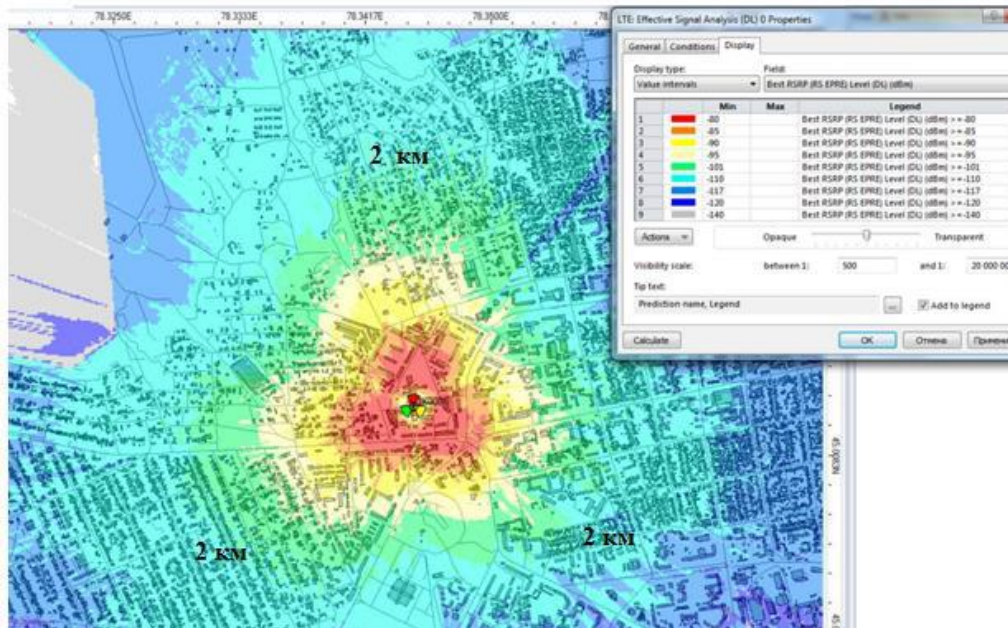


Рис. 6. Розподіл потужності сигналу, отримане в результаті моделювання, при електричному Тіліті 80

LTE використовує OFDM для формування низхідного каналу, тобто каналу від базової станції до мобільного пристрою. OFDM відповідає вимогам LTE до спектральної гнучкості і дозволяє створювати ефективні за витратами рішення для широкосмугових несучих з високими піковими швидкостями передачі даних.

Це добре опрацьована технологія, про що свідчить цілий спектр стандарти, таких, як, наприклад, IEEE 802.11a / b / g, 802.16, HIPERLAN-2, DVB і DAB. OFDM використовує багато вузькосмугових піднесучих для забезпечення передачі. Базовий спадний канал LTE на фізичному рівні можна розглядати, як частотно-часову решітку, як показано на рис.7 У частотній області, проміжки між піднесучими  $\Delta f$ , становлять 15 кГц. Крім того, тривалість "символу" OFDM становить  $1 / \Delta f + \text{префікс циклічності}$ . Префікс циклічності використовується для забезпечення ортогональності між піднесучими навіть в умовах радіоканалу з дисперсією за часом.



Рис. 7. Структурна схема прямого формування OFDM-сигналів

Один ресурсний елемент формується модуляцією QPSK, 16QAM або 64QAM. У

випадку, якщо використовується модуляція 64QAM, кожен ресурсний елемент забезпечує передачу 6 біт інформації. Символи OFDM згруповані в ресурсні блоки. Ресурсні блоки мають розмір в 180 кГц в частотному вимірі і 0.5 мс в часовому вимірі. Кожен часовий інтервал передачі (TTI, Transmission Time Interval) складається з двох слотів (Tslot).

Кожному користувачеві присвоюється певна кількість ресурсних блоків в частотно-часовій решітці. Чим більше ресурсних блоків призначається користувачу, і чим вищий ступінь модуляції використовується у формуванні ресурсних елементів, тим більший виходить бітрейт.

Для формування групового сигналу висхідних каналів в мережах LTE використовується схема мультиплексування з частотним рознесенням з передачею на одній несучій SC-FDMA.

SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - множинний доступ з частотним поділом на базі однієї несучої) - перекодована версія OFDM. Дозволяє вирішити проблему за рахунок об'єднання ресурсних блоків таким чином, що скорочуються вимоги до лінійності, а також до споживаної потужності підсилювача. Менші значення PARP крім того покращують покриття і продуктивність слотів.

Формування сигналу в частотній області згідно зі схемою, представленої на рис.8 дозволяє використовувати перевагу схеми з ортогональним частотним рознесенням, яке полягає в ефективному використанні частотного ресурсу. При цьому захисний інтервал в частотній області між сигналами різних абонентів може бути опущений. Як і в системах з OFDM, в тимчасовій області періодично додається ЦП, але така процедура проводиться над блоком елементарних символів. Введення такого ЦП дозволяє уникнути МСІ між SC-FDMA символами або між блоками елементарних символів.

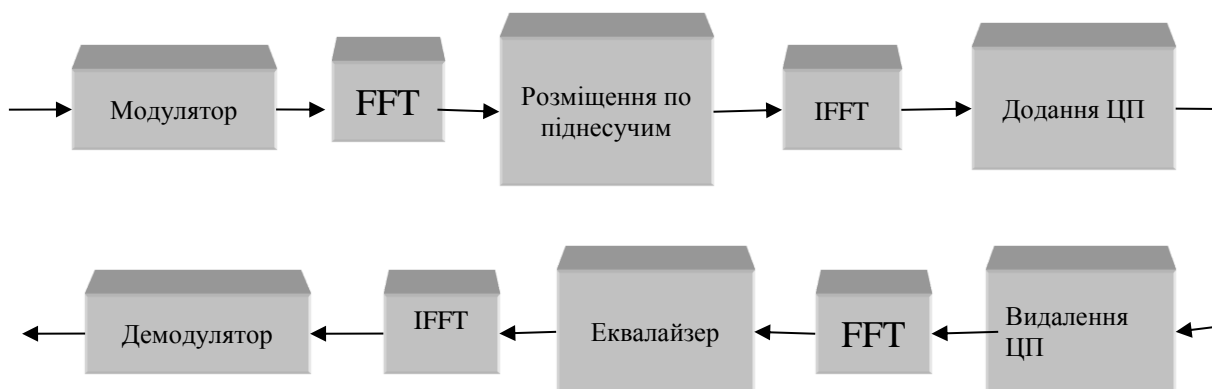


Рис. 8. Передача даних за допомогою технології SC-FDMA

Технологія MIMO в мережах LTE грає одну з важливих ролей у забезпеченні високих швидкостей передачі даних.

MIMO (Multiple Input Multiple Output - множинний вхід - множинний вихід) - технологія, яка представляє собою бездротовий доступ, що передбачає використання декількох передавачів і приймачів для одночасної передачі більшої кількості даних. Це технологія, яка використовується в бездротових системах зв'язку (WIFI, WI-MAX, стільникові мережі зв'язку), що дозволяє значно поліпшити спектральну ефективність системи, максимальну швидкість передачі даних і ємність мережі.

Для організації технології MIMO необхідна установка декількох антен на передавальній і на приймальній стороні. Зазвичай встановлюється рівне число антен на вході і виході системи, тому в цьому випадку досягається максимальна швидкість передачі даних. Щоб показати число антен на прийомі і передачі разом з назвою технології «MIMO» зазвичай згадується позначення «АхВ», де А - число антен на вході системи, а В - на виході.

MIMO використовує ефект передачі радіохвиль, званий багатопроменевим поширенням, коли сигнали, які передаються, відбиваються від безлічі об'єктів і перешкод і приймаюча антена сприймає сигнали під різними кутами і в різний час. Із застосуванням технології

MIMO стає можливим збільшити завадостійкість каналів зв'язку, зменшити відносно число бітів, прийнятих з помилкою. Робота систем MIMO може бути організована за двома принципами: за принципом просторового ущільнення і за принципом просторово-часового кодування.

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

Антенні конфігурації технології MIMO можуть брати симетричні ( $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$ ) і асиметричні ( $1 \times 2$ ,  $2 \times 4$ ) значення. На рисунку 8 показана структурна схема MIMO-системи з двома передавальними і двома приймаючими антенами, реалізована за принципом просторово-часового кодування.

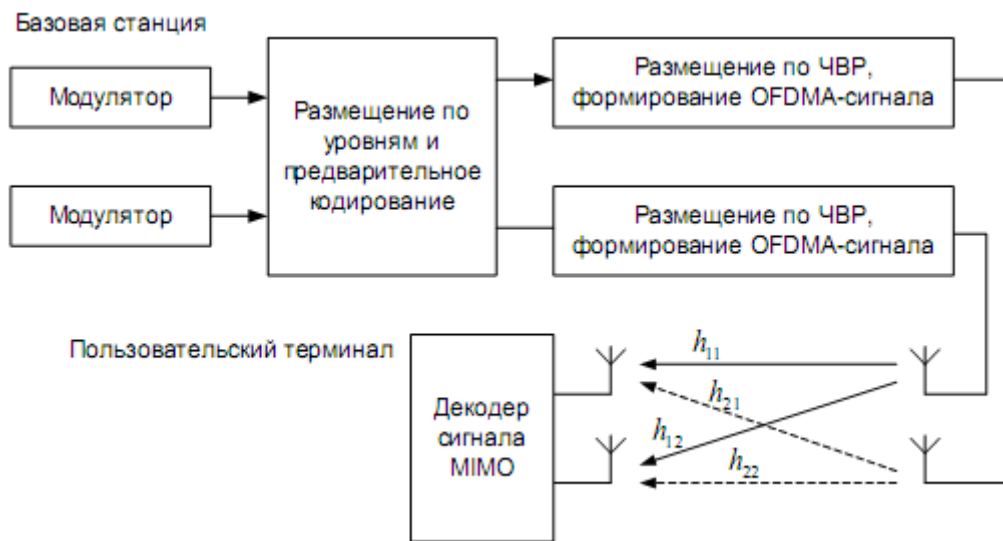


Рис. 9. Структурна схема MIMO-системи  $2 \times 2$

MIMO-принцип дозволяє зменшити кількість помилок при радіообміні даними (BER) без зниження швидкості передачі в умові їх множинних перевідбиттів сигналів. При цьому багатоеlementні антенні пристрої забезпечують:

- розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній мертвих зон;
- використання декількох шляхів розповсюдження сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менше проблем із завмираннями, перевідбиваннями;
- збільшення пропускної здатності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів (розділених просторово, за допомогою ортогональних кодів, частот, поляризаційних мод).

### Висновки

У процесі аналізу ефективності методики визначення оптимального підвісу антени для забезпечення максимальної потужності технологій LTE були вирішені наступні завдання:

- розглянуті основні принципи, що використовуються при побудові мереж на основі LTE;

При аналізі підходу до оцінки поширення радіосигналу в мережі LTE були враховані фактори поширення радіосигналу в умовах сильно пересіченій місцевості (рельєфу) і різної щільності міської забудови.

При розрахунку втрат враховувалася різна висота підвісу антен приймаючого пристрою, що характерно для мультисервісних мереж, що використовують бездротові технології. При розрахунку втрат враховувалася також різна висота підвісу антени БС.

Розрахунок рівня радіосигналу в точці прийому проводився також для різних висот підвісу антен БС і приймаючого пристрою. Отримані графіки можуть використовуватися для практичного застосування при оперативній оцінці рівня сигналу на різних відстанях від БС.

Результати розрахунку порівнювалися з результатами моделювання поширення радіосигналу, виконаного за допомогою програмного забезпечення Atoll. Відносна похибка склала 5,4%.

Використання ортогонального частотного (OFDM) та просторового (MIMO) рознесення, які є найважливішими напрямками в розвитку технологій мобільного зв'язку нових поколінь, потенційно забезпечує наближення їх спектральної ефективності. Однак, подальший еволюційний розвиток систем стільникового зв'язку з множинними антенами та OFDM неможливий без максимально повного використання усіх наявних ресурсів часової, частотної, просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів, а також завадостійкого кодування, щоб мінімізувати передану потужність і, в той же час, збільшити пропускну здатність системи зв'язку шляхом її адаптації до стану радіоканалу.

Аналіз тестів швидкості, досягнутої в мережах LTE в різних місцях Солом'янського району, що в порівнянні з мережами 3G швидкості зросли в 130 - 500 разів.

Це говорить про певну ефективності від впровадження мереж LTE, а також показує, що для більш повного задоволення потреб абонентів розвиток мереж необхідно продовжити.

### **Список використаної літератури**

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2007.
3. Аналитический обзор ericsson 284 23-3153 Uen | апрель 2011г. 13 Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с. 14 Слюсар В. Системы MIMO. Принципы построения и обработка сигналов. Электроника: Наука, Технология, Бизнес 8/2005

### *Автори статті*

**Дищук Анатолій Станіславович** - кандидат технічних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Сороченко Ігор Вікторович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Парунов Максим Олексійович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Чеканов Станіслав Олегович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Карпець Микола Олексійович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

### *Authors of article*

**Dyshchuk Anatoliy Stanislavovych** - candidate of Science (technic), State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Sorochenko Ihor Viktorovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Parunov Maksym Oleksiyovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Chekanov Stanislav Olehovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Karpets' Mykola Oleksiyovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 09.10.2018 р.

Рецензент: к.т.н., доцент О.М. Ткаченко