

## ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СИСТЕМ У МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

© Семенко А.І., Шокотько А.А., 2014

Показано актуальність використання радіорелейних систем у мережах мобільного зв'язку, які дають змогу створювати розгалужену мережу доступу з великою пропускну здатністю і з достатньо гнучкою для зміни топологією без великих втрат коштів і часу. Зазначено, що ефективна робота радіорелейних мереж досягається технічно правильним плануванням обладнання, частот, ємностей прольотів і їх параметрів, забезпеченням прямої видимості прольоту, стійкості конструкції до вітрових навантажень, стабільності електроживлення, мінімальних завад через інтерференцію сигналів у мережі. Підкреслюється здатність радіорелейного обладнання працювати в гібридному режимі з одночасним використанням стандартів PDH/SDH спільно з IP пакетами і цим досягати універсального рішення для передавання даних на рівні доступу мобільних мереж.

Ключові слова: мережа доступу, радіорелейна станція, радіорелейна мережа, планування мережі, топологія вузлів, пряма видимість, завмирання сигналу.

A. Semenکو<sup>1</sup>, A. Shokotko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State University of Telecommunications, <sup>2</sup>Company “BICS”

## FEATURES OF MICROWAVE TRANSMISSION PLANNING IN THE MOBILE NETWORKS

© Semenکو A.I., Shokotko A.A., 2014

Showing the relevance of the use of microwave systems in the mobile networks, which make it possible to create developed access layer of the transmission network with large bandwidth and flexibility enough to change topology without great loss of time and money. It's very actual to use the modern microwave equipment, which works in the range of frequencies, which are called E-band (70-80 Ghz), and it is possible to reach the transmission speed rates up to 2.5 Gb/s. Such transmission speed is enough to satisfy the need not only of 3G base station, but LTE as well. It is noticed, that in the countryside and in small towns concentration of base stations is reduced in comparison with cities, as each station can cover a large area due to fewer obstacles to propagation of radio waves and a low density of subscribers. In such cases, microwave equipment that combines the advantages of low cost and high performance with characteristics that can compete with the wire communications, also is the best solution for the deployment of transmission networks on access levels. It is noted that the effective operation of microwave networks is achieved technically by the correct technical planning of the equipment, frequencies, capacities spans and their parameters, providing direct visibility of the microwave link, stable design of the supporting structure considering its wind loads, power sources stability, minimal losses caused by interfering signals in the network. In the current work the main requirement to the microwave networks structure and performance in the mobile operators transmission networks during the planning and implementation stages are described. The mains point and stages of the microwave transmission networks planning process are listed. The features of microwave transmission systems are described: signal in a

radio link can be transmitted with vertical or horizontal polarization, vertical polarization signal is less affected by natural rainfall, but during the frequency planning it is often necessary to use horizontal polarization signal, the microwave stations are commonly used parabolic antennas with aperture diameter up to 2m. Depending on the microwave network geographical position it is necessary to take into the account local terrain and climate conditions, which have strong impact on the microwave links performance and microwave network planning. Also, it is possible to estimate microwave planning quality by calculating special indexes which can show the microwave network work availability, frequency planning efficiency. Emphasized the ability of microwave equipment to work in hybrid mode while using the standard PDH/SDH together with IP packets and thus achieving universal solution for data -level access to mobile networks.

**Key words:** access network, microwave transmission, microwave network, network planning, network topology, line of sight, signal fading.

**Постановка задачі.** Мобільні оператори і провайдери послуг зв'язку стикаються з необхідністю постійно нарощувати швидкість передавання даних для надання користувачам повного спектра сучасних послуг голосового і відеозв'язку, широкосмугового доступу до Інтернету та таких медіа-сервісів, як потокове відео. Для успішної роботи оператора вкрай важливо мати добре розгалужену мережу доступу з великою пропускнуою здатністю і, одночасно, з достатньо гнучкою для зміни топологією без великих втрат коштів і часу.

Основним завданням трансмісійних мереж є забезпечення передавання даних між контролером (BSC, RNC) і базовими станціями. У міській місцевості висока концентрація базових станцій через велику кількість абонентів, при цьому необхідно забезпечити якісне покриття стільникової мережі в умовах щільної міської забудови. Враховуючи вартість обладнання, прокладання оптоволоконного кабелю та плату за оренду місця в кабельних каналізаціях економічно невигідно використовувати проводований зв'язок для кожної з базових станцій. У зв'язку з цим в межах міста оптимальною топологією є побудова оптичних вузлів агрегації трафіку, до яких підключена певна кількість радіорелейних станцій. Отже, використовуючи сучасне радіорелейне обладнання, що працює в Е-діапазоні (70–80 ГГц), можна досягти швидкості передавання даних до 2.5 Гбіт/с на кожен сайт, що цілком достатньо для забезпечення трансмісії не тільки для 3G, а й для LTE стандартів.

У мережах доступу інтернет-провайдерів найчастіше радіорелейне обладнання використовується для організації останньої милі або для під'єднання невеликих селищ до опорної мережі провайдера. При цьому використовуються одиничні радіорелейні прольоти, які не вимагають складного планування мережі. Сучасні радіорелейні системи, що працюють в частотних діапазонах 70 – 90 ГГц на відстань кількох кілометрів і мають велику швидкість передавання даних (2 – 2,5 Гб/с), ідеально підходять для цього.

**Принципи планування радіорелейних систем.** У трансмісійних мережах мобільних операторів для радіорелейних прольотів використовується обладнання широкого діапазону частот, починаючи від 6 ГГц до 80 ГГц (табл. 1). Радіорелейне обладнання з'єднується у складну топологію, що складається з великої кількості станцій, які мають різні схеми захисту трафіку і резервування обладнання. У зв'язку з цим ефективна робота радіорелейних мереж вимагає технічно правильного планування обладнання, частот, ємностей прольотів і параметрів радіорелейних прольотів.

Грунтуючись на вихідних даних, готують так званий високорівневий дизайн мережі (high level design – HLD), що описує загальну концепцію мережі, топологію ключових вузлів, сервіси і види їх захисту на різних рівнях мережі, рішення щодо інтеграції обладнання в систему управління, рішення щодо синхронізації, типи використовуваного обладнання тощо. Після затвердження HLD дизайну створюється попередня топологія мережі, що містить ключові вузли мережі, на підставі якої формується перелік необхідного обладнання.

Услід за HLD починається підготовка низькорівневого дизайну мережі (low level design – LLD), який містить таку інформацію: фінальний варіант топології мережі, розрахунки параметрів всіх радіорелейних прольотів, список обладнання, необхідного для запуску кожного з прольотів, схеми підключення обладнання, частотне планування мережі та розрахунок ємності прольотів, планування параметрів обладнання для інтеграції в систему управління.

Таблиця 1

**Основні характеристики сучасних радіорелейних станцій**

Параметри	ВАТ Олимп, Україна	НТЦ Натекс, Росія	АО SAF Technika, Латвія	Simens, Німеччина	Huawei, Китай	BrigWav Com, США
1 Робоча частота, ГГц	7-8	7;8;11;13;15; 19;22;26;38	7;13;18;38	15;18;23; 26	7;15;23; 32; 81-86	71-76; 81-86
2 Смуга пропускання, МГц	28	-	28	28;56	7;14;28;5 6250;500	-
3 Пропускна здатність, Мбіт/с	155	155	155	SDH STM - 1	183-2500	1250
4 Вид модуляції	128QAM	128 QAM	128 QAM	256 QAM	256QAM - 2048QAM	256 QAM
5 Потужність передавача, дБм	22	24-15	24-14	19.5-14.5	24-16	19.5-14.5
6 Чутливість приймача, дБм	-	- 68 для BER $10^{-6}$	- 71... - 68 для BER $10^{-6}$	- 81.5 для BER $10^{-3}$	-71.5... -56.5 для BER $10^{-6}$	- 57 для BER $10^{-6}$

Після погодження та врахування всіх даних про об'єкти-кандидати їх координати вносяться в програму планування для побудови попередньої топології мережі з використанням популярних серед інженерів операторів мобільного зв'язку програм Pathloss, Atoll, IQ link та інших.

Базовим параметром налаштувань програмного забезпечення є вибір використовуваного датуму для прив'язки географічних даних місцевості до математично апроксимованої моделі Землі. Найчастіше використовується датум WGS84 (World Geodetic System 1984), одержаний у результаті точних супутникових вимірювань. Далі необхідно задати систему координат, яку використовуватиме програмне забезпечення. Система координат UTM (Universal Transverse Mercator) дає малу похибку під час визначення місцяположення і розрахунку напрямку радіопрольоту. Територія України розміщена в чотирьох UTM зонах – від 34N по 37N.

Під час розрахунку необхідної мінімальної висоти підвісу антен у програмному забезпеченні враховують явище рефракції радіопроменів і радіус викривлення земної поверхні, які визначаються К-фактором, що залежить від кліматичної зони, де розташований радіорелейний проліт. У табл. 1 та на рис. 2 наведено умови поширення сигналу залежно від К-фактора.

Кліматична зона, в якій розташована місцевість, визначається кількістю річних опадів. Підібрати правильну зону можна з використанням таблиці, описаної в рекомендаціях ITU-R. Практично вся територія України розміщена в кліматичній зоні, де  $K=1,133$ , з середньою інтенсивністю опадів близько 40 мм/год і є сприятливою для розгортання радіорелейних мереж.

Під час планування мереж важливо визначити необхідну інформаційну ємність радіорелейних ліній, яка залежить від вибраної позиції радіорелейного прольоту в топології. На крайніх прольотах, що передають дані від декількох базових станцій, значення необхідної сумарної ємності та смуги пропускання каналу невеликі, що спрощує частотне планування мережі. На радіорелейних прольотах, які агрегують трафік з великої кількості сайтів, потрібно використовувати більші

значення ширини частотних каналів та багатопозиційну модуляцію. У мережах мінімальна кількість потоків E1 визначається простим підсумовуванням потоків від кожного сайту. У випадку з передаванням Ethernet трафіку із використанням технології MPLS корисна пропускна здатність каналу зменшується у зв'язку з передаванням додаткових службових заголовків. Причому пропускна здатність систем у разі використання IP технологій значно вища, ніж з використанням TDM.

Таблиця 2

Умови поширення сигналу залежно від К-фактора

Значення К-фактора	Умови поширення сигналу
0.67 (2/3)	Субрефракція
1	Радіохвилі, паралельні до поверхні Землі
1.33 (4/3)	Нормальні умови поширення
$\infty$	Надrefракція
-0,5 (-1/2)	Поширення радіохвиль в атмосферному хвилеводі

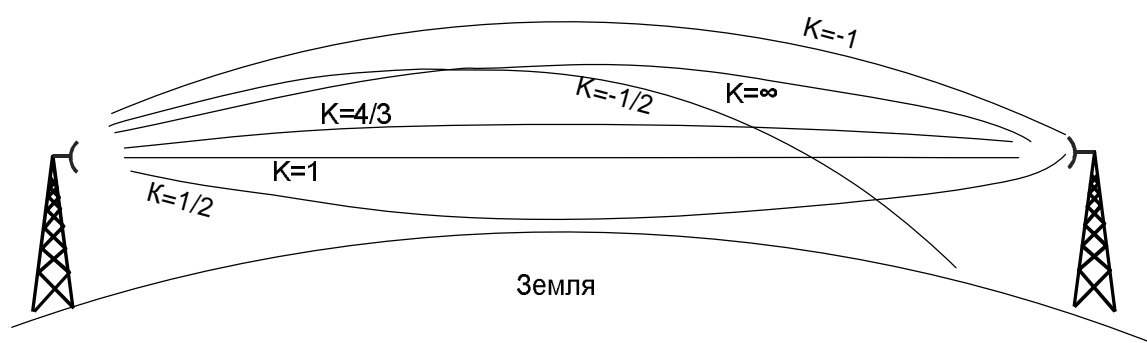


Рис. 1. Умови поширення радіохвиль залежно від К-фактора

Далі важливо визначити ймовірність падіння рівня сигналу нижче від чутливості приймача внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль. Дослідно визначено, що ймовірність загасання радіорелейного сигналу через ефект багатопроменевого поширення радіохвиль можна описати розподілом ймовірності за законом Релея (рис. 3). В Україні для планування радіорелейних прольотів використовується формула для розрахунку ймовірності завмирань відповідно до рекомендації ITU-R P.530 - 9.12:

$$p_w = K \cdot d^{3,2} \cdot (1 + |e_p|)^{-0,97} \cdot 10^{0,032f - 0,00085h_L - \frac{A}{10}}, \quad (1)$$

де  $f$  – частота сигналу;  $h_L$  – висота підвісу нижчої антени;  $K$  – геокліматичний коефіцієнт;  $\epsilon_p$  – кут нахилу траєкторії;  $A$  – запас на загасання радіорелейного прольоту;  $d$  – довжина прольоту.

Після опису характеристики місцевості можна перейти до розрахунку частотних та енергетичних параметрів прольоту і вибору обладнання, враховуючи наведені величини параметрів.

1. Доступність радіорелейного прольоту на рік. Зазвичай радіорелейний проліт повинен функціонувати не менше ніж 99.995 % часу на рік (не більше ніж 26 хвилин непрацездатності).

2. Значення запасу на загасання сигналу Fading margin > 30 дБм, який визначається як різниця між прийнятим сигналом і чутливістю приймача.

3. Середній рівень прийнятого сигналу 44 дБм. На коротких відстанях високий рівень сигналу може призвести до несправності радіоблоків, а також підвищеного рівня інтерференції між радіорелейними прольотами.

Для розрахунку рівня сигналу на вході приймача використаємо формулу:

$$P_{np} = P_n \cdot G^2 \cdot I^2 / 16 \cdot p^2 \cdot L, \quad (2)$$

де  $P_n$  – потужність сигналу передавача;  $G$  – коефіцієнт підсилення антени станції;  $\lambda$  – довжина хвилі сигналу;  $L$  – втрати сигналу під час поширення.

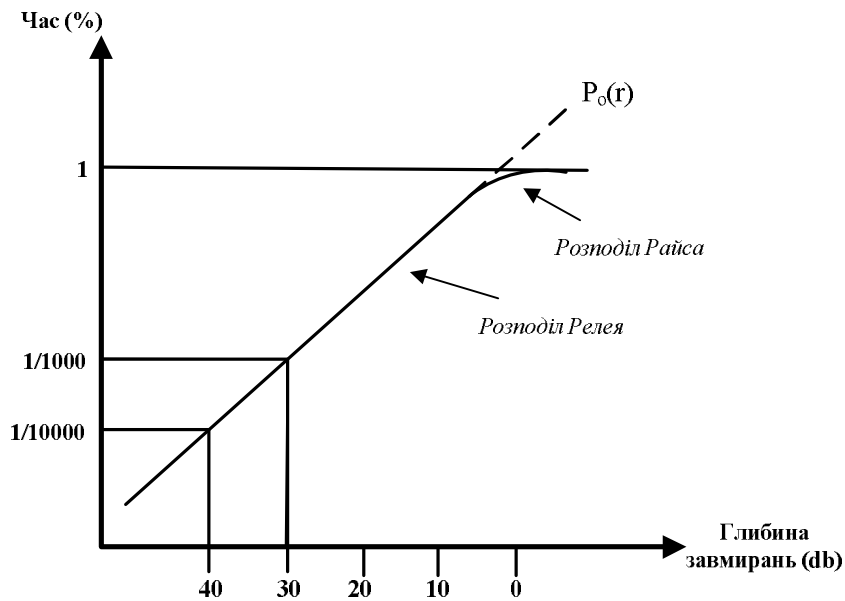


Рис. 2. Тривалість релєєвських завмирань залежно від їх глибини: розподіл Релея – швидкі завмирання, розподіл Райса – повільні завмирання

Першим параметром, який вибирають на початку розрахунку енергетичних характеристик радіорелейного прольоту, є робочий частотний діапазон. Вибір частоти залежить передусім від протяжності радіорелейного прольоту, кліматичних умов та можливості отримання ліцензії.

Використовуючи технології ХРІС (одночасне передавання двох каналів з горизонтальною та вертикальною поляризаціями), встановлюють двополяризаційні антени.

Існують різні види інтерференції сигналів, які необхідно враховувати, вибираючи частотні канали радіорелейних прольотів: вплив віддаленого іншого радіорелейного прольоту; сигнал сусіднього радіорелейного прольоту відбивається від елементів рельєфу в бік приймача; відбиття переданого сигналу в бік власного приймача; інтерференція внаслідок деполаризації переданого сигналу; впливи передавача на віддалений приймач двох віддалених радіорелейних прольотів під час побудови системи за топологією “Ланцюжок”.

Для ефективного використання радіоресурсів частотні діапазони, в яких працюють радіорелейні системи, розділяються на частотні канали з певною шириною. Рекомендації ІТУ-Р серії F описують правила розрахунку частотних каналів залежно від частотного діапазону, частотного рознесення між передавальним обладнанням на двох кінцях прольоту та ширини частотного каналу. Якщо правильно сплановано топологію, за умов місцевості можна обійтися зміною поляризації розміщених поруч радіопрольотів замість використання додаткових частотних каналів.

Якщо ослаблення паразитного сигналу завдяки крос-поляризаційній селекції антени та характеристикам обладнання для каналів з різною поляризацією недостатньо для зменшення рівня інтерференції до прийнятної величини, необхідно використовувати додатковий набір частот. Приклад такої топології та частотного планування показано на рис. 3, де цифрами позначено номери частотних каналів.

Зазначимо, що на довгих ділянках мережі за містом доцільно використовувати низькі робочі частоти, а на коротких ділянках у міській місцевості – високі робочі частоти.

Коефіцієнт повторного використання частотних каналів показує ефективність планування частот

$$FCR = \frac{\text{кількість радіорелейних прольотів}}{\text{(кількість частотних каналів)}}.$$

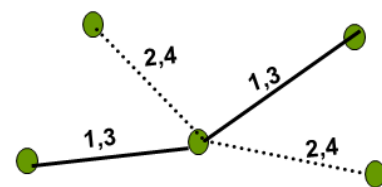


Рис. 3. Частотне планування радіорелейних каналів

Коефіцієнт використання спектра відображає середній приріст швидкості для всієї мережі

$$NSP = \frac{\text{сума ємностей всіх радіорелейних прольотів}}{(\text{сумарний частотний спектр всіх радіорелейних прольотів})} [\text{біт/Гц}]$$

Конструктивно сучасні радіорелейні станції виконуються у вигляді моноблока, до складу якого входять електронні пристрої та антена.

Сучасне радіорелейне обладнання здатне працювати в гібридному режимі з одночасним використанням стандартів PDH/SDH спільно з IP пакетами, досягаючи універсального рішення для передавання даних на рівні доступу мобільних мереж.

### Висновки

1. У разі створення мереж мобільного зв'язку в межах міста оптимальною топологією є побудова оптичних вузлів агрегації трафіку, до яких під'єднана певна кількість радіорелейних станцій, які можуть реалізувати швидкість передавання даних до 2.5 Гбіт/с на кожен сайт, що цілком достатньо для забезпечення трансмісії не тільки для 3G, а й для LTE стандартів. Причому в разі зміни топології мережі радіорелейне обладнання доволі просто переноситься на сусідню будівлю зі збереженням розміщення ключових оптичних сайтів.

2. Положення та роль сайта в топології трансмісійної мережі визначається наявністю прямої видимості між цим сайтом та іншою частиною мережі, вітровим навантаженням на конструкцію з антеною, стабільністю електроживлення на сайті, можливістю цілодобового доступу до обладнання станції та укладання довгострокового договору оренди.

3. Під час розрахунку необхідної мінімальної висоти підвісу антен враховують явище рефракції радіопроменів і радіус викривлення земної поверхні, які визначаються К-фактором, що залежить від кліматичної зони, де розташований радіорелейний проліт. Практично вся територія України розміщена в кліматичній зоні з  $K=1,133$ , середньою інтенсивністю опадів близько 40 мм/год і є сприятливою для розгортання радіорелейних мереж.

4. У мережах мінімальна кількість потоків E1 визначається простим підсумуванням потоків від кожного сайта. У випадку з передаванням Ethernet трафіку з використанням технології MPLS корисна пропускна здатність каналу зменшується у зв'язку з передаванням додаткових службових заголовків. Причому пропускна здатність систем у разі використання IP технологій значно вища, ніж з використанням TDM.

5. Якщо правильно сплановано топологію за умов місцевості, можна обійтися зміною поляризації розміщених поруч радіопрольотів замість використання додаткових частотних каналів.

1. *Справочник по радиорелейной связи / Н.Н. Каменский, А.Н. Модель, Б.С. Надененко и др.; под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.* 2. *Ingvar Hene, Per Thorvaldsen / Planning of line-of-sight radio relay systems. NERA TELECOMMUNICATIONS. Norway, 1994. – 156 с.* 3. *Бернард Склад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М., С.-Пб., К.: Вильямс, 2004. – 1104 с.* 4. *Столлинс В. Беспроводные линии связи и сети. – М., С.-Пб., К.: Вильямс, 2003. – 639 с.* 5. *Travor Manning. Microwave Radio Transmission Design Guide // ARTECH HOUSE, 2009.* 6. *Harvey Lehpamer. Microwave Transmission Networks. The McGraw-Hill Companies, 2009.* 7. *Рекомендації ITU-R серії F: <http://www.itu.int/rec/R-REC-F/en>.*