

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра “Транспортний зв’язок”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
“Технології мережевих вимірювань на залізничному транспорті”
спеціальності “Телекомунікаційні системи та мережі” та дисципліни
“Вимірювання в цифрових системах передачі” спеціальності “Автоматика
та автоматизація
на транспорті”

для студентів факультету
“Автоматика, телемеханіка і зв’язок” усіх форм навчання,
студентів і магістрів ІПК

Харків 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 24 березня 2014 р., протокол № 10.

Наведено теоретичні відомості про існуючі методи розрахунку дальності радіозв'язку на основі результатів радіовимірювань. На основі виконання індивідуального завдання, наведеного в методичних вказівках, базується курсова робота, сутність якої полягає в розрахунку втрат потужності передавача в ефірі та дальності радіозв'язку для різних стандартів систем радіозв'язку і при різних умовах використання таких систем.

Методичні вказівки призначено для студентів факультету АТЗ всіх форм і термінів навчання, студентів і магістрів ІППК.

Укладач

доц. М.О. Колісник

Рецензент:

проф. В.І. Мойсеєнко

Курсова робота “Розрахунок дальності радіозв’язку при вимірюваннях параметрів радіоєфіру при використанні різних технологій радіодоступу” та практичні заняття призначені для закріплення теоретичних знань і набуття практичних навичок і уміння в проведенні локальних радіочастотних вимірювань параметрів, оцінці дальності радіозв’язку на основі розрахунку втрат потужності передавача в ефірі та напруженості поля в точці приймання для різних стандартів систем радіозв’язку.

1 ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Виконання курсової роботи дозволяє систематизувати та розширити теоретичні знання студентів з дисципліни, сприяє формуванню вмінь та навичок інженерних розрахунків дальності радіозв’язку при організації вимірювань параметрів радіоєфіру мереж радіодоступу на основі різних технологій.

Курсова робота виконується на аркушах формату А-4 відповідно до вимог ДСТУ 3008-95.

Теоретична частина курсової роботи передбачає підготовку студентом реферату обсягом 10-15 сторінок, в якому мають бути висвітлені принципи та особливості вимірювань параметрів радіоєфіру та побудови мереж радіодоступу.

В розрахунковій частині студент виконує інженерні розрахунки дальності радіозв’язку систем діапазону ультракоротких хвиль (УКХ-діапазону), стільникових і транкінгових систем.

Варіанти індивідуальних завдань визначаються за допомогою таблиць, наведених в кожному розділі курсової роботи.

Для виконання практичних занять з дисципліни “Вимірювання в цифрових системах передачі” студенти користуються таблицями 1 – 3 і таблицями 6 – 7 для отримання вихідних даних та проводять розрахунки за розділами 1 і 2 з п. 1.4.

1.1 Основні теоретичні відомості

Радіочастотні вимірювання параметрів являють собою великий клас вимірювань, пов'язаних з аналізом параметрів радіочастотних каналів та систем бездротового зв'язку. До радіочастотних систем передачі відносяться всі засоби зв'язку, що використовують як середовище передачі радіоэфір. До таких засобів відносяться два типи систем передачі – радіорелейні та супутникові системи. Вимірювальні технології для обох типів систем передачі практично однакові [1-4]. Проте є деякі відмінності, зумовлені діапазонами вимірювань і умовами розповсюдження сигналу. Так, для радіовимірювань характеристик радіорелейних систем передачі важливою є оцінка параметрів затухання, пов'язаного з відбиттям від землі (затухання при багатопроменевому проходженні сигналу), в той час як для систем супутникового зв'язку більше значення для оцінки дальності радіозв'язку має затримка поширення сигналу. Доплерівський зсув по частоті суттєво впливає на дальність розповсюдження радіосигналу для систем супутникового радіозв'язку, але не має суттєвого впливу на дальність розповсюдження радіосигналу для радіорелейних систем передачі і т.д. Розрізняють такі основні наслідки, до яких призводить багатопроменеве поширення в радіоканалі:

- швидкі випадкові зміни форми сигналів на невеликій відстані протягом короткого часу. Невелика зміна взаємного розташування приймача, передавача і завад на величину всього лише близько чверті довжини хвилі призводить до суттєвих змін амплітуди і фази сигналу в точці приймання. Вимірювання в міських умовах показують, що різниця між максимальним і мінімальним значеннями рівня сигналу досягає 30 дБ;

- випадкові зміни частоти прийнятого сигналу. Постійний рух приймача, передавача і завад призводить до появи змінного часу доплерівського зсуву частот. Незважаючи на те, що максимальна величина доплерівського зсуву частот в діапазоні УКХ всього лише близько 100 Гц, вплив на працездатність приймача може бути значним.

Структурна схема цифрової первинної мережі, що використовує радіочастотні вимірювання параметрів, подана на рисунку 1.

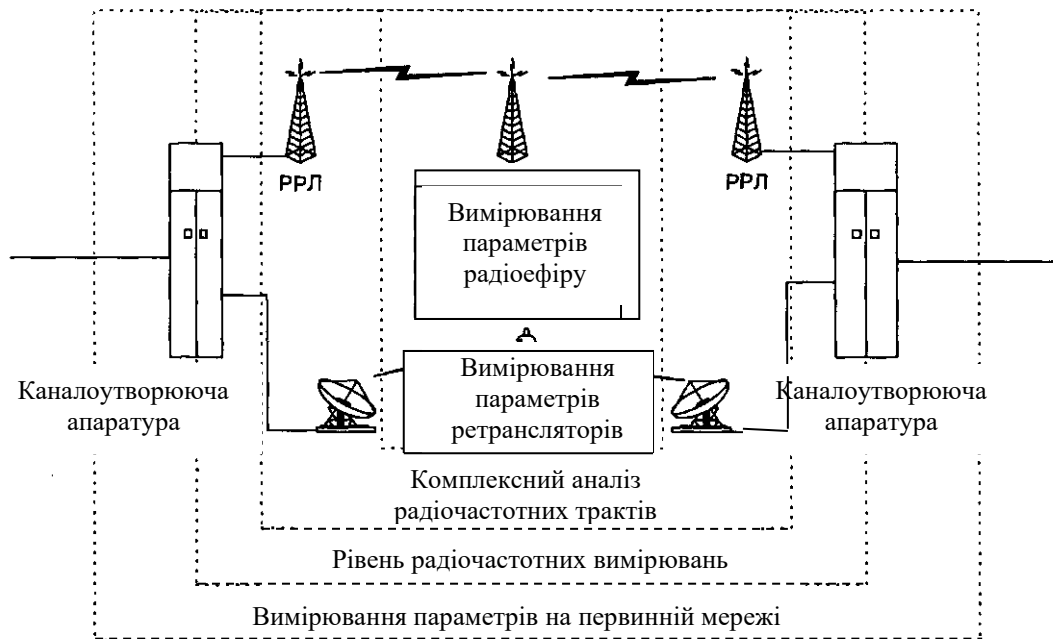


Рисунок 1 – Структурна схема організації радіочастотних вимірювань параметрів на первинній мережі

Згідно зі схемою, радіочастотні вимірювання входять складовою частиною в комплекс вимірювань на первинній мережі. З технології радіочастотних вимірювань виключаються вимірювання параметрів цифрових трактів системи передачі, так як вони пов'язані з аналізом параметрів цифрової первинної мережі незалежно від середовища поширення сигналу. Тому питання вимірювань безпосередньо параметрів цифрових каналів (такі, як вимірювання параметрів помилок контрольної суми, коефіцієнта помилок за символами, кількістю секунд з помилками) розглядаються тільки в контексті спільних вимірювань параметрів радіочастотних систем передачі. Основу радіочастотних вимірювань складають вимірювання параметрів радіоефіру, пов'язані з аналізом електромагнітної обстановки в усьому спектрі, використовуваному системою передачі.

1.2 Вимірювання параметрів радіоефіру

Аналіз радіочастотної обстановки виконується різними системами контролю радіочастотного ресурсу, в основі яких лежить один і той же принцип вимірювання – аналіз спектра сигналу в усьому досліджуваному діапазоні.

Системи контролю радіочастотного ресурсу виконують комплексний аналіз електромагнітної обстановки з прив'язкою на місцевості. В результаті вимірювань параметрів радіочастотного ресурсу виходять дані у вигляді карт розподілу інтенсивності електромагнітного поля в різних діапазонах. В залежності від регіону охоплення розрізняють системи радіоконтролю:

- національного значення, виконані за стандартами Міжнародного комітету радіозв'язку (ITU-R);
- місцевого значення (область, регіон), сумісні з національними системами контролю, проте охоплюють менший район;
- локальні для аналізу електромагнітної обстановки на локальному майданчику (наприклад, на місці установлення ретранслятора або приймально-передавальної станції).

Національні системи радіоконтролю. Побудова глобальних систем радіоконтролю – важлива національна програма, яка вимагає угод на рівні урядів. Для вирішення перерахованих завдань системи радіоконтролю національного значення повинні включати підсистеми управління спектром та контролю спектра.

Підсистема управління спектром повинна вирішити такі завдання:

- забезпечення планування використання радіочастотного ресурсу органами влади;
- створення та постійне оновлення баз даних по видаваних ліцензіях на право використання ресурсу;
- управління фінансовими надходженнями за використання радіочастотного ресурсу.

Підсистема управління спектром вирішує, в першу чергу, організаційно-правові питання контролю радіочастотного ресурсу країни.

Підсистема контролю спектра вирішує технічні задачі, до яких відносяться:

- пошук можливих джерел і причин інтерференції сигналів у всьому використовуваному діапазоні;
- перевірка відповідності сигналів існуючим нормам і ліцензіям;
- визначення нелегальних передавачів і джерел інтерференції.

Підсистема управління спектром включає в себе єдину національну базу даних (БД) стану електромагнітної обстановки по регіонах, БД за ліцензіями, а також робочі місця операторів центру контролю електромагнітної обстановки, стаціонарні, мобільні і портативні точки моніторингу спектра. Ці точки об'єднуються через мережу передачі даних, а інформація концентрується в обласних центрах обробки інформації, з яких потім передається в єдиний центр для остаточної обробки, зберігання, планування та оптимізації використання радіочастотного ресурсу.

Системи радіоконтролю обласного та місцевого значення. Ці системи відрізняються від описаних тільки розміром мережі передачі даних. Як правило, системи обласного та місцевого значення використовуються обласною адміністрацією та великими операторами мереж радіозв'язку для контролю та оптимізації використання різних ділянок спектра. Системи радіоконтролю обласного та місцевого значення зазвичай будуються за принципом радіальної топології з центром обробки даних і пов'язаними з ним стаціонарними і мобільними точками контролю спектра. На відміну від національних систем радіоконтролю системи обласного та місцевого значення не включають набір приймачів усього використовуваного спектра, оскільки основним завданням є контроль використання певної його частини. У світовій і вітчизняній практиці набув поширення досвід застосування таких систем регіональними управліннями органів контролю за використанням радіочастотного ресурсу.

Крім спеціальних систем з контролю за використанням радіочастотного ресурсу, до систем обласного та місцевого значення можна віднести системи аналізу зон покриття послугами бездротових мереж радіозв'язку. Оператори мереж

бездротового радіозв'язку, в першу чергу, стільникових мереж, використовують такі системи для аналізу ефективності завантаження виділеного їм радіочастотного ресурсу, а також для аналізу зон впевненого приймання сигналів базових станцій мережі. Зазвичай такі системи відрізняються від систем радіоконтролю меншою функціональністю радіовимірювань і суттєво меншою вартістю. Так, для ефективної роботи системи регіонального контролю необхідний аналіз спектра в контрольованому діапазоні, для аналізу зон впевненого приймання/передачі досить вимірювань селективним приймачем, налаштованим на робочий діапазон. Проте в даний час функціональність систем аналізу зон впевненого приймання росте, до складу таких систем входять аналізатори спектра, в результаті чого можна відносити їх до спеціальних систем радіоконтролю регіонального значення.

Системи радіоконтролю локального призначення.

Системи контролю електромагнітної обстановки (ЕМО) локального значення являють собою пристрій (зазвичай аналізатор спектра з необхідним набором антен) для визначення параметрів радіоефіру при розміщенні джерела радіосигналу. Такі системи використовуються зазвичай для аналізу базових станцій систем радіозв'язку перед установленням, радіорелейних станцій, наземних станцій супутникового зв'язку і т.д. Основними завданнями локального аналізу ЕМО є:

- 1) визначення відповідності виділеного радіочастотного ресурсу заданим технічним умовам (відсутність у виділеному ресурсі неліцензованих джерел сигналу);
- 2) оптимізація розміщення джерела радіосигналу на заданій ділянці;
- 3) локалізація можливих перешкод і джерел інтерференції сигналу, які можуть призвести до порушення радіозв'язку.

Приклад організації вимірювань основних параметрів на боці передавача і боці приймача радіочастотного тракту наведено на рисунку 2.

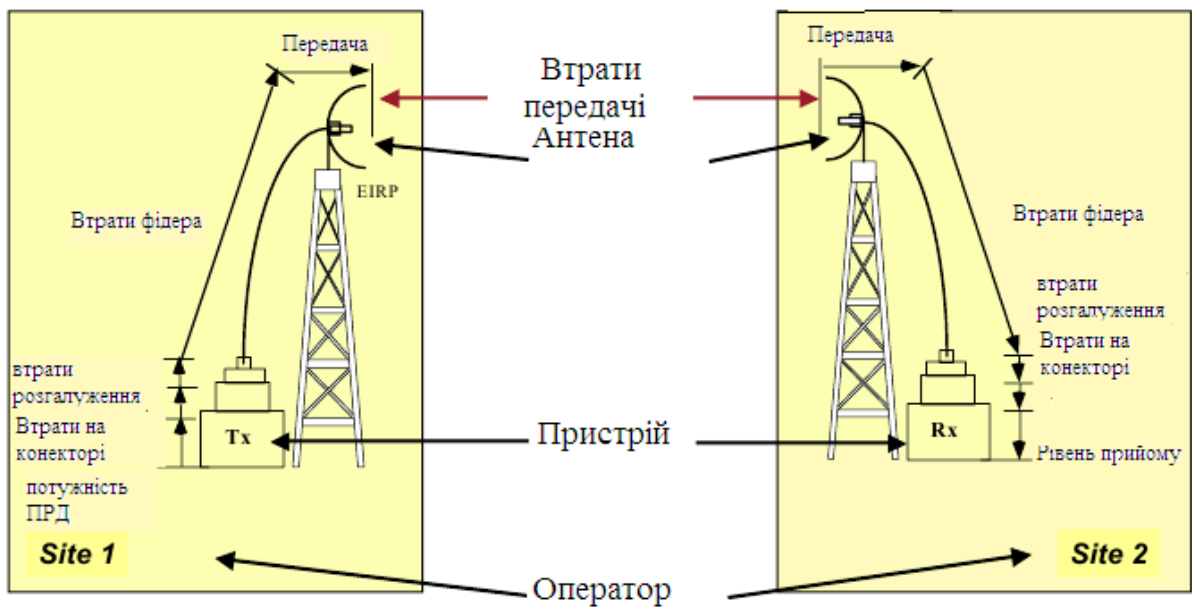


Рисунок 2 – Приклад структурної схеми радіочастотного тракту з позначенням основних параметрів, що підлягають вимірюванням

Системи локального радіоконтролю можуть застосовуватися на етапі експлуатації систем радіозв'язку для контролю використання виділеного ресурсу та аналізу електромагнітної обстановки в робочому діапазоні системи. Як уже зазначалося, основу локальних систем радіоконтролю складають аналізатори спектра, які слід розділяти на високоточні стаціонарні і портативні. Високоточні аналізатори спектра використовуються для проведення вимірювань ЕМО при розміщенні вузлових станцій систем радіозв'язку або апаратури передачі. Портативні аналізатори спектра служать для налаштування антен абонентських терміналів систем супутникового зв'язку та систем радіозв'язку, а також для індикації і грубої локалізації джерел завад і інтерференції. Аналізатори спектра фірм-виробників Tektronix, Inc. і Agilent Technologies, Rohde & Schwarz проводять тестування відповідності або перевірки коректності реалізації протоколу; тестування продуктивності або тестування під навантаженням і перевірку поведінки системи у всьому діапазоні можливих значень параметрів специфікації; тестування спільного функціонування є ключовим моментом для мережевих операторів, що експлуатують обладнання різних виробників;

тестування взаємодії різних протоколів і систем сигналізації набуває важливого значення для сучасних мультисервісних телекомунікаційних мереж завдяки процесу конвергенції; тестування функціональності або регресійне тестування, коли нові функції встановлюються на комутаційне обладнання лише після того, як переконалися, що старі продовжують працювати коректно.

Контроль телекомунікаційних протоколів є не тільки останньою фазою тестування протоколів, а й найтривалішою і, мабуть, найважливішою. Є кілька причин, які свідчать на користь проведення періодичного або постійного контролю інтерфейсу між мережевими елементами, які перебувають в експлуатації. Такий контроль забезпечить: виявлення помилок при взаємодії протоколів, не виявлених на інших етапах тестування; виявлення несанкціонованого доступу до ресурсів з боку окремих абонентів; збір інформації про виклики (CDR) і транзакції (TDR); трасування викликів; виявлення зациклення повідомлень; контроль джерел і маршрутів проходження трафіку.

Аналізатори спектра декодують прийняті від численних каналів мережі сигналізації повідомлення і сигнали, перевіряють їх на предмет відповідності заданій специфікації, виділяють (як правило, червоним кольором) повідомлення або їх окремі параметри, що не відповідають специфікації.

Точно таким же чином вони відображають перевантаження, аварійні ситуації та багато іншого. Аналізатори не варто плутати з приладами, що здійснюють лише найпростіші функції контролю, коли вся інформація, яка приймається з лінії, декодується довільним чином без виділення помилкових повідомлень або параметрів. Професійні аналізатори володіють розвиненою системою фільтрації за різними критеріями. Фільтри дозволяють із загальної маси повідомлень (декількох десятків тисяч), накопичених, наприклад, за добу спостереження, виділити тільки ту інформацію, що цікавить користувача.

Найбільша точність розрахунків забезпечується при безпосередньому застосуванні рівняння, що описує модель «великої відстані» (4), з використанням експериментально виміряних параметрів моделі. Для наближеного аналітичного розрахунку ймовірнісної дальності радіозв'язку

використовуються методики на основі рекомендацій МККР (Міжнародний консультативний комітет з радіозв'язку - ITU-R) і рекомендацій EURO COST (Європейське об'єднання наукових і технічних досліджень). Обидві ці методики засновані на результатах статистичної обробки великої кількості експериментальних даних, які дозволяють визначити параметри моделі n , σ , L_0 для типових ситуацій (велике місто, передмістя, земна чи водна підстилаюча поверхня і т. д.).

Загальноприйняті методики розрахунку дальності радіозв'язку орієнтовані в основному на транкінгові мережі зв'язку. Ці мережі характеризуються відносно великою дальністю радіозв'язку (кілька десятків кілометрів) і відносно великою висотою підйому передавальних антен, розташованих на висотних будинках, триангуляційних вишках і т. д. При цих умовах припущення про «середнє» значення потужності виправдовується найбільшою мірою. Для розрахунку дальності зв'язку в спільниках невеликого розміру ці методики застосовані вже з великими застереженнями, оскільки припущення про «середню» рівномірність поля погано виправдовується на відстанях в декілька сот метрів і тим більше незастосовне для розрахунку загасання поля в будівлях. У будь-якому випадку результат розрахунку дальності радіозв'язку може бути тільки оціночним і достовірним настільки, наскільки реальні умови розповсюдження збігаються зі «середніми» і наскільки правильними є введені в модель поправочні коефіцієнти, що відображають конкретні умови регіону.

1.3 Розрахунок дальності радіозв'язку на основі параметрів, отриманих експериментальним шляхом

Типовий розрахунок дальності радіозв'язку на обмеженій території (ареалі) полягає у визначенні радіуса зони навколо передавача, всередині якої при заданій потужності передавача із заданою ймовірністю досягається величина напруженості поля, достатня для нормальної роботи приймача. При розрахунку транкінгових мереж зв'язку, в яких дальність зв'язку обмежена відстанню до горизонту з висоти підйому антени базової радіостанції, вирішується зворотна задача – визначення

потужності передавача, який із заданою ймовірністю створить в зоні прямої видимості напруженість поля, достатню для нормальної роботи приймача.

Відстань R від передавача, при якому досягається задана ймовірність встановлення радіозв'язку, називається дальністю радіозв'язку, а зона всередині кола з радіусом R - зоною радіозв'язку (радіопокриття). Очевидно, що при розрахунку дальності радіозв'язку слід брати до уваги не тільки ймовірність встановлення радіозв'язку на відстані R від передавача (на кордоні зони радіопокриття), але і всюди всередині цієї зони на довільній відстані від передавача $d < R$.

Розрахунок дальності радіозв'язку на основі експериментальних даних проводиться в такій послідовності:

1) за статистично достовірними результатами вимірювань потужності прийнятого сигналу в різних точках зони радіозв'язку та параметрами антенно-фідерного тракту передавача визначаються параметри моделі $L_0(d_0)$, n , σ ,

2) визначається мінімально допустимий рівень потужності P_0 , що забезпечує приймання інформації із заданою вірогідністю при реальній чутливості використовуваних приймачів, існуючих шумах і завадах у зоні зв'язку. При заданих потужності передавача P і коефіцієнті втрат потужності L_0 визначається радіус зони R , на межі якої досягається середній рівень потужності, що дорівнює необхідному граничному рівню потужності сигналу P_0 . При зворотному розрахунку за заданими відстанню до горизонту R висоти підйому антени базової радіостанції) і коефіцієнтом втрат потужності L_0 визначається потужність передавача P_t , який забезпечує на горизонті середній рівень потужності прийнятого сигналу, що дорівнює граничному рівню потужності P_0 ;

3) розрахований радіус зони радіозв'язку R (або потужність передавача P_t) відповідає рівності середньої потужності сигналу на межі зони радіозв'язку $P(R)$ граничного рівня потужності P_0 , тобто 50-відсотковій ймовірності перевищення рівня прийнятого сигналу $Pr(P)$ під граничним рівнем P_0 . Це означає і 50-відсоткову ймовірність встановлення радіозв'язку на границі зони. В залежності від експериментально визначеного значення дисперсії каналу σ за формулами або графіком визначається

запас за потужністю передавача P_t або за величиною зони радіозв'язку R , при яких середнє значення потужності сигналу на межі зони радіозв'язку $P(R)$ забезпечує задану ймовірність перевищення сигналом граничного рівня $Pr(R) > P_0$, тобто задану ймовірність встановлення радіозв'язку. За формулами або графіками визначається ймовірність перевищення рівня прийнятого сигналу $Pr(R_2)$ граничного рівня P_0 у всій зоні радіозв'язку $d < R$;

4) якщо розрахунковий відсоток території, на якій гарантується необхідний рівень сигналу, незадовільно малий, то розрахунок повторюють при підвищеній потужності передавача P_t або для меншої дальності радіозв'язку R , або для приймачів з більшою чутливістю. Визначення величини потужності сигналу в заданому регіоні дозволяють досить детально і достовірно розрахувати очікуваний рівень сигналу в антені приймача. Експериментальні дані, отримані в результаті вимірювання рівня сигналу на окремих ділянках місцевості, накладаються на цифрову карту місцевості (міста) з урахуванням конкретного розташування передавача і вимірювального приймача. Це дозволяє більш точно корелювати результати вимірювань з конкретною місцевістю і прогнозувати розподіл потужності на решті території.

Поділ загальної території радіозв'язку на окремі ділянки (зони) з різними параметрами поширення. Наприклад, виділяється окремо паркова зона, зона мікрорайону із щільною забудовою, широкий проспект, водна ділянка і т. д. Такий поділ може бути дуже детальним, в межах 100 м. Виділення невеликих ділянок території призводить до того, що експериментальні певні параметри моделі поширення (n_k, σ_k) для кожної виділеної зони стають менш усередненими і більш точно визначають умови розповсюдження радіохвиль на території, що обслуговується.

Розрахунок тінювих зон за завадами великих розмірів або в складках місцевості. Відповідно до законів дифракції розраховується розподіл поля в тінювих областях. Тим самим зміна рівня сигналу внаслідок екранування протяжними об'єктами з області випадкових флуктуацій переводиться в область передбачуваної зміни середнього рівня.

Для оцінки дальності радіозв'язку необхідно враховувати тип системи передачі радіосигналів, тип місцевості, де здійснюється передача сигналів, частотний діапазон, потужність радіопередавача. В залежності від типу місцевості обирається формула для розрахунку з наведених нижче. На основі вихідних даних в курсовій роботі студенти повинні виконати розрахунки напруженості поля в точці приймання, втрат потужності передавача, на основі яких за кривими напруженості можливо визначити дальність радіозв'язку.

1.4 Завдання та зміст курсової роботи

1 Розрахунок дальності радіозв'язку мереж УКХ –діапазону.

1.1 Розрахунок дальності зв'язку мереж УКХ-діапазону за методикою ITU-R.

1.2 Розрахунок дальності транкінгового радіозв'язку за методикою EURO COST (на частотах до 2 ГГц).

2 Розрахунок дальності стільникового радіозв'язку.

2.1 Розрахунок напруженості поля в точці приймання в стільникових системах на основі формул Б.А. Введенського та Окамура-Хата.

2.2 Розрахунок втрат потужності передавача радіосигналу на основі моделей втрат.

Висновки.

Список літератури.

Завдання на виконання курсової роботи з дисципліни «Вимірювання в цифрових системах передачі» і дисципліни «Технології мережених вимірювань на залізничному транспорті» наведено в додатку А.

1.5 Розрахункова частина курсової роботи та практичних занять

1.5.1 Розрахунок дальності радіозв'язку мереж УКХ-діапазону

1.5.1.1 Розрахунок дальності зв'язку мереж УКХ-діапазону за методикою ІТУ-R

УКХ-діапазон частот використовується для стереофонічного радіомовлення з частотною модуляцією і телебачення, радіолокації, зв'язку з космічними об'єктами (так як вони проходять крізь іоносферу Землі), а також для аматорського радіозв'язку.

Радіохвилі УКХ-діапазону поширюються практично в межах прямої видимості, а також, не відбиваючись від іоносфери, йдуть в космічний простір. Тобто іоносфера для радіохвиль УКХ-діапазону прозора. Проте, оскільки в межах прямої видимості може бути природний супутник Землі – Місяць, то хвилі УКХ діапазону можуть відбитися від неї і повернутися на Землю, де можуть бути прийнятими на іншому кінці земної кулі.

Ультракороткі хвилі (УКХ) — радіохвилі з діапазонів метрових, дециметрових, сантиметрових, міліметрових (або діапазони дуже високих частот, ультрависоких частот, надвисоких частот, та вкрай високих частот) і дециміліметрових хвиль. Таким чином, діапазон частот УКХ знаходиться в межах від 30 МГц (довжина хвилі 1000 см) до 3 ТГц (довжина хвилі 0,1 мм). Термін УКХ рекомендується застосовувати для випадків, коли кордони використовуваного діапазону не збігаються з межами стандартних діапазонів.

У системах радіального або радіально-зонового УКХ-зв'язку максимальна дальність дії залежить від потужності передавача, чутливості приймача та рівня шуму і обмежується необхідністю прямої видимості між антенами станцій. Передавачі таких систем для забезпечення максимальної дальності зв'язку мають досить велику потужність. Кількість передавачів, що працюють у відведеній смузі частот, обмежена, тому що рознос частот між сусідніми каналами повинен становити не менше 12,5 кГц (для

передачі повідомлень одного абонента потрібно один частотний канал). Розділити територію, що обслуговується, на осередки (стільники) можна двома способами: 1) заснованим на вимірі статистичних характеристик поширення сигналів у системах зв'язку; 2) заснованим на вимірі або розрахунку параметрів поширення сигналу для конкретного району.

Вихідні дані для розрахунку напруженості поля в точці приймання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку напруженості поля в точці приймання систем радіозв'язку УКХ-діапазону

N вар.	N _{вн} , мкВ/м	(S/N) _{дет} , відн.од.	A _{прм} , відн.од.	P _{прд} , Вт	G _A , дБ	B%, дБ	B _{зам} , дБ	B _{рел} , дБ	h ₂ , м	A _{прд} , дБ	σ _{пр} , дБ	σ _{пер} , дБ	E _{вн} , мкВ/м	N _{ліп} , відн.од.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,3	4	0,86	20	15	0	0	-5	2	4	1,2	1,5	2,0	0,5
2	1,2	5	0,86	25	14	-2	1	-4	5	3	1,5	1,8	1,2	0,1
3	0,5	5,2	0,8	22	15	-5	1	-3	7	3,5	1,0	2,0	2,0	0,2
4	1,7	6,7	0,85	24	15	-7,5	1	-2	10	3,75	2,0	2,0	2,0	0,3
5	2,0	3	0,84	21	15	-11	1	-1	8	3,5	1,5	1,2	1,3	0,35
6	3,0	4,2	0,85	20	15	-14	6	2	9	3	1,4	1,3	1,5	0,4
7	0,4	3,1	0,86	30	15	-17	5	3	10	4	1,5	2,5	2,2	0,25
8	0,25	2,5	0,86	31	15	0	6	-1	3	4,1	2,0	3,0	1,2	0,15
9	1,0	7	0,85	33	15	-5	0	-5	5	3,2	2,0	4,0	1,7	0,6
10	1,3	6	0,85	32	15	-2	1	-3	7	3,5	2,5	3,5	1,2	0,2
11	1,5	5	0,86	35	15	-14	1	-4	8	3,3	0,5	1,5	1,6	0,3
12	1,7	4	0,85	20	15	-7,5	5	-2	10	3,4	1,0	2,0	1,0	0,1
13	1,8	6	0,86	22	15	-11	1	2	3	2	1,3	2,0	1,0	0,35
14	1,9	7	0,85	25	14	-17	4	-1	5	2,5	1,5	2,2	2,0	0,4
15	1,75	5	0,84	27	15	-2	10	3	2	3,0	1,0	2,1	2,0	0,2
16	1,7	4	0,85	24	15	-5	1	-2	7	3,2	1,3	1,4	1,5	0,3
17	1,6	2,5	0,83	23	15	0	0	-5	4	4,0	1,2	1,7	1,4	0,5
18	1,5	3	0,85	20	15	-7,5	6	-4	6	3,8	1,8	1,3	1,2	0,25
19	1,7	5	0,85	22	15	-11	5	-3	8	3,6	1,4	1,7	1,6	0,3
20	1,65	4	0,86	23	15	-14	2	1	4	3,4	1,3	1,8	1,25	0,4

Основою для аналітичних розрахунків дальності радіозв'язку є документи МККР «Рекомендація 370» і «Звіт 239» [1], а також розроблена на їх основі «Методика визначення

очікуваної дальності УКХ-радіозв'язку з рухомими об'єктами» [2], призначена для розрахунку систем зв'язку з аналоговими сигналами.

В основі методики розрахунку ITU-R (МККР) лежать такі положення:

- величину зони радіозв'язку системи зв'язку з рухомими об'єктами розраховують, виходячи з мінімальної величини сигнал/шум на виході приймача, при якій забезпечується задана розбірливість мови. Для систем з цифровими сигналами часто замінюють поняття «розбірливість мови» на «достовірність приймання»;

- всі розрахунки за методикою МККР мають імовірнісний характер. Це пояснюється тим, що тільки окремі параметри, що впливають на дальність радіозв'язку, можуть бути отримані шляхом точних математичних розрахунків. Велика кількість поправочних коефіцієнтів рекомендується, виходячи із середньостатистичних багаторічних спостережень. Питання про повноту цих даних та їх застосовність в кожному окремому випадку залишається відкритим;

- основою методики розрахунку МККР є криві поширення радіохвиль. Ці криві являють собою графічні залежності середньої напруженості електромагнітного поля E децибел (дБ) відносно 1 мкВ/м при 1 кВт ефективної випромінюваної потужності і висоті передавальної антени 10 м) в точці розташування приймача від відстані d до передавача при різних значеннях висоти підйому антени приймача h , побудовані для різних частот і типів підстилаючих поверхонь. Графіки відповідають 50-відсотковий імовірності встановлення радіозв'язку на 50 % території. Криві поширення можуть відноситися до сухопутних трас, морських і змішаних. При використанні антен з висотою підйому, не наведеною на графіках, можна використовувати лінійну екстраполяцію. Найбільшу надійність дані залежності мають на відстані прямої видимості (до горизонту).

Фактично криві поширення являють собою узагальнені залежності середньої потужності сигналу $P(d)$ від відстані відповідно до формули (6.2) для різних географічних умов у припущенні, що на кордоні зони радіозв'язку середня потужність

сигналу дорівнює мінімально необхідній потужності $P(R) = P_0$. Реальні умови розповсюдження в кожному конкретному регіоні відображаються шляхом введення поправок, що відповідають типу і характеру місцевості. Крім того, поправки відображають параметри приймачів і передавачів (потужність передавача, висоти підйому і діаграми спрямованості антен, чутливість приймача), рівень електромагнітних шумів у точці приймання і т. д. На рисунку 3 наведено схему передачі від базової до мобільної станції з урахуванням відбиття променя від поверхні землі.

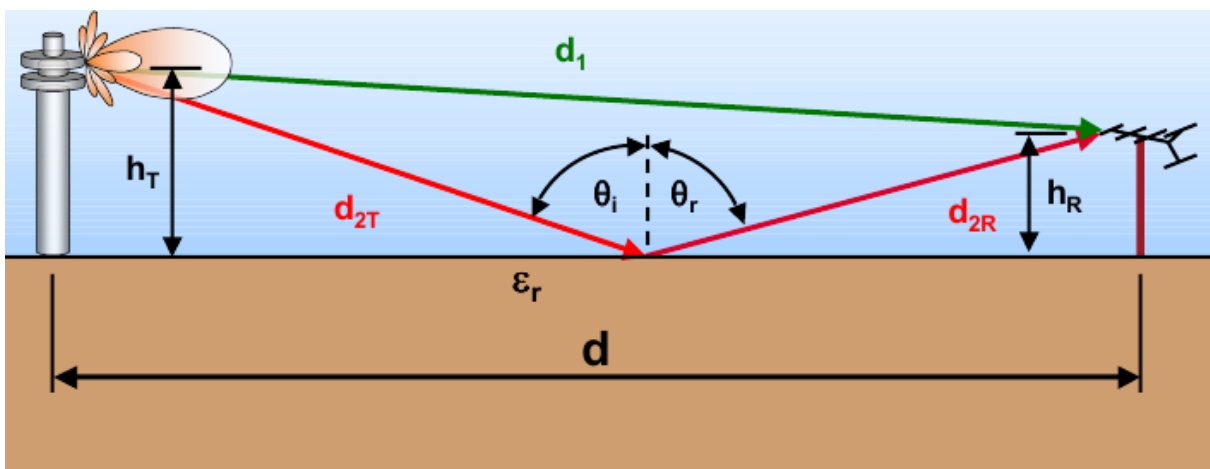


Рисунок 3 – Схема передачі від базової до мобільної станції з урахуванням відбиття променя від поверхні землі

Ультракороткі хвилі можуть відображатися лише від поверхні Землі і тому придатні для мовлення лише на дуже малі відстані. На хвилях УКХ-діапазону часто передають стереозвук, так як на них слабкіше завади. При налаштуванні УКХ-антен доцільно мати контрольну антену. При налагоджуванні антени вимірюють рівень напруженості поля, що створюється антеною, що налаштується, відносно контрольної. Це дає можливість судити про порівняльну ефективність функціонування антени, що налаштувалася.

У документі "Методика визначення очікуваної дальності УКХ радіозв'язку з рухомими об'єктами" наводиться наступна формула для розрахунку поправок до графіків [1], [2].

Проведемо розрахунок напруженості поля в точці приймання систем, що функціонують в УКХ-діапазоні, за формулою

$$E_{\text{необх.}} = N_{\text{ш}} + \left(\frac{S}{N} \right)_{\text{вх}} + V_p + V_{h_2} - V_{\%} + V_{\text{завм}} + V_{\text{рел}} - \sigma_{\text{прм}} - \sigma_{\text{прд}}, \text{ [дБ]} \quad (1)$$

де $N_{\text{ш}}$ – рівень шумів в точці приймання, [дБ];

$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{вх}}$ – відношення сигнал/шум на вході приймача, [дБ];

V_p – поправка на відмінність потужності передавача від 1 кВт, [дБ];

V_{h_2} – поправка на відмінність висоти встановлення антени від 10 м, [дБ];

$V_{\%}$ – поправка на повільні завмирання, що враховує відмінність кількості успішних пунктів зв'язку від 50 %, [дБ];

$V_{\text{завм}}$ – поправка на швидкі завмирання, що враховує відмінність кількості пунктів успішного зв'язку від 50 %, [дБ];

$V_{\text{рел}}$ – поправка на реальний рельєф місцевості, [дб].

Поправка визначається як функція максимального перепаду рельєфу між базовою і абонентською радіостанціями. Ця величина оцінюється від -5 дБ за умов прямої видимості до приблизно +5 дБ при перепаді висот більше 200 м;

$\sigma_{\text{прм}}$ – поправка на нерівномірність діаграми направленості приймальної антени, [дБ];

$\sigma_{\text{прд}}$ – поправка на нерівномірність діаграми направленості передавальної антени, [дб]. Визначається ступенем екранування приймальної і передавальної антен місцевими предметами і будівлями.

Розповсюдження УКХ в основному здійснюється в зоні прямої видимості.

Обчислюємо величину шумів $N_{\text{ш}}$ за формулою

$$N_{\text{ш}} = 10 \lg \left(N_{\text{ВН}}^2 + \frac{E_{\text{ВН}}^2}{\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{вх}}^2} \times A_{\text{ПРМ}}^2 \right), \text{ дБ}, \quad (2)$$

де $\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{вх}}$ - відношення сигнал/шум на вході приймача, [відн. од.];

$N_{\text{вн}}$ – рівень зовнішнього шуму в точці приймання, [мкВ/м];
 $E_{\text{вн}}$ – чутливість приймача по полю, [мкВ/м];
 $A_{\text{прм}}$ – втрати в антенно – фідерному тракці приймача, [відн. од.].

Відношення сигнал/шум на вході приймача $\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}$ визначається як

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{дет}} + N_{\text{лін}},$$

де $\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{дет}}$ – необхідне відношення сигнал/шум на вході детектора, [відн. од.];

$N_{\text{лін}}$ – коефіцієнт шуму в лінійній частині приймача, [відн. од.].

Для прикладу проведемо необхідні розрахунки для варіанта 21, вихідні дані для розрахунку обираємо з таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для варіанта 21

N вар.	$N_{\text{вн}}$, мкВ/м	$(S/N)_{\text{дет}}$, відн.од.	$A_{\text{прм}}$, відн.од.	$P_{\text{прд}}$, Вт	G_A , дБ	$V\%$, дБ	$V_{\text{зам}}$, дБ	$V_{\text{рел}}$, дБ	h_2 , м	$A_{\text{прд}}$, дБ	$\sigma_{\text{пр}}$, дБ	$\sigma_{\text{пер}}$, дБ	$E_{\text{вн}}$, мкВ/м	$N_{\text{лін}}$, відн.од.
21	0,5	4	0,86	20	15	0	1	-5	2	4	1,2	1,5	2,0	0,5

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}} = 4 + 0.5 = 4.5 \text{ [відн. од.]}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}^* = 10 \lg \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}, \text{ дБ.}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}^* = 10 \lg 4.5 = 6.53 \text{ [дБ]}.$$

Поправка на відмінність потужності передавача V_p розраховується за формулою

$$V_p = 10 \lg \left(\frac{1000}{P_{\text{прд}}}\right) + A_{\text{прд}} - G_A, \text{ [дБ]}, \quad (3)$$

де $A_{\text{прд}}$ – втрати в антенно – фідерному тракті передавача, [дБ];

G_A – коефіцієнт підсилення передавальної антени, [дБ].

$$B_P = 10 \lg \left(\frac{1000}{20} \right) + 4 - 15 = 5.99 \text{ [дБ]}.$$

Поправка на відмінність висоти встановлення антени B_{h_2} :

$$B_{h_2} = 10 \lg \left(\frac{10}{h_2} \right), \text{ [дБ]}. \quad (4)$$

h_2 – висота підйому антени приймача, [м].

$$B_{h_2} = 10 \lg \left(\frac{10}{2} \right) = 6.989 \text{ [дБ]}.$$

$$N_{\text{ш}} = 10 \lg \left(0.5^2 + \frac{2^2}{4.5^2} \times 0.86^2 \right) = 4.02 \text{ [дБ]},$$

$$E_{\text{необх.}} = 4.02 + 6.53 + 5.99 + 6.989 - 0 + 1 + (-5) - 1.2 - 1.5 = 16.89 \text{ [дБ]}.$$

В результаті розрахунку напруженості поля за формулами (1-4) визначається дальність радіозв'язку за графіками МККР. Якщо розрахункова дальність радіозв'язку перевищує відстань до горизонту, розраховану для обраної висоти підйому антени передавача, то дальність радіозв'язку дорівнює відстані до горизонту з імовірністю кращою, ніж це прийнято при розрахунках. В даний час розроблено кілька спеціалізованих програм, що здійснюють автоматичний розрахунок поправок до формули і визначення дальності радіозв'язку. Крім поправок, рекомендованих в [1], в програми введені й інші поправки, що дозволяють більш точно провести розрахунки. Найбільшого поширення ця методика набула для розрахунку дальності УКХ-радіозв'язку на частотах до 500 МГц. На рисунку 4 наведено графічну залежність напруженості поля в точці приймання від відстані між передавачем і приймачем при різних значеннях потужності передавача.

Згідно з вихідними даними студенти обирають відповідну графічну залежність і роблять висновок щодо дальності радіозв'язку.

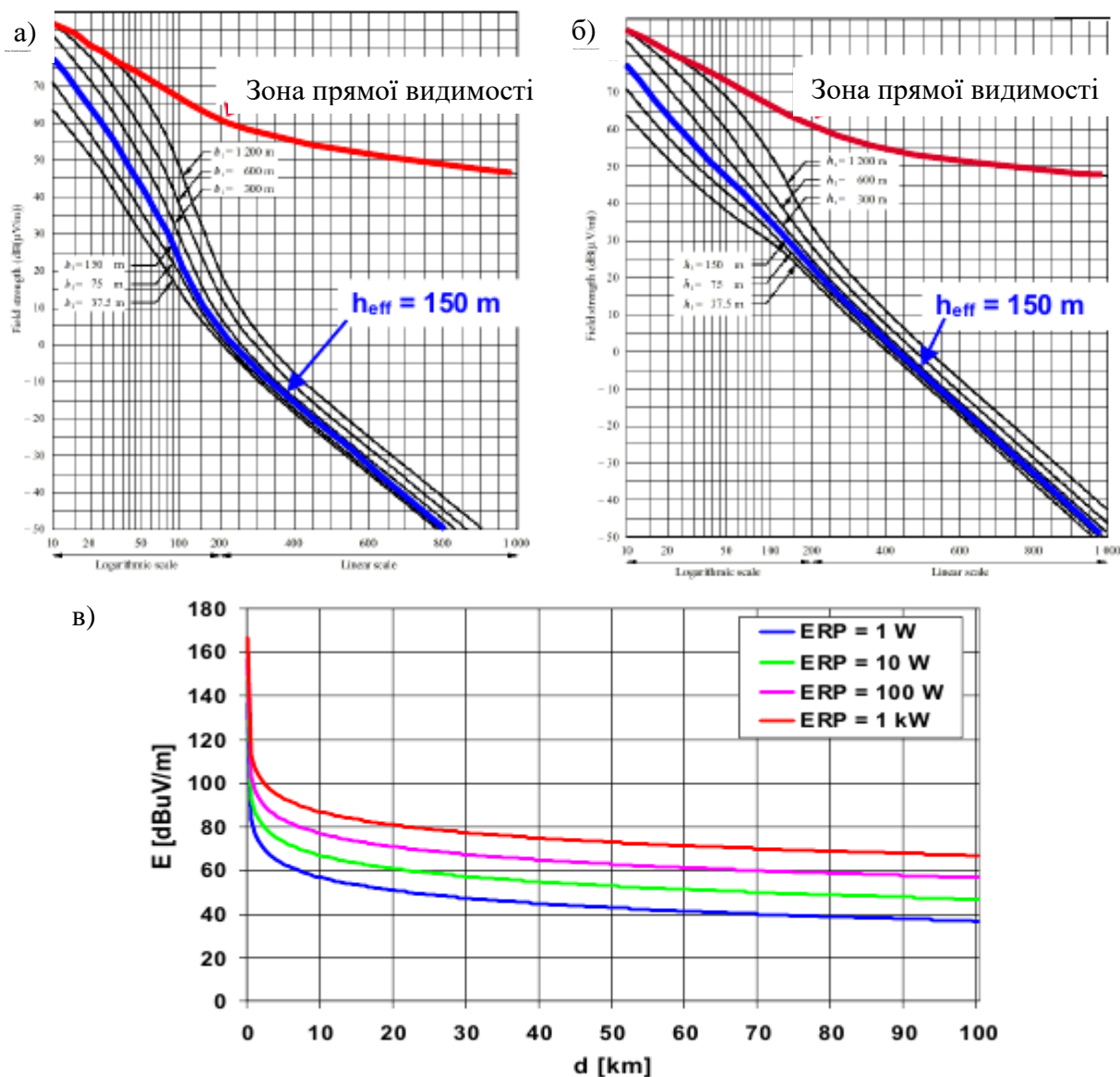


Рисунок 4, аркуш 1 – Графічні залежності напруженості поля в точці приймання від відстані між передавачем і приймачем (а-г) при різних значеннях частоти сигналу та різних ЕВП

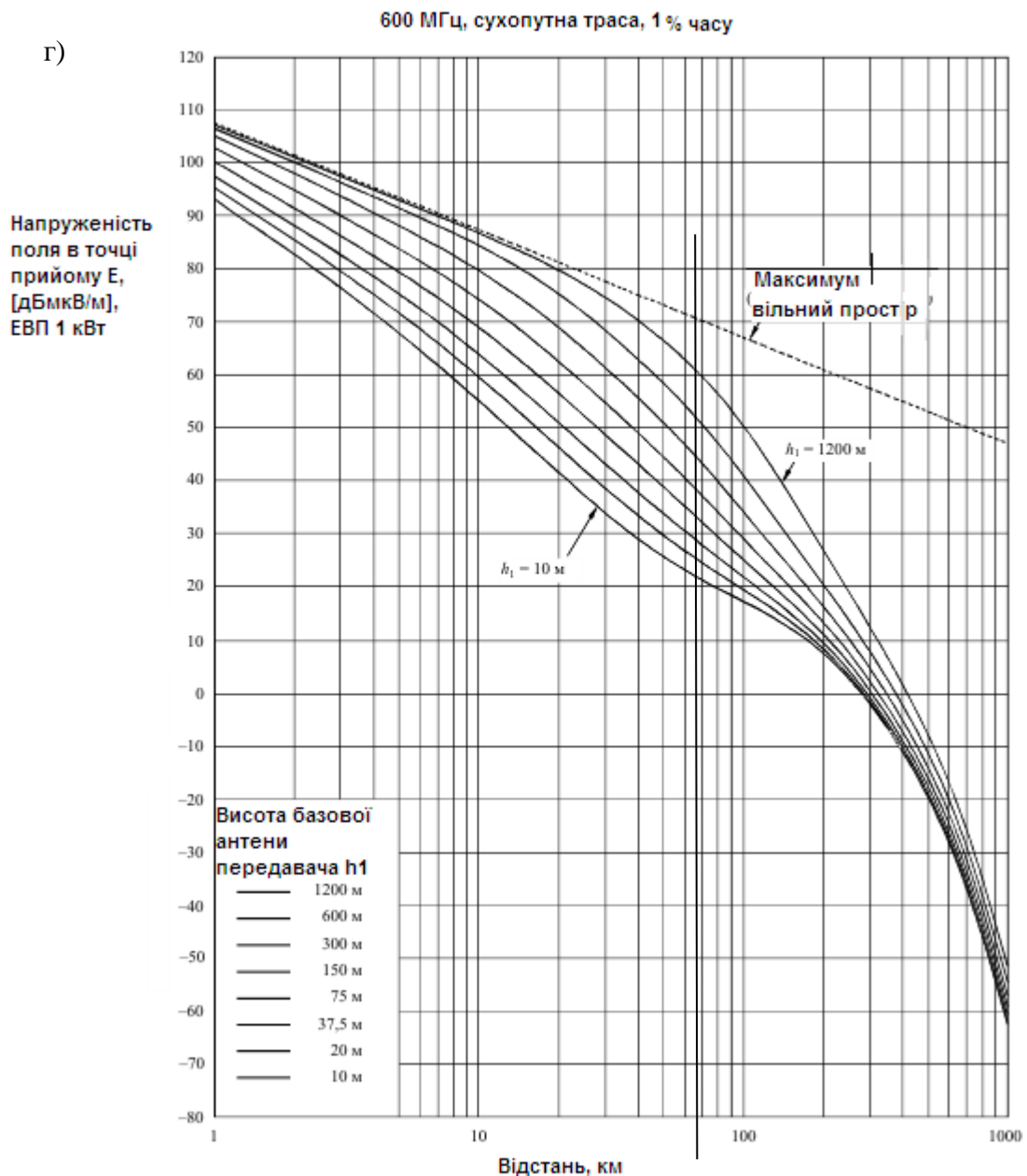


Рисунок 4, аркуш 2 – Графічні залежності напруженості поля в точці приймання від відстані між передавачем і приймачем (а-г) при різних значеннях частоти сигналу та різних ЕВП

1.5.1.2 Розрахунок дальності транкінгового радіозв'язку за методикою EURO COST (на частотах до 2 ГГц)

Транкінг (саме слово "транк" походить від англійського стовбур – пучок, в телефонії цей термін означає "магістраль") сукупність каналів зв'язку, розподіляються автоматично між користувачами. У звичайній системі за групою користувачів А закріплений канал А, за групою В – канал В і т.д. Якщо

користувач із групи А виявляє, що канал зайнятий, то з цим нічого не можна вдіяти, навіть якщо канал В вільний. У транкінгових системах (правильніше було б назвати їх системами з каналами рівнодоступності) замість одного каналу, до якого звертається трохи користувачів, міститься група каналів (стовбур), доступних усім користувачам даної системи. Коли хто-небудь з них захоче провести сеанс зв'язку, він автоматично одержує доступ до будь-якого вільного каналу. По закінченні з'єднання канал може бути автоматично наданий іншому. Транкінгова система дозволяє економити не тільки телефонні лінії, а і радіоканали. Абонентів до мережі підключено свідомо більше, ніж є в її розпорядженні каналів. Електронна система відстежує розташування абонентів у просторі, і розподіляє наявний в її розпорядженні радіоресурс найвигіднішим чином. Невіддалені об'єкти можуть спілкуватися безпосередньо. Для з'єднання більш віддалених об'єктів підключається базове транкінгове обладнання. І тільки для виходу в міську телефонну мережу або з'єднання з іншою – стільниковою або транкінговою – системою задіюються телефонні лінії і станції. Абонент транкінгової системи отримує в своє розпорядження переносну або автомобільну радіостанцію, яка зовні дуже нагадує радіотелефон. Кожний такий пристрій, як і телефон, має свій унікальний номер. З цього моменту користувач може вести телефонні розмови або по радіоканалу зв'язуватися з іншими абонентами. При цьому йому не потрібно прослуховувати всі канали. Це робить центральний контролер системи. По спеціальному керуючому радіоканалу він постійно передає інформацію про вільні канали і поточні виклики. У режимі очікування радіостанція постійно налаштована на нього, а в момент надходження виклику контролер автоматично перемикає вас і ваших абонентів на вільний канал. Крім економії, транкінгова система пропонує також широкий спектр додаткових можливостей, практично недоступних в інших системах мобільного зв'язку. Насамперед, це здійснення селекторного зв'язку, при якому кілька абонентів мережі можуть сполучатися одне з одним одночасно або отримувати одне і те саме повідомлення. У транкінговій системі можливо передавати не лише голосову, але і будь-яку цифрову інформацію, включаючи

зашифровані повідомлення та передачу комп'ютерних даних. Транкінгова система може бути гранично конфіденційна, надійним чином захищена від прослуховування, будь-якого витоку інформації. Транк – найоперативніший мобільний зв'язок, час виклику абонента не перевищує 1 с. Транкінгова мережа надійна, оскільки спочатку розроблялася з розрахунку на екстремальні служби – поліцію, швидку допомогу, пожежників.

В усіх транкінгових системах використовують дуплексне рознесення частот на кожний канал, при цьому абонент може зв'язатися тільки з базовою станцією, а не один з одним. За виключенням системи TETRA, в якій існує режим прямого зв'язку, при якому частоти приймання і передачі абонентів приводяться у відповідність. Базова станція завжди повнодуплексна, тобто одночасно може вести приймання і передачу на обраному каналі. Це передбачає введення у склад базової станції або дуплексних фільтрів, кожний з яких підключається до свого прийомопередавача та до своєї антени. Як основа для розрахунку дальності транкінгового радіозв'язку взята модель Хата (для діапазону частот f : від 150 до 5000 МГц). Найвища точність при використанні цієї моделі досягається при очікуваній дальності радіозв'язку від 1 до 20 км на частотах від 150 до 2000 МГц при висоті антени передавача від 30 до 200 м і висоті антени приймача від 1 до 10 м. Наведений нижче розрахунок прийнятий для використання в стандарті транкінгового зв'язку TETRA.

Стандарт TETRA (TErrestrial Trunked RAdio) складається з ряду специфікацій, розроблених з використанням технічних рішень стандарту GSM.

У системах TETRA підтримується можливість використання мережі декількома незалежними організаціями, забезпеченням загальної секретності і взаємної безпеки. Це досягається створенням так званих «віртуальних» мереж. Віртуальні мережі дозволяють розділяти загальну фізичну мережу різними організаціям і відомствам, імітуючи при цьому «персональну» систему і зберігаючи повний контроль над своїми власними комунікаційними функціями. Для кожної віртуальної мережі може застосовуватися не тільки свій власний набір параметрів системи, але і власний центр управління.

Стандарт TETRA складається з двох частин: стандарт на передачу даних і мови (TETRA V+D) і стандарт тільки на передачу даних (TETRA PRO).

Перевагою для споживачів є не тільки сучасна технологія з великим потенціалом можливостей і розвитку, але і те, що TETRA є відкритим стандартом. Відвертість стандарту полягає в тому, що специфікації стандарту доступні виробникам апаратури і іншим зацікавленим особам і недискримінаційно. Не вимагається ліцензій для виробництва апаратури; всі технічні рішення, закладені в стандарті, описані вичерпним чином і не захищені патентами.

Основним засобом підвищення ефективності мереж TETRA і розширення їх зон обслуговування є оптимізація інтерфейсу. Нова модифікація радіоінтерфейсу забезпечить збільшення швидкості цифрового потоку в радіоканалі, підвищення спектральної ефективності, поліпшення технічних характеристик, розширення функціональних можливостей і рівня сервісу.

Основним недоліком стандарту TETRA звичайно вказують менші в порівнянні з системами інших стандартів радіуси зон обслуговування базових станцій, що зв'язано з використанням часового розділення каналів зв'язку і меншою потужністю абонентських радіостанцій. Звідси, як правило, робиться висновок, що системи TETRA будуть неефективні при малому трафіку і великих територіях мереж зв'язку. Проте, для систем з високою інтенсивністю зв'язку і великою кількістю абонентів, що працюють на обмеженій території (наприклад, залізничних вузлів у крупних містах), стандарт TETRA має вагомні переваги в порівнянні з мережами GSM і APCO-25, а саме: висока частотна ефективність (потрібна менша кількість частотних каналів); висока ефективність управління системою технологічного радіозв'язку; зниження експлуатаційних витрат; збільшення пропускної спроможності системи; збільшення розбірливості мови у важкій завадовій обстановці; поліпшення якості зв'язку; високий рівень захисту переговорів абонентів; вища якість передачі голосу, відсутність фонових завад; сучасніші способи і вищі швидкості передачі даних (до 24 кбіт/с з можливістю подальшого збільшення в наступних версіях стандарту), підтримка пакетного режиму і інтерфейсів з інформаційними

базами даних; розширені можливості шифрування без втрат якості і зменшення зони покриття, що дозволяє істотно підвищити ступінь безпеки в системі, скорочення часу встановлення зв'язку. На рисунку 5 наведено узагальнену структурну схему мережі TETRA. В таблиці 1.3 наведено вихідні дані для розрахунку втрат потужності передавача в ефірі транкінгового зв'язку.

Таблиця 3 – Вихідні дані для розрахунку втрат потужності передавача в ефірі транкінгового зв'язку

Варіант	F, МГц	h_{re} , м	h_{te} , м	Населений пункт	d, км
1	170	10	90	Мегаполіс	2
2	170	1	100	Передмістя	5
3	170	8	50	Мале місто	10
4	172	5	80	Велике місто	20
5	174	10	200	Передмістя	18
6	150	3	40	Передмістя	1
7	150	9	50	Мегаполіс	10
8	470	7	200	Велике місто	20
9	172	8	180	Передмістя	15
10	170	10	110	Мале місто	12
11	170	3	115	Мале місто	8
12	170	4	35	Мегаполіс	10
13	174	9	180	Велике місто	11
14	170	10	120	Велике місто	13
15	152	10	90	Мегаполіс	2
16	160	1	100	Передмістя	5
17	170	8	50	Мале місто	10
18	460	5	80	Велике місто	20
19	170	10	200	Передмістя	18
20	170	3	40	Передмістя	1

Архітектура багатозонових транкінгових систем може будуватися за двома різними принципами. У тому випадку, якщо визначальним фактором є вартість обладнання, використовується розподілена міжзональний комутація. Структура такої системи показана на рисунку 5. Кожна базова станція в такій системі має своє власне підключення до ТМЗК. Цього вже цілком достатньо

для організації багатозонової системи – при необхідності виклику з однієї зони в іншу він проводиться через інтерфейс ТМЗК, включаючи процедуру набору телефонного номера. Крім того, базові станції можуть бути безпосередньо з'єднані за допомогою фізичних виділених ліній зв'язку (найчастіше використовуються малоканальні радіорелейні лінії).

Кожна БС в такій системі має своє власне підключення до ТМЗК. При необхідності виклику з однієї зони в іншу він проводиться через інтерфейс ТфЗК, включаючи процедуру набору телефонного номера. Крім того, БС можуть бути безпосередньо з'єднані за допомогою фізичних виділених ліній зв'язку.

Для визначення зони розповсюдження радіохвиль в транкінгових мережах використовується методика, заснована на формулах Окамура-Хата [4] і на модифікації цих формул на діапазон від 1500 до 2000 МГц (модель COST 231-Хата) для відповідної щільності забудови.

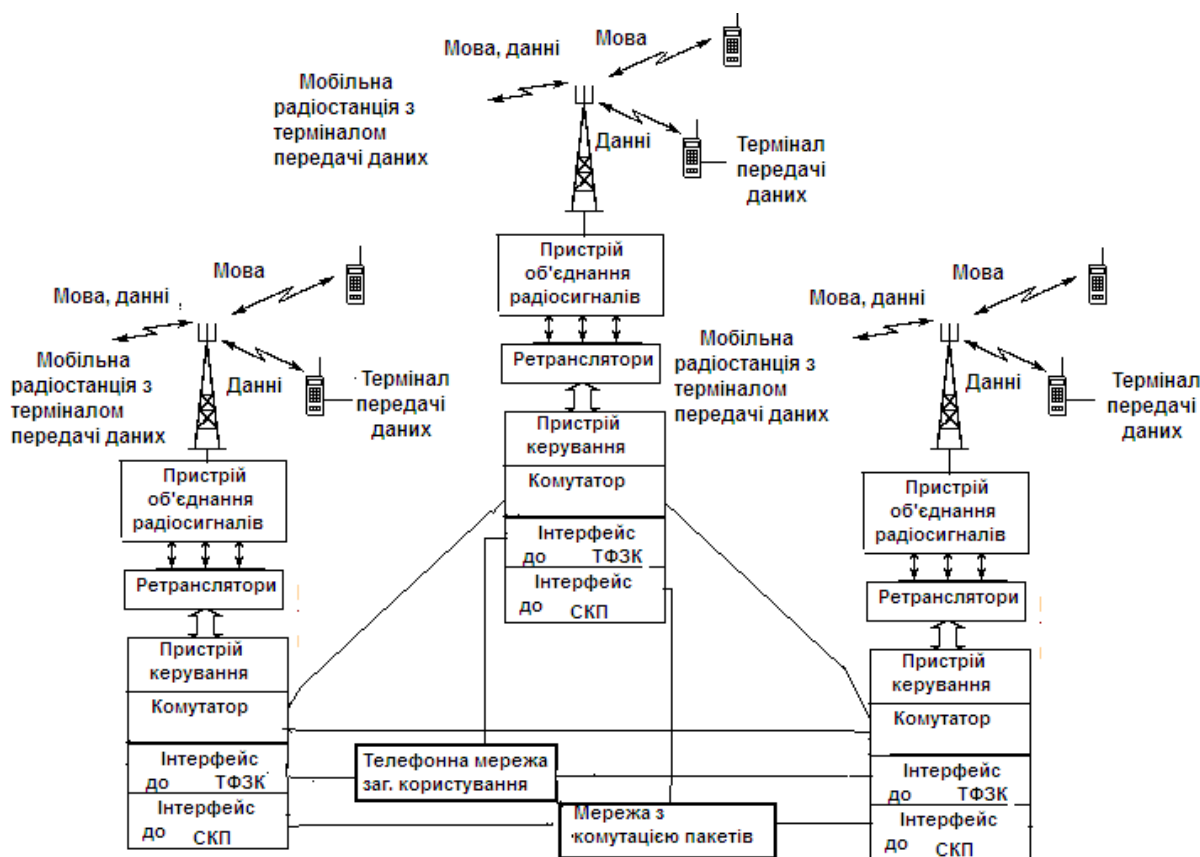


Рисунок 5 – Структурна схема транкінгової мережі з розподіленою міжзональною комутацією

Модель COST 231-Хата справедлива при таких умовах:

- діапазон частот f : від 1500 до 2000 МГц;
- висота базової станції h_b : від 30 до 200 м;
- висота рухомої станції H_m : від 1 до 10 м;
- відстань r : від 1 до 20 км .

Втрати розраховуються залежно від щільності забудови.

В приміській зоні втрати потужності передавача в ефірі розраховуються за формулою

$$L_{rco} = L_u - 4,78 \cdot [\lg(f)]^2 + 18,33 \cdot \lg(f) - 35,94, \text{ [дБ]}.$$

Сільська місцевість:

$$L_{ro} = L_u - 4,78 \cdot [\lg(f)]^2 + 18,33 \cdot \lg(f) - 40,94, \text{ [дБ]}.$$

Розрахунок допустимого рівня сигналу в зоні прямої видимості ведеться за відомою формулою, що визначає втрати розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

$$P_{PRM} = \frac{P_{PRD} \cdot G_{PRD} \cdot G_{PRM} \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot r^2) \cdot L_{доп} \cdot Z},$$

де P_{PRD} – вихідна потужність передавача, [Вт];

G_{PRD} , G_{PRM} – коефіцієнти підсилення антен передавача і приймача, [відн.од.];

λ – довжина хвилі, [м];

r – дальність передачі, [км];

$L_{доп}$ – додаткові втрати, обумовлені послабленням сигналу в з'єднувальних рознімачах та ін., [дБ];

Z – запас завадостійкості до зовнішніх завад, [дБ].

Величина втрат відносно потужності передавача в ефірі L_{50} , за якої забезпечується 50-відсоткова імовірність встановлення радіозв'язку для транкінгових мереж в децибелах (дБ), розраховується за формулою Окамура-Хата для міських районів (для діапазону частот від 150 до 500 МГц):

$$L_{50} = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_{te}) - \alpha(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{te})) * \lg(d) + C_m$$

Величина втрат відносно потужності передавача в ефірі L_{50} , за якої забезпечується 50-відсоткова імовірність встановлення радіозв'язку для транкінгових мереж в децибелах (дБ), розраховується за формулою Хата для міських районів (для діапазону частот від 1500 до 2000 МГц):

$$L_{50} = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_{te}) - \alpha(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) + C_m,$$

де L_{50} – величина втрат відносно потужності передавача в ефірі, при якій забезпечується 50-відсоткова імовірність встановлення радіозв'язку, [дБ];

h_{te} – ефективна висота передавальної антени, [м];

h_{re} – ефективна висота антени приймача, [м];

$\alpha(h_{re})$ – поправка на ефективну висоту антени приймача і розмір в області покриття, [дБ];

d – відстань між приймачем та передавачем, [км];

C_m – поправка на місцевість використання, [дБ].

Як і методика МККР, наведена в п. 1.5.1.1, модель Хата включає параметри, що залежать від умов розповсюдження радіохвиль і типу використовуваного обладнання: $\alpha(h_{re})$.

Для малих міст і передмість

$$\alpha(h_{re}) = (1,1 \lg(f) - 0,7) h_{re} - (1,56 \lg(f) - 0,8), [\text{дБ}].$$

Для великих міст і діапазону частот $f \leq 200$ МГц

$$\alpha(h_{re}) = (8,29 \lg^2(1,54 h_{re}) - 1,1), [\text{дБ}].$$

Для великих міст і діапазону частот $f \geq 400$ МГц

$$\alpha(h_{re}) = (3,2 \lg^2(11,75 h_{re}) - 4,97), [\text{дБ}].$$

Значення поправки C_m обирається з таблиці 4, виходячи з типу місцевості розгортання мережі радіозв'язку відповідно до варіанта завдання.

Таблиця 4 – Розрахунок значень поправки C_m відповідно до типу місцевості

Частота, МГц	Розмір міста	C_m , [дБ]
150÷1500	Міська місцевість	0
150÷1500	Приміська місцевість	$-2(\log(\frac{f}{28MHz}))^2 - 5.4$
150÷1500	Відкрита сільська	$-4.78(\log(\frac{f}{1MHz}))^2 + 18.33\log(\frac{f}{1MHz}) - 40.94$
1500÷2000	Середнє місто, приміська місцевість	0
1500÷2000	Мегаполіс	3

Враховуючи вихідні дані з таблиць 3 і 4, кожний студент обирає для розрахунку $\alpha(h_{re})$ ту формулу, яка підходить для типу місцевості і частоти передачі сигналу f_c . За результатами розрахунку втрат відповідно до значення частоти, зазначеного у варіанті завдання, студенти за графічною залежністю, наведеною на рисунках 6 і 7, обирають дальність радіозв'язку R в кілометрах.

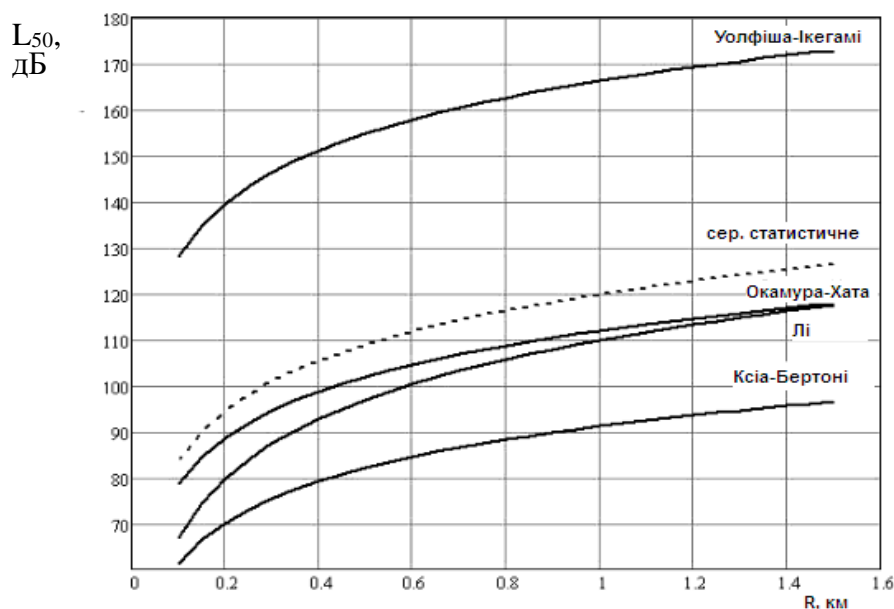


Рисунок 6 – Графічні залежності дальності радіозв'язку R від втрат потужності передавача в ефірі L_{50}

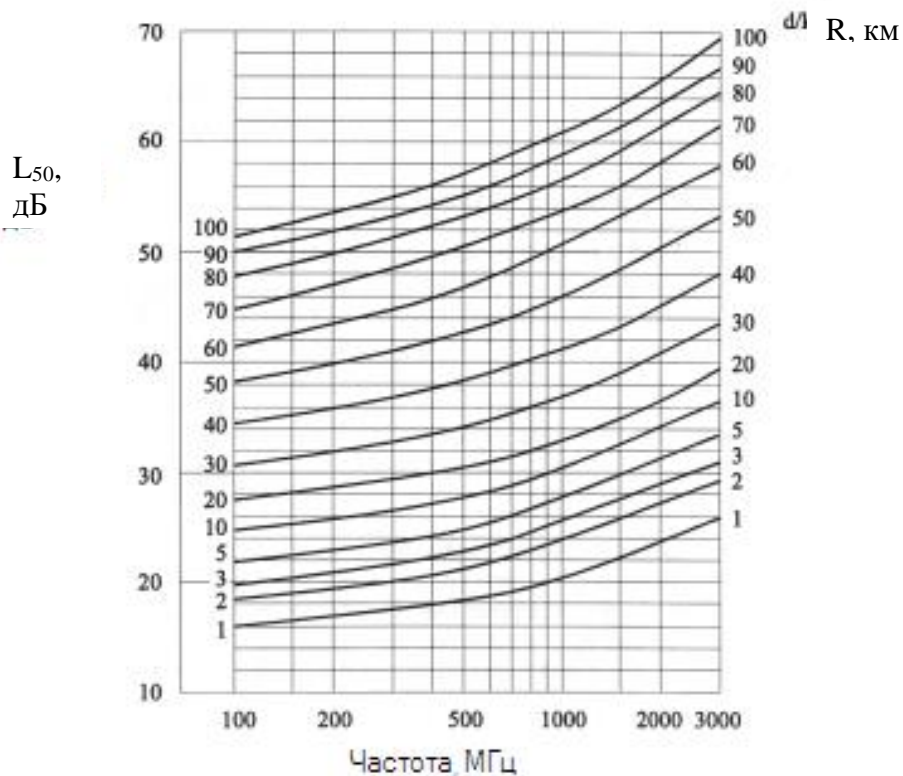


Рисунок 7 – Графічні залежності втрат потужності передавача в ефірі L_{50} від частоти

Варіант	F, МГц	h_{re} , м	h_{te} , м	Населений пункт	d, км
21	170	3	100	Передмістя	7

$$C_M = -2(\log(\frac{f}{28MHz}))^2 - 5.4;$$

$$C_M = -2(\log(170/28))^2 - 5.4 = -6.62 \text{ [дБ]}.$$

Для малих міст і передмість:

$$\alpha(h_{re}) = (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) h_{re} - (1,56 \lg(f) - 0,8), \text{ [дБ]}.$$

$$\alpha(h_{re}) = (1,1 \cdot \lg(170) - 0,7) 3 - (1,56 \lg(170) - 0,8) = 4.68, \text{ [дБ]}.$$

Для діапазону частот від 150 до 500 МГц:

$$L_{50} = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_{te}) - \alpha(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{te})) * \lg(d) + C_M$$

$$L_{50} = 69.55 + 26.16 \cdot \lg(170) - 13.82 \cdot \lg(100) - 4.68 + (44.9 - 6.55 \cdot \lg(100)) \cdot \lg(7) + (-6.62) = 115.83 \text{ [дБ]}.$$

На рисунку 8 наведено визначення дальності радіозв'язку для моделі Окамура-Хата для отриманого значення L_{50} . Дальність радіозв'язку R для $L_{50} = 115.83$ дБ становить 1,235 км.

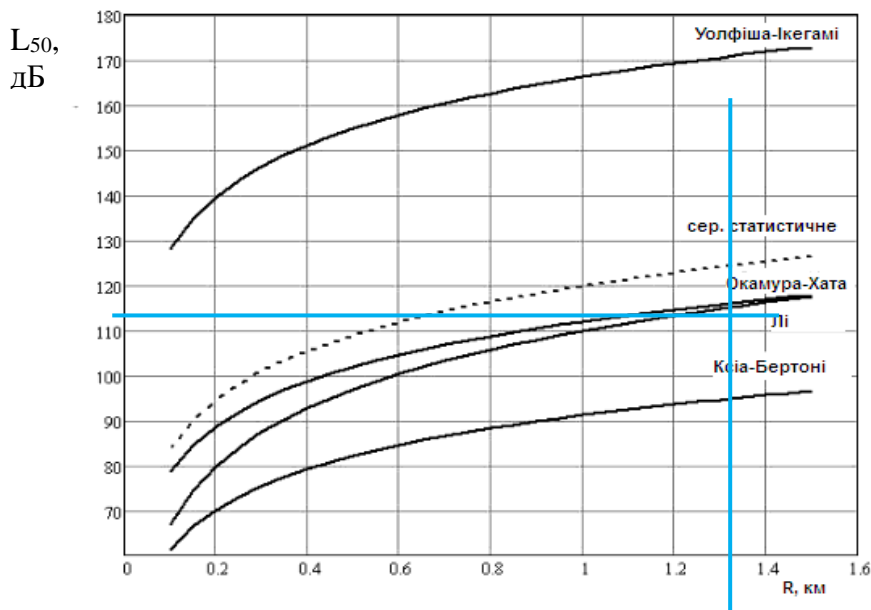


Рисунок 8 – Визначення дальності радіозв'язку для моделі Окамура-Хата за графічними залежностями дальності радіозв'язку R від втрат потужності передавача в ефірі L_{50}

1.5.2 Розрахунок дальності стільникового радіозв'язку

Для систем стільникового зв'язку необхідно здійснювати вимірювання: по-перше, внаслідок існування залежності між станом в стільнику і мобільністю абонента (напряга сигналу в радіоканалі внаслідок завмирань і згасань в тракці проходження може радикально змінюватись); по-друге, підвищення кількості повідомлень підвищує загальний об'єм сигналізації, що є небажаним фактором.

З метою передачі обслуговування і впродовж з'єднання абонентське обладнання (АО) безперервно вимірює напруженість сигналу сусідніх стільників, а результати повідомляє контролеру радіомережі.

Існують такі групи вимірювань, що здійснюються в процесі передачі повідомлень:

- одночастотні вимірювання, що включають вимірювання напруженості поля в фізичних низхідних каналах для сигналів однієї частоти;
- міжчастотні (на двох частотах) вимірювання, що включають вимірювання напруженості поля в фізичних низхідних каналах для сигналів на різних частотах;
- міжсистемні вимірювання, що охоплюють вимірювання напруженості в фізичних низхідних каналах, які належать до інших систем доступу;
- вимірювання величини вихідного трафіка абонента;
- вимірювання якості, що включають вимірювання параметрів якості, наприклад, коефіцієнт помилок блоків низхідної лінії;
- вимірювання всередині радіочастотної системи – вимірювання рівня потужності передачі АО і рівня сигналу, що приймає АО.

Вимірювання можуть бути послідовно розподілені в залежності від обраних критеріїв:

- змінення кращого стільника;
- змінення рівня сигналу в первинному суміщеному контрольному каналі;
- змінення рівня сигналу в первинному фізичному каналі керування;
- змінення рівня захищеності, тобто відношення сигнал-завада;
- змінення рівня потужності сигналу;
- періодичність звітів;
- час перемикання.

Дальність стільникового радіозв'язку в курсовій роботі оцінюється за відомими формулами, наведеними в МККР, на основі розрахунків напруженості поля в точці приймання та моделей втрат потужності передавача в ефірі. Усі використовувані формули отримані на основі реальних вимірювань в різних типах місцевості.

1.5.2.1 Розрахунок напруженості поля в точці приймання на основі формул Б.А. Введенського та Окамура-Хата для стільникових систем

Проведемо розрахунки напруженості поля в точці приймання і, як наслідок, радіусу зони покриття.

Розрахуємо напруженість поля за інтерференційною формулою академіка Б.А. Введенського, яка може бути записана у вигляді

$$E = \frac{2.18 \cdot H \cdot h \cdot P \cdot Ga}{\lambda \cdot R^2}, \text{ [мВ]}, \quad (2.1)$$

де H – висота підйому передавальної антени, [м];

h – висота підйому приймальної антени, [м];

λ – довжина хвилі, [м];

R – дальність від центру віщання до точки приймання, в якій здійснюється вимірювання напруженості поля, [км];

$P \cdot Ga$ – еквівалентна потужність випромінювання, яка дорівнює множенню потужності, що підводиться до антени P , [Вт], на її коефіцієнт підсилення Ga , дБ.

Для $P \cdot Ga = 1$ кВт та E , вираженої в децибелах, помножених на мікровольт, поділених на метр, $\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}}$, формула (2.1) може бути записана в зручній логарифмічній формі:

$$E = 17,2 + 20 \lg(Hh) - 40 \lg R + 20 \lg(f), \quad \left[\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}} \right].$$

Далі проводимо розрахунок напруженості поля в точці приймання за формулою Окамура-Хата

$$E = 70.62 - 7.72 \lg(f) + 13.82 \lg H + h(1.1 \lg(f) - 0.7) - (44.9 - 6.55 \lg H) * (\lg R)^B, \quad \left[\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}} \right]. \quad (2.2)$$

Якщо у вихідних даних $R \leq 20$ км, то при розрахунках приймаємо $B = 1$. Якщо у вихідних даних $R > 20$ км, то додатково необхідно провести розрахунок коефіцієнта B :

$$B = 1 + (0.14 + 0.000187 * f + 0.00107 * H') * (\lg(0.05 * R))^{0.8}, \quad (2.3)$$

$$H' = \frac{H}{\sqrt{1 + 0.000007 \cdot (H^2)}}$$

Рівняння (11) рекомендоване для $H =$ від 30 до 200 м і $h =$ від 1 до 10 м. Поза цими діапазонами воно дає відчутні похибки.

Висота підйому антени передавача насамперед пов'язана з зоною радіовидимості, що визначається за формулою

$$R_{max} = 4.12(\sqrt{H} + \sqrt{h}), \text{ [км]}. \quad (2.4)$$

В таблиці 6 наведені вихідні дані для розрахунків напруженості поля в точці приймання стільникових систем радіозв'язку.

Таблиця 6 – Вихідні дані для розрахунків напруженості поля в точці приймання стільникових систем радіозв'язку

Варіант	R, км	λ , см при вертикальній поляризації	H, м	h, м	f, МГц	P-Ga, Вт	Місцевість
1	25	33	150	10	900	330	Селище
2	20	33	30	1	900	220	Середнє місто
3	18	15	40	2	1800	176	Велике місто
4	22	16	50	3	1800	198	Мегаполіс
5	20	33	70	3	900	187	Селище
6	21	16	80	4	1800	275	Середнє місто
7	19	33	60	3	900	209	Велике місто
8	17	33	100	5	900	231	Мегаполіс
9	23	15	105	5	1800	264	Селище
10	20	33	120	6	900	319	Середнє місто
11	21	33	110	5	900	242	Велике місто
12	21	16	130	6	1800	286	Мегаполіс
13	22	33	180	8	900	297	Мегаполіс
14	23	33	30	1	900	308	Середнє місто
15	25	33	140	10	900	275	Селище
16	20	33	40	1	900	209	Середнє місто
17	19	15	50	2	1800	330	Велике місто
18	20	16	60	3	1800	220	Мегаполіс
19	24	33	125	10	900	176	Селище
20	25	33	35	1	900	198	Середнє місто

Наведемо приклад розрахунку напруженості поля в точці приймання на основі формул Б.А. Введенського та Окамура-Хата для стільникових систем для варіанта 21, вихідні дані для якого зведені в таблицю 7.

Таблиця 7 – Вихідні дані для розрахунку напруженості поля в точці приймання для стільникових систем

Варіант	R, км	λ , см при вертикальній поляризації	H, м	h, м	f, МГц	P·Ga, Вт	Місцевість
21	23	33	130	9	900	330	Селище

Розрахуємо напруженість поля за інтерференційною формулою академіка Б.А. Введенського

$$E = \frac{2.18 \cdot H \cdot h \cdot P \cdot Ga}{\lambda \cdot R^2}, [\text{мВ}],$$

$$E = \frac{2.18 \cdot 130 \cdot 9 \cdot 330}{0.33 \cdot 23^2} = 4821.55 [\text{мВ}] = 4.821 [\text{В}].$$

$$H' = \frac{130}{\sqrt{1 + 0.000007 \cdot (130)^2}} = 122.93 [\text{м}].$$

$$B = 1 + (0.14 + 0.000187 \cdot 900 + 0.00107 \cdot 122.93) \cdot (\lg(0.05 \cdot 23))^{0.8} = 1 + 0.4398 \cdot 0.106 = 1.046.$$

Далі проводимо розрахунок напруженості поля в точці приймання за формулою Окамура-Хата:

$$E = 70.62 - 7.72 \lg(f) + 13.82 \lg H + h(1.1 \lg(f) - 0.7) - (44.9 - 6.55 \lg H) * (\lg R)^B, \left[\frac{\text{дБ} \cdot \text{мкВ}}{\text{м}} \right].$$

$$E = 70.62 - 7.72 \lg(900) + 13.82 \lg 130 + 9(1.1 \lg(900) - 0.7) - (44.9 - 6.55 \lg 130) * (\lg 23)^{1.046} = 70.63 - 22.8 + 22.94 + 29.21 - 31.05 = 68.92 \left[\frac{\text{мкВ} \cdot \text{дБ}}{\text{м}} \right].$$

На рисунку 9 наведено криві поширення радіохвиль над поверхнею землі в міській зоні, згідно з якими за розрахованим значенням E студенти обирають дальність радіозв'язку.

Значення напруженості поля для необхідної частоти слід отримувати шляхом інтерполяції між значеннями для номінальних частот в 100, 600 і 2000 МГц. Для частот нижче 100 або вище 2000 МГц інтерполяція повинна бути замінена екстраполяцією від двох найближчих значень номінальної частоти. Для визначення дальності радіозв'язку а частотах передачі сигналу в межах від 300 до 1000 МГц можна використовувати графічні залежності, наведені на рисунку 4, г, але при цьому для підвищення точності слід використовувати процедуру, описану нижче.

Для сухопутних трас, якщо необхідна частота перевищує 100 МГц, напруженість поля E розраховується за формулою

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\lg\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}, \quad [\text{дБ} \cdot \text{мкВ/м}],$$

де f – частота, для якої здійснюється прогнозування, [МГц];

f_{inf} – нижня номінальна частота, [МГц], (100 МГц при $f < 600$ МГц, в протилежному випадку 600 МГц);

f_{sup} – верхня номінальна частота, [МГц], (600 МГц при $f < 600$ МГц, в протилежному випадку 2000 МГц);

E_{inf} – значення напруженості поля для f_{inf} , [дБ·мкВ/м];

E_{sup} – значення напруженості поля для f_{sup} , [дБ·мкВ/м].

Для варіанта 21 проводимо розрахунок напруженості поля в точці приймання для частоти 600 і 2000 МГц.

$$E = 70.62 - 7.72 \lg(600) + 13.82 \lg 130 + 9(1.1 \lg(600) - 0.7) - (44.9 - 6.55 \lg 130) \\ * (\lg 23)^{1.046} = 70.62 - 21.44 + 29.21 + 21.2 - 42.89 = 56.69 \left[\frac{\text{мкВ} \cdot \text{дБ}}{\text{м}} \right].$$

$$E = 70.62 - 7.72 \lg(2000) + 13.82 \lg 130 + 9(1.1 \lg(2000) - 0.7) - (44.9 - 6.55 \lg 130) \\ * (\lg 23)^{1.046} = 70.62 - 25.48 + 29.21 + 26.38 - 42.89 = 57.84 \left[\frac{\text{мкВ} \cdot \text{дБ}}{\text{м}} \right].$$

$$E = 56.69 + (57.84 - 56.69) \cdot \frac{\lg\left(\frac{900}{600}\right)}{\lg\left(\frac{2000}{600}\right)} = 56.69 + 0.38 = 57.07, \left[\frac{\text{мкВ} \cdot \text{дБ}}{\text{м}} \right]$$

Криві залежності напруженості поля від відстані наведені на рисунку 10 для частоти 2000 МГц. Їх можна застосовувати для частот в діапазоні від 1000 до 3000 МГц.

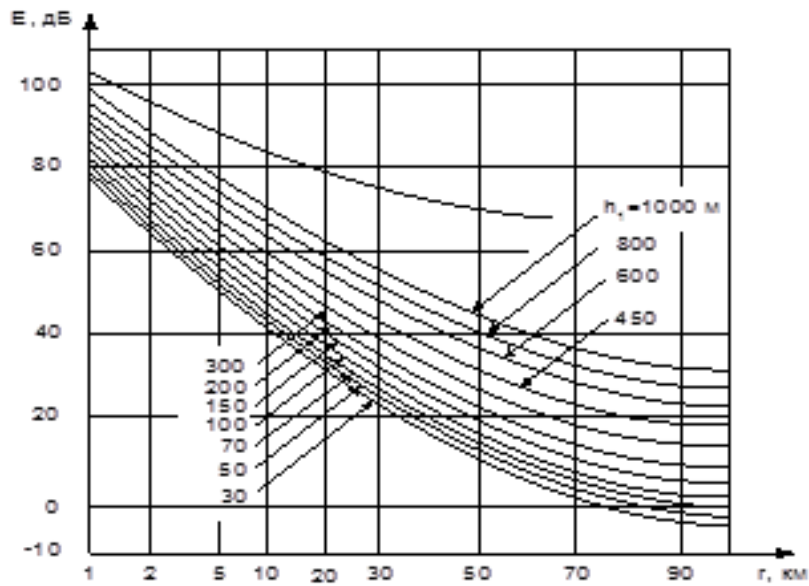


Рисунок 9 – Криві поширення радіохвиль над поверхнею землі в міській зоні

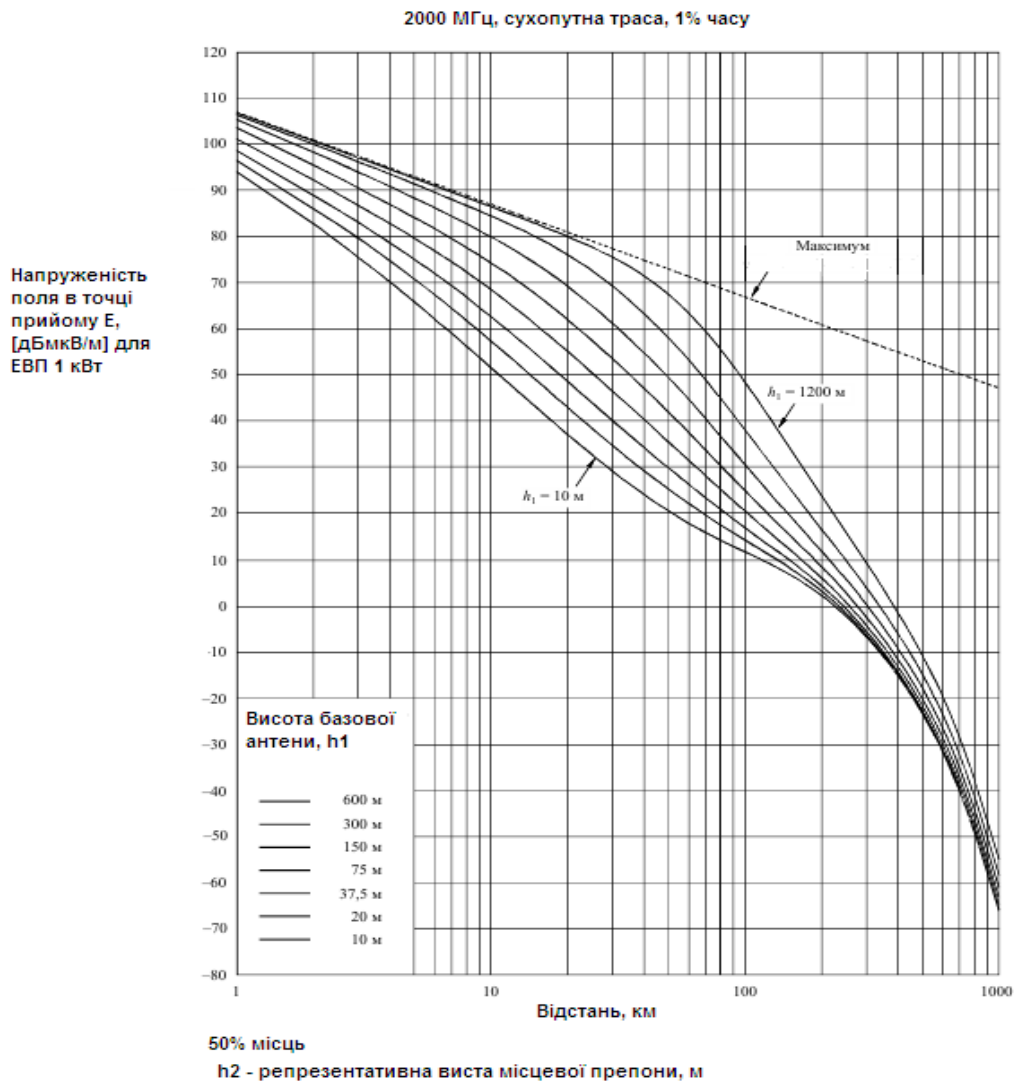


Рисунок 10 – Криві залежності напруженості поля від відстані

Для варіанта 21 на основі проведеного розрахунку напруженості поля в точці приймання для частоти 900 МГц згідно з рисунку 10 визначаємо дальність радіозв'язку $R = 23$ км.

1.5.2.2 Розрахунок втрат потужності передавача радіосигналу на основі моделей втрат

Вперше співвідношення для розрахунку напруженості поля УКХ в місті було запропоновано Джонсом, основою якого була формула розрахунку поля у вільному просторі, доповнена множником, який враховує поглинання в будівлях, що подавалися у вигляді еквівалентного поглинаючого шару. Однак наявність в розрахункових співвідношеннях трьох до деякої міри довільних постійних істотно ускладнювала їх застосування.

Надалі Б.А. Введенський запропонував використовувати для розрахунку поля в місті так звану квадратичну формулу, додавши до неї множник ослаблення, який визначався з експериментальних даних і варіювався в діапазоні значень від 0,25 до 1,5. Подальші дослідження показали, що реальна залежність напруженості поля від відстані в місті не збігається з тією, яку дає квадратична формула. Крім того, ця формула не враховує тип міської забудови та умови розміщення антен.

Інтенсивний розвиток стандартів стільникових систем за останні десятиліття стимулював інтерес до розрахунків втрат потужності і призвів до появи декількох моделей розрахунку, які можна розділити на дві великі групи: статистичні і детерміністські.

Статистичні моделі базуються на результатах експериментальних досліджень напруженості поля, чому вони часто називаються експериментальними моделями. Історично першою була модель Окамура [1], отримана в результаті багаторічних вимірювань поля в Токіо. На підставі побудованих графіків залежності медіанних втрат L від відстані між передавальною і приймальною антенами було запропоновано апроксимоване співвідношення такого вигляду:

$$L = L_0 + A(f, r) + C(h_{BC}) + C(h_{AC}), \text{ [дБ]}, \quad (2.5)$$

де

$$L_0 = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2,$$

втрати при розповсюдженні у вільному просторі, $A(f,r)$ - відношення медіанної величини втрат в місті з квазігладкою поверхнею землі до втрат у вільному просторі для ефективних висот антен відповідно до базової станції (БС) $h_{БС} = 200$ м і абонентської станції (АС) $h_{АС} = 3$ м, $C(h_{БС})$ і $C(h_{АС})$ – відповідно поправочні коефіцієнти, використовувані, якщо ефективні висоти антен відрізняються від зазначених, r – довжина траси, значення λ обирається з таблиці 7.

Під квазігладкою поверхнею розуміється траса протяжністю в декілька кілометрів, на якій середня висота нерівностей не перевищувала 20 м.

В [1] величина L_0 розраховується, а всі інші визначаються за графіками, побудованими на підставі експерименту.

Формула (1) придатна для частот $f = (150 \div 1500)$ МГц, діапазону відстаней $r = (1 \div 100)$ км і ефективної висоти антени базової станції $h_{БС} = (30 \div 1000)$ м. Безсумнівною перевагою моделі Окамура є її простота і універсальність, звідки слідує її основний недолік - відсутність обліку різких перепадів висот місцевості. Тим не менш модель Окамура служить найбільш часто застосовуваною моделлю розрахунку для стільникових систем. Її модифікація була розвинена в моделі Хата, званою також моделлю Окамура-Хата. Суть цієї моделі полягає в апроксимації графіків Окамура спеціально підібраними формулами для різних територіальних зон, які умовно класифікуються на велике місто, середнє і мале міста, передмістя, сільську місцевість, відкриту місцевість. Формули розрахунку втрат для зазначених зон з докладними поясненнями наводяться в [2]. Очевидно, що недоліки цієї моделі такі ж, як і у вихідній моделі Окамура, і так само призводять до недооцінки втрат для частот понад 1,5 ГГц. Тому поява нових стандартів стільникових систем, що працюють в діапазоні частот близько 2 ГГц, дала поштовх подальшим дослідженням у рамках проекту Європейського союзу COST - Cooperation for Scientific and Technical Research (Співробітництво для наукових і технічних досліджень), що привели до розширення моделі Окамура-Хата на частотний діапазон від 1,5

до 2 ГГц. Ця модифікація, що одержала назву COST 231-Хата, справедлива для ефективних висот антен БС і АС відповідно від $(10 \div 200)$ м і $(1 \div 10)$ м і відстаней між ними $(1 \div 20)$ км. Розрахункові співвідношення для цієї моделі також дано в [2]. Відзначимо, що цю модель можна використовувати при відстанях менше 1 км і при оцінці рівня сигналу на вулиці з високими будівлями. Поряд з вищенаведеними моделями проводять розрахунки і за так званими кривими поширення [3], що являє функціональну залежність медіанного значення напруженості поля від ряду параметрів

$$E_{\text{МЕД}} = \varphi(r, f_{\text{оп}}, h_{\text{БС}}, t),$$

де r — довжина траси, [км];

$f_{\text{оп}}$ — опорна частота (100, 600, 2000) МГц;

t — відсоток часу, протягом якого напруженість поля перевищить рівень, що прогнозується (50, 10, 5 %).

Криві відповідають деякій номінальній висоті приймальної антени, що змінюється залежно від підстилаючої поверхні, і довжині траси понад 1 км.

Досить просту модель розробив Лі на основі вимірів, проведених в США на частоті 900 МГц. Втрати при поширенні в цій моделі визначаються з виразу

$$L = 10n_0 lgr + k_0 - 20lgh_{\text{БС}} - 10lgh_{\text{АС}} + 59, \text{ [дБ]}, \quad (2.6)$$

де n_0 і k — параметри, що залежать від частоти і типу території.

З цього виразу найбільш ясно впливає загальна суть статистичних моделей, яку відображає залежність

$$L = 10nlgr + k, \text{ [дБ]}, \quad (2.7)$$

яка означає, що втрати є логарифмічною функцією відстані з коефіцієнтом нахилу n і параметром зсуву k , причому кожна модель має власний набір значень параметрів n і k і свої умови застосування.

Взагалі статистичні моделі дають можливість визначити медіанні значення втрат і, отже, напруженість поля для трас

більше 1 км, проте всі вони були отримані для конкретних територій, тому для поліпшення якості прогнозу величини поля у проєктованій системі стільникового зв'язку необхідно виконати калібрування параметрів n і k для передбачуваного району розгортання стільникових систем [4]. Процедура калібрування полягає в проведенні попередніх вимірювань напруженості поля в ряді типових точок обраного району і в зіставленні результатів вимірювань з даними розрахунку за обраною моделлю, поданими у вигляді (3), що і дає можливість скорегувати параметри n і k моделі.

Зіставлення експериментальних результатів з даними розрахунків ряду статистичних моделей показало, що найкращий збіг дає модель Окамура-Хата.

Незважаючи на широке застосування на практиці статистичних моделей, їх недоліки, про які було сказано вище, привели до розробки детерміністських моделей. У цих моделях враховуються особливості території та її забудови, інформація про які зберігається в спеціальній базі даних – цифровий карті місцевості, що є невід'ємною частиною сучасних геоінформаційних технологій. Використовувані в даний час детерміністські моделі враховують дифракцію на будівлях, що робить основний внесок в ослаблення радіохвиль при роботі піко- і мікростільникових систем, у зв'язку з чим вони іноді називаються дифракційними моделями. У моделі Ікегамі беруться до уваги промені, одноразово відбиті від сусідніх з АС будівель, причому втрати за рахунок відбиття вважаються постійними. Дифракція враховується на найближчій до АС будівлі, яка апроксимується еквівалентним ребром. Розрахунки втрат за цією моделлю дають хороший збіг з експериментом на частотах (200÷600) МГц при визначенні поля вздовж вулиць. До серйозних недоліків моделі слід віднести відсутність обліку висоти антени БС, що призводить до зменшення втрат на великих відстанях від БС, і те, що збільшення частоти понад 600 МГц дає заниження втрат.

У моделі Ксіа-Бертоні вводиться для спрощення розрахунку допущення про одну висоту будівель і однакову відстань між ними. Модель дозволяє вести розрахунки до 2200 МГц і враховує явище дифракції. Розрахункова формула має вигляд

$$L = L_0 + L_{\text{диф}} + L_{\text{мн.диф}}, \text{ [дБ]}, \quad (2.8)$$

де $L_{\text{диф}}$ – втрати за рахунок дифракції на кромці даху будівлі, сусідньої з АС, [дБ];

$L_{\text{мн.диф}}$ – втрати за рахунок множинної дифракції на дахах будівель, [дБ].

Дана модель має обмеження за дальністю (кілька сотень метрів) і за умовами застосування.

Модель Уолфіша-Ікегамі використовує ряд положень двох попередніх моделей і визначає медіанні втрати за співвідношенням

$$L = L_0 + L_1 + L_2, \text{ [дБ]};$$

де L_1 – втрати за рахунок віддзеркалень від будівель, що враховують ширину вулиці, [дБ];

L_2 – втрати, обумовлені орієнтацією вулиць щодо напрямку надходження сигналу, [дБ].

Модель справедлива для таких умов: висоти антен БС і АС відповідно $h_{\text{БС}} = (4 \div 50)$ м, $h_{\text{АС}} = (1 \div 3)$ відстані $r = (0,2 \div 5)$ км, частоти $f = (0,8 \div 2)$ ГГц, що дало можливість ІТУ – International Telecommunications Union (Міжнародному союзу електрозв'язку) рекомендувати її для розрахунку стільникових систем третього покоління. Недоліком моделі є те, що в ній фігурує тільки середня висота будівель і в залежності від реальних висот втрати будуть відрізнятися від прогнозованих. Тому була запропонована модифікація моделі шляхом введення ймовірності розподілу висот будівель. Крім того, можна поліпшити моделі, що використовують припущення про середню висоту будівель, побудовою першої зони Френеля уздовж лінії візування антен БС і АС. Будівлі, що потрапляють в межі цієї зони, суттєво впливають на формування поля в місці приймання [5]. В рамках дифракційних методів знаходиться і рекомендація ІТУ [2], яка пропонує модель, що є комбінацією двох раніше розглянутих.

Завдання на п. 1.5.2.2 курсової роботи полягає в наступному. Користуючись вихідними даними з таблиці 8 з урахуванням типу місцевості, обрати модель розрахунку втрат потужності радіосигналу з обґрунтуванням її вибору, що підходить для означених вихідних даних.

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунку втрат потужності передавача в радіоєфірі

Вар.	f, МГц	hac, м	hbc, м	r, км	l, м	k, дБ	n, дБ	Сбс, дБ	Сас, дБ	L1, дБ	L2, дБ	Lдиф, дБ	Лмн.диф, дБ	Місцевість
1	900	3	40	2	2	-3	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
2	850	3	50	20	2	-4	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
3	1500	2	150	50	2	-5	1.5	3	2	4	5	2	3	Мегаполіс
4	1000	3	120	30	2	-6	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
5	900	1	90	5	2	-7	1.5	3	2	4	5	2	3	Невелике місто
6	2000	3	200	60	2	-8	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
7	900	5	100	60	2	-9	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
8	850	4	100	50	2	-10	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
9	1500	3	60	30	2	-5	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
10	1000	2	50	20	2	-6	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
11	900	1	30	5	2	-10	1.5	3	2	4	5	2	3	Мегаполіс
12	2000	2	30	2	2	-9	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
13	850	1	30	5	2	-8	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
14	900	2	45	20	2	-7	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
15	900	3	40	10	2	-6	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
16	1000	3	50	30	2	-5	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
17	1500	3	35	20	2	-4	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто
18	2000	3	20	60	2	-3	1.5	3	2	4	5	2	3	Селище
19	1500	2	50	50	2	-4	1.5	3	2	4	5	2	3	Мегаполіс
20	1000	3	45	30	2	-5	1.5	3	2	4	5	2	3	Місто

Для прикладу проведемо розрахунки втрат потужності передавача в радіоєфірі стільникових систем для варіанта 21, вихідні дані для якого наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Вихідні дані для варіанта 21 для розрахунку втрат потужності передавача в радіоєфірі стільникових систем

Вар.	f, МГц	hac, м	hbc, м	r, км	l, м	k, дБ	n, дБ	Сбс, дБ	Сас, дБ	L1, дБ	L2, дБ	Lдиф, дБ	Лмн.диф, дБ
21	900	5	50	6	2	-3	1.5	3	2	4	5	2	3

Місцевість – місто.

Згідно з вихідними даними, для розрахунку втрат потужності передавача в радіоєфірі стільникових систем в місті для частоти 900 МГц можна використовувати модель Уолфіш – Ікегамі, модель Ксіа – Бертоні, модель Лі, отриману на основі вимірів, проведених в США на частоті 900 МГц.

$$L = 10n_0 lgr + k_0 - 20lgh_{BC} - 10lgh_{AC} + 59, \text{ [дБ];}$$

$$L = L_0 + L_{\text{диф}} + L_{\text{мн.диф}}, [\text{дБ}].$$

Проведемо розрахунки втрат потужності передавача в ефірі за моделлю Уолфіша-Ікегамі:

$$L = L_0 + L_1 + L_2, [\text{дБ}];$$

$$L_0 = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2;$$

$$L = \left(\frac{0.33}{4\pi \cdot 6}\right)^2 + 4 + 5 = 9 [\text{дБ}].$$

За моделлю Ксіа-Бертоні втрати потужності передавача в ефірі розраховуються так:

$$L = L_0 + L_{\text{диф}} + L_{\text{мн.диф}}, [\text{дБ}],$$

$$L = \left(\frac{0.33}{4\pi \cdot 6}\right)^2 + 2 + 3 = 5 [\text{дБ}].$$

За моделлю Лі втрати потужності передавача в ефірі розраховуються так:

$$L = 10n_0 lgr + k_0 - 20lgh_{\text{БС}} - 10lgh_{\text{АС}} + 59,$$

$$L = 10 \cdot 1.5lg6 + (-3) - 20lg50 - 10lg5 + 59 = 26.7 [\text{дБ}].$$

В кінці кожного розділу курсової роботи студент повинен зробити висновки щодо дальності радіозв'язку при різних технологіях радіозв'язку.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 Назвіть основні види вимірювань параметрів радіоефіру, поясніть особливості кожного з них.

2 При якому виді радіоконтролю параметрів відбувається оцінка дальності радіозв'язку?

3 Яким чином, отримавши значення напруженості поля в точці приймання, оцінити дальність радіозв'язку?

4 Як при розрахунку втрат потужності передавача транкінгових мереж враховується тип місцевості, де розташована мережа?

5 В залежності від яких факторів при розрахунках втрат потужності передавача мереж стільникового радіозв'язку обирається та чи інша модель втрат?

6 Поясніть, чим відрізняється розрахунок напруженості поля в точці приймання за формулою Б.А. Введенського при оцінці дальності радіозв'язку від розрахунку напруженості поля в точці приймання за формулами Окамура та Пескова.

7 Назвіть основні вимірювальні прилади для здійснення контролю радіоефіру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Y.Okumura et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service// Review of the Electr. Commun. Lab. 1968. v.16. №9-10. p. 825-873.

2 Recommendation ITU-R. P.1546-1. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. (2001-2003).

3 РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1546-2. Метод прогнозирования для трасс "точка-зона" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц (2001-2003-2005).

4 Милютин Е.Р., Василенко Г.О., Сиверс М.А. и др. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. — С.Пб.: Триада, 2003. — 159 с.

5 Милютин Е.Р., Василенко Г.О. Повышение точности расчета ослабления поля с помощью калибровки и цифровых карт местности// Электросвязь. — 2004. — № 2. — С. 38-40.

6 Милютин Е.Р., Василенко Г.О. Экспериментальная проверка детерминистских моделей расчета ослабления поля в городе // Радиотехника и электроника. — 2005. — Т. 50. — № 12. — С. 1451-1454.

ДОДАТОК А

Кафедра транспортного зв'язку

Студент(ка) _____ Група _____

Завдання № _____

на виконання курсової роботи з дисципліни
«Вимірювання в цифрових системах передачі» і дисципліни
“Технології мережевих вимірювань на залізничному транспорті”.
Тема «Розрахунок дальності радіозв'язку для систем різних типів
мереж радіозв'язку при проведенні вимірювань параметрів
радіоефіру»

План–графік виконання курсової роботи

№	Питання, що підлягають розробленню	Термін виконання	
		Дата	%
	Теоретична частина		30
1	Розрахунок дальності радіозв'язку мереж УКХ –діапазону		
1.1	Розрахунок дальності зв'язку по методиці ITU-R		17
1.2	Розрахунок дальності транкінгового радіозв'язку за методикою EURO COST (на частотах до 2 ГГц)		17
2	Розрахунок дальності стільникового радіозв'язку		
2.1	Розрахунок напруженості поля в точці приймання в стільникових системах на основі формул Б.А. Введенського та Окамура-Хата		18
2.2	Розрахунок втрат потужності радіосигналу на основі моделей втрат		18

Завдання видав _____

Дата видачі « ___ » _____ 20__ р.

