

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Г.І. Бондаренко
О.Т. Титенко**

РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми
програмами «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»,
«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» та «Радіотехнічні
комп'ютеризовані системи»
спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент *Мартинюк С.Є.*, кандидат технічних наук, доцент,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Відповідальний редактор *Шульга А.В.*, кандидат технічних наук, доцент,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № X від DD.MM.2021 р.)
за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету
(протокол № 01/2023 від 30.01.2023 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Бондаренко Геннадій Іванович, ст. викладач
Титенко Олександр Трохимович, ст. викладач*

РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

ЛАБОРАТОРИЙ ПРАКТИКУМ

Радіотехнічні системи. Лабораторий практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / Г.І. Бондаренко, О.Т. Титенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,15 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 44 с.

Методичний посібник містить теоретичний та практичний матеріал з дисципліни «Радіотехнічні системи» Посібник розраховано на студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка та буде корисний для усіх слухачів, які хочуть отримати теоретичні та практичні знання з проведення досліджень та розробки радіомереж зв'язку.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.....	5
1. Теоретичні відомості про роботу з програмою «RADIO MOBILE»	5
2. Робота з програмою «Radio Mobile»	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.....	28
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.....	33
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	44

ВСТУП

Навчальний посібник «Радіотехнічні системи. Лабораторні роботи» до виконання лабораторних робіт призначені для проведення досліджень радіомереж зв'язку для спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка, за освітніми програмами «Інтелектуальні технології раїдоелектронної техніки», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи».

В даному посібнику наведено:

- програми виконання робіт;
- короткі теоретичні відомості, що стосуються процесів створення радіомережі в середовищі програми «RadioMobile»;
- надані теоретичні відомості, що стосуються процесів створення радіомережі в середовищі програми «RadioMobile».

Лабораторні роботи проводяться в середовищі прикладної програми – «RadioMobile».

МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета лабораторних робіт – набуття студентами навичок з проведення досліджень радіомереж зв'язку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Ознайомлення з програмою Radio Mobile.

1. Теоретичні відомості про роботу з програмою «RADIO MOBILE»

Поширення радіохвиль являє собою процес переміщення радіохвиль від передавача до приймача через атмосферу. На радіосигнали впливають височини на місцевості між позиціями передавальної, що й ухвалює станцій, перешкоди, включаючи дерева, будинки й т.п., розташовані між цими станціями. На радіосигнали впливають також стан атмосфери й інші погодні умови.

Робота радіоприймача. Призначення будь-який радіо приймальної апаратури полягає в тому, щоб прийняти й декодувати конкретний сигнал з безлічі сигналів в ефірі й відокремити його від перешкод і інших небажаних сигналів. Гранична чутливість приймача являє собою мінімальне значення сигналу, який приймач може декодувати, а користувач прослухати.

Наприклад, більшість мобільних радіостанцій мають чутливість приймача 0,5 pV. Сигнал такого рівнів супроводжується перешкодами. При переміщенні радіоапаратури (мобільної або портативної радіостанції) рівень сигналу буде підвищуватися й знижуватися, зменшуючи або збільшуючи фоновий шум. При збільшенні сигналів на 1 pV відносний рівень шуму буде суттєво знижений. При зменшенні рівнів сигналу на 0,24 pV він може бути повністю перекритий шумом.

Зміна опорного рівнів сигналу від 0,5pV до 1pV означає збільшення рівня потужності сигналу на 0,5дБ, і такий сигнал уже набагато легше зрозуміти. Сигнал буде продовжувати змінюватися убік збільшення й

зменшення, але ці зміни менш помітні, і вони майже не сприймаються при прослуховуванні повідомлень.

Додатковий запас на завмирання сигналу поліпшує експлуатаційні показники радіосистеми. Однак створювати радіосистеми з максимальними експлуатаційними характеристиками не рекомендується. Така система має дуже гарну зону охоплення, але самі вилучені крапки цієї зони не використовуються.

Одиниці вимірів, децибел (дБ). Децибел (скорочено дБ) являє собою логарифмічну величину, використовувану при розрахунках поширення радіохвиль.

Ці розрахунки включаю безліч складних множень у різних крапках уздовж траси радіосигналу. При використанні спрямованих антен сигнал множить на коефіцієнт підсилення антени. При проходженні по фідеру значення сигналу ділиться на величину відносного загасання. Усі розрахунки стають дуже складними.

Використання логарифмічних значень усіх коефіцієнтів посилення і втрат зводить обчислення до простих дій по додаванню й вирахуванню. Коли визначені всі коефіцієнти підсилення й втрати, то для визначення кінцевого значення рівня сигналу їх можна просто скласти.

Таким чином, щоб спростити всі математичні дії, коефіцієнти підсилення антен, загасання у фідері, втрати на лінії й внесені втрати від антенних перемикачів визначаються в децибелах.

Програма Radio Mobile використовує в основному децибели. Програма допускає введення значень, наприклад вихідної потужності передавача або чутливості приймача, у лінійних одиницях у ватах або мікровольтах (pV), а також у логарифмічних одиницях, наприклад, dBm, які вона потім перетворює в децибели.

Математично децибел визначає не величину потужності сигналу, напруги або току, а відношення між двома значеннями кожної із цих.

Децибелів визначається наступним рівнянням:

$$\text{дБ} = 10 \times \log 10 (\text{Рівень потужності 1} / \text{рівень потужності 2})$$

Наприклад, коефіцієнт підсилення підсилювача можна визначити в децибелах. Якщо вхідна потужність рівна 75 Ват, а вихідна 300 Ват, то коефіцієнт підсилення буде рівний:

$$10 \times \log 10 (300 \text{ Ват} / 75 \text{ Ватів}) = 6,02 \text{ дБ.}$$

Децибел і радіотехнічні стандарти. Слід також помітити, що в радіотехнічній області було встановлено кілька стандартів з використанням децибелів.

dBW (дБВт) - децибели відносно 1 Вата.

Передавач потужністю 1 Ват має вихідну потужність 0dBW Передавач потужністю 10 Ватів має вихідну потужність +10dBW Передавач потужністю 25 Ватів має вихідну потужність +14dBW.

dBm (дБм) - децибел відносно 1 мілівата (mW)

Передавач потужністю 1 ватів має вихідну потужність +30dBm Передавач потужністю 10 ватів має вихідну потужність +40dBm Передавач потужністю 25 ватів має вихідну потужність +44dBm.

Щоб перетворити dBW в dBm потрібно до величини dBW додати 30.

Позначення dBm широко використовується для визначення чутливості радіоприймача.

0, 5pV відповідає -113dBm 1,0pV відповідає -107dBm 10pV відповідає - 87dBm

Чутливість приймача визначається рівнем напруги, вираженим в pV (мкВ), а не рівнем потужності у ватах.

Механізми поширення радіохвиль. Якщо віддалена позиція видна з місця розташування передавальної антени, то вважається, що віддалена позиція перебуває в межах зони охоплення. Така ситуація визначається як зона охоплення в межах прямої видимості. При використанні методу прямої видимості не приймається в розрахунки відбиття, зони Френеля й невеликий нахил радіохвиль при їхнім поширенні уздовж земної поверхні.

Загасання сигналу при поширенні радіохвилі між двома пунктами, що перебувають на лінії прямої видимості, розглядається як "загасання у вільному просторі". Ніякі інші параметри загасання не розглядаються.

На початкових етапах використання радіолокації на початку 1930-х років (на частотах порядку 300 МГц) було виявлено, що радіохвилі поширюються трохи далі відомого об'єкту й фактично нахилиються у бік земної поверхні. Причому, зі збільшенням частоти нахил зменшується.

Радіосистеми, що працюють у діапазоні ДВЧ, мають більшу зону охоплення, чим радіосистеми, що працюють в УВЧ діапазоні.

Після ретельного аналізу поширення радіохвиль було виявлено, що якби діаметр землі був збільшено на $1,33$ або на $4/3$, то радіохвилі поширювалися б уздовж поверхні землі по прямої лінії. Відмінність у нахилі радіохвилі визначається коефіцієнтом рефракції або К-фактором. При нульовій рефракції коефіцієнт К рівний 1. Як правило, у нормальних умовах величина К рівна $4/3$, але зі зміною атмосферних умов вона може мінятися від $2/3$ до 10. При збільшенні коефіцієнта К загасання на лінії між передавачем і приймачем зменшується. При його зменшенні загасання збільшується, що приводить до меншого рівня сигналу на вході приймача.

Втрати на поширення можна в цілому підрозділити на втрати (загасання) у вільному просторі й втрати на дифракцію.

Загасання у вільному просторі залежить від відстані між передавачем і приймачем. При його аналізі наявність перешкод не береться до уваги. Передбачається, що передавач і приймач розташовуються на лінії прямої видимості.

Для розрахунків загасання у вільному просторі (ЗВП) звичайно використовується наступна формула:

$$PCG \text{ (дб)} = 36,57 + 20 \times \log_{10} (\text{відстань у милях}) + \log_{10} (\text{частота в МГц})$$

Дифракційні втрати викликаються проходженням радіохвилі над краєм перешкоди, гори, будинків, дерев і інших об'єктів. При цьому частина енергії хвилі відхиляється у бік перешкоди. Дифракційні втрати збільшуються при

збільшенні відстані між передавачем і приймачем. Вони також залежать від кривизни земної поверхні.

Загальні втрати на лінії між передавачем і приймачем розраховуються шляхом додавання всіх значень втрат у децибелах, включаючи втрати у вільному просторі й дифракційні втрати. Усі параметри, що складаються, які в результаті дають рівень прийнятого сигналу, наведені в нижче представлений табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри що обумовлюють рівень прийнятого сигналу

Вихідна потужність передавача		dBm
Втрати в розніманнях		dB
Втрати в багатокальному розгалужувачі або фільтрі		dB
Втрати в антенному перемикачі		dB
Загасання у фідері		dB
Коефіцієнт підсилення передавальної антени		dB
Дифракційні втрати		dB
Коефіцієнт підсилення приймальної антени		dB
Втрати в розніманнях		dB
Втрати в багатокальному розгалужувачі або фільтрі		dB
Втрати в антенному перемикачі		dB
Загасання у фідері		dB
Обчислений рівень прийнятого сигналу		dBm
Гранична чутливість приймача		dBm
Запас на завмирання		dB

Багато із цих параметрів, наприклад, втрати в антенному перемикачі, а також коефіцієнт підсилення або загасання антени є в технічних характеристиках, надаваних виробником.

Втрати в розніманнях найчастіше не враховуються, хоча залежно від типу рознімання вони можуть становити від 0,2 до 1,0 dB на кожне рознімання. Ці втрати залежать також від якості рознімання й досвіду його установника.

Для розглянутого випадку прийнято вважати, що радіохвилі є синусоїдальними й мають фазові й частотні складові як показано на рис.1.1.

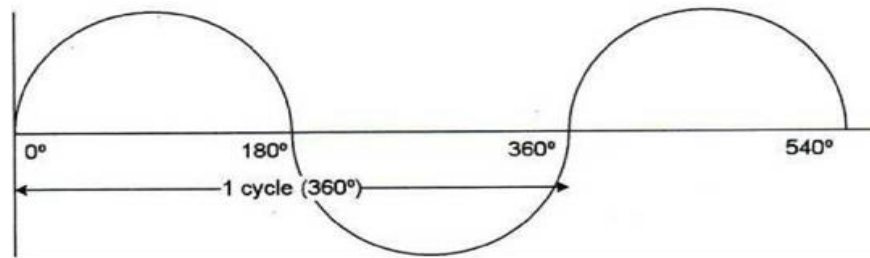


Рисунок 1.1 – Синусоїдальна хвиля

Зони Френеля використовуються для розрахунків втрат на відбиття й дифракції між передавачем і приймачем. Зони Френеля мають номери F1, F2, F3 і т.д.

На поширення радіохвилі мають впливають тільки перші три зони Френеля.

Зона Френеля являє собою циліндричний еліпсоїд, розмір якого визначається частотою й відстанню між станціями. Перша й друга зони Френеля наведені на рис.1.2.

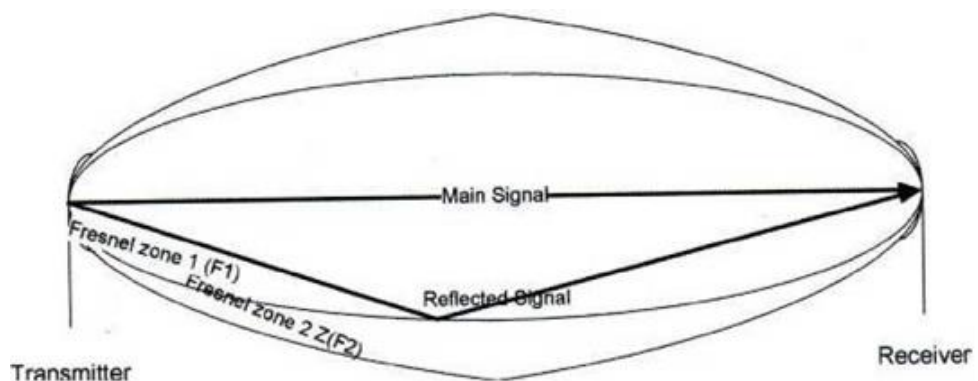


Рисунок 1.2 – Перша й друга зони Френеля

Коли радіосигнал поширюється від передавача до приймача, він може проходити декількома шляхами. Він може йти прямо, безпосередньо від передавача до приймача (основний сигнал), може відбитися від землі й після цього йти до вилученого приймача (відбитий сигнал), а може також поширюватися вліво й вправо й відбиватися від піднесення, будинків і т.п. (ще один відбитий сигнал).

Радіус зони Френеля визначає це відбиття щодо загальної довжини траси радіосигналу. Наведений вище малюнок 2 показує основний і відбитий сигнали, а також F1 (першу Зону Френеля) і F2 (другу зону Френеля). Відбиття може відбуватися в будь-якому місці між передавачем і приймачем.

При відбитті сигналу відбувається наступне:

1. Фаза сигналу міняється на протилежну, тобто сигнал змінюється по фазі на 180^0 .

2. Оскільки відбитий сигнал проходить шлях, який трохи довше шляхи основного сигналу, то він ще більше зрушується по фазі від основного сигналу. На довгій трасі це зрушення по фазі може досягати 180^0 і більше.

Прийомна антена не може диференціювати основний і відбитий сигнали. Вони обоє мають ту саму частоту, тому вона ухвалює обоє сигналу, а також усі інші сигнали в межах цього частотного діапазону.

Прийняті сигнали будуть накладатися один на одного. Якщо різниця їх фаз становить 360^0 , то не виникає ніяких проблем. Якщо різниця фаз становить 180^0 (тобто вони перебувають у протифазі), то вони гасять один одного, і приймач нічого не ухвалює.

Радіус першої зони Френеля розраховується таким чином, щоб різниця довжин трас основного й відбитого сигналу від радіуса F1 давала різниця фаз в 180^0 . Відбитий сигнал, зрушений по фазі на 180^0 через довжину траси, плюс зрушення по фазі на 180^0 через фактичну крапку відбиття, буде мати зрушення по фазі на 360^0 . Таким чином, основний і відбитий сигнал надходять на антену з різницею фаз в 360^0 (синфазно) і не будуть впливати на роботу приймача.

Радіус другої зони Френеля розраховується таким чином, щоб різниця довжин трас основного й відбитого сигналу від радіуса F1 давала різниця фаз в 360^0 . Відбитий сигнал, зрушений по фазі на 360^0 через довжину траси, плюс зрушення по фазі на 180^0 через фактичну крапку відбиття, буде мати зрушення по фазі на 540^0 . Математично 180^0 і 540^0 являють собою однакове

зрушення по фазі. Таким чином, два сигнали (основний і відбитий) будуть гасити один одного. Сигнал у приймач надходити не буде.

Друга зона Френеля являє собою зону відбиття, яка небажана при розрахунках трасі радіосигналу.

Радіус третьої зони Френеля розраховується таким чином, щоб різниця довжин трас основного й відбитого сигналу від радіуса $F1$ давала різницю фаз в 540^0 . Відбитий сигнал, зрушений по фазі на 540^0 через довжину траси, плюс зрушення по фазі на 180^0 через фактичної точки відбиття, мати зрушення по фазі на 720^0 . Таким чином, обоє сигнали будуть у фазі.

При розрахунках зон Френеля слід ураховувати два моменти.

Хвилі, відбиті в непарних зонах Френеля ($F1$, $F3$, $F5$), мають підсумкове зрушення по фазі на 360^0 і не впливають на якість приймання.

Хвилі, відбиті в парних зонах Френеля ($F2$, $F4$, $F6$), мають підсумкове зрушення по фазі на 180^0 і негативно впливають на рівень прийнятого сигналу.

Вплив таких відбиттів при використанні мобільних радіостанцій відчувається поблизу границі зони впевненого приймання. При цьому в приймачі чутно швидке збільшення/зменшення сигналу, яке називається "релеєвським завмиранням" і яке є прямим результатом відбиттів від зони Френеля, що проявляються при переміщенні автомобіля по шосе.

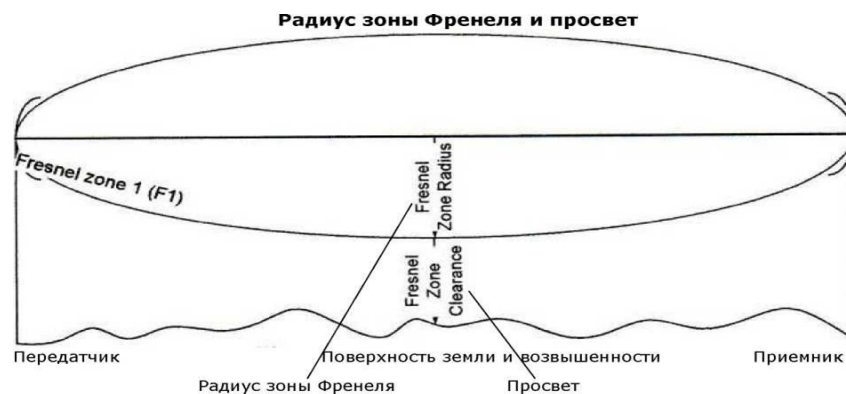


Рисунок 1.3 – Радіус зони Френеля й просвіт

Можна розрахувати діаметр (половину радіуса) еліпсоїда зони Френеля.

Важливим компонентом радіуса зони Френеля є просвіт між еліпсоїдом зони Френеля й земною поверхнею. Як видно з рис.1.3, радіус зони Френеля й просвіт показуються, якщо співвідношення між просвітом зони Френеля й радіусом зони Френеля більше 60%. У цьому випадку траса радіосигналу вважається "у межах прямої видимості" і не вносить ніяких дифракційних втрат.

Межі прямої видимості. При розрахунках загасання на лінії між передавачем і приймачем, якщо траса сигналу перевищує на 60% першу зону Френеля, вважається, що радіосигнал перебуває в межах прямої видимості й не підданий дифракційним втратам.

У міру скорочення просвіту в зоні Френеля нижче 60%, дифракційні втрати зростають. Межа прямої видимості часто називається оптичною прямою видимістю.

Двухточкові радіоканали. Оскільки друга зона Френеля (F2) вносить втрати у рівень прийнятого сигналу, то висоти підвісу антен часто вибираються таким чином, щоб у першій зоні Френеля не було перешкод, а перешкоди в другій зоні представляли б собою височини або опуклість земної поверхні.

Будь-які відбиті й зрушені по фазі на 180^0 сигнали в другій зоні Френеля послабляються піднесеннями або іншими перешкодами на земній поверхні й не досягають приймальної антени, щоб створити перешкоди або погасити основний сигнал.

Для надійності траси двухточкового радіозв'язку траса радіоканалу повинна бути більш ніж на 60% чистою у першій зоні Френеля (F1), щоб не вносити дифракційних втрат.

При розрахунках надійності двухточкового каналу враховуються запас на завмирання сигналу, відстань між радіостанціями, пропускна здатність каналу й безліч інших факторів.

Два важливі вхідні параметри включають коефіцієнт рефракції "К" і просвіт зони Френеля. Ці параметри дають можливість визначати необхідну висоту підвісу антени, щоб одержати необхідний просвіт зони Френеля.

При розрахунках УКХ трас для телефонних мереж використовується значення просвіту зони Френеля порядку 60% і величина К-фактору рівна 2/3 або 1,33. У системах із просторовим рознесенням антен (із двома приймальними антенами) використовується просвіт зони Френеля рівний 100% для більш високих антен і 60% для більш низьких антен.

При цьому слід враховувати, що при використанні дуже високих антен можна зіштовхнутися із проблемою відбиття радіохвиль і просвітом у другій зоні Френеля.

Тому завжди слід перевіряти сигнал на його відбиття по трасі. Програма Radio Mobile не здійснює аналіз радіоканалу на відбиття.

Розрахунок зон упевненого приймання заснований на теорії імовірності. Впевнене приймання в певній точці, віддаленої від передавача, може бути визначено з імовірністю 50%, 90% і вище. 100-процентна ймовірність прийому до плинусь всього часу не може бути гарантована.

На зону впевненого приймання постійно діють погодні умови й стан атмосфери. Дощ і снігопад можуть впливати на супутниковий і мікрохвильовий зв'язок. Температурна інверсія впливає на зв'язок у діапазонах УВЧ і ДВЧ і викликає відбиття, які можуть підсилювати або послаблювати сигнал на віддаленій приймальній антені.

У зв'язку із цим у радіомережах використовується параметр, який називається "запас на завмирання", і який використовується для визначення ймовірності успішного встановлення радіозв'язку. Запас на завмирання являє собою додатковий сигнал, який вище граничного рівня приймача, але який не є необхідним для самого зв'язку.

В табл.1.2 наведений приблизний перелік значень запасу на завмирання з відповідною ймовірністю встановлення надійного зв'язку. На визначення запасу на завмирання впливають і інші фактори, включаючи

довжину траси й частоту, але представлені значення дають цілком розумну оцінку запасу на завмирання.

Відсотки ставляться до періоду часу, наприклад, "50% часу рівень сигналу буде вище розрахованого.

Таблиця 1.2 – Запас на завмирання на трасі

50%	6дБ
90%	10дБ
99%	20дБ
99,9%	30дБ
99,99%	40дБ

Для більшості мобільних систем цілком прийнятний запас на завмирання в межах від 6дБ до 10дБ. У найбільш відповідальних системах зв'язку, наприклад у поліції, пожежних підрозділах, у швидкій допомозі, де потрібна підвищена надійність зв'язку, запас на завмирання встановлюється більш високим.

В стільникових системах радіозв'язку й, певною мірою, в транкінгових системах використовуються запаси на завмирання в межах від 10дБ до 20дБ. Щоб можна було використовувати в стільниковому і транкінговому зв'язку телефонні апарати невеликих розмірів з невеликими й мало ефективними антенами, потрібно набагато побільшати рівень сигналу для підтримки надійного каналу радіозв'язку від вузла стільникового зв'язку до стільникового телефону.

Зона впевненого приймання для мобільних радіостанцій буде завжди більше зони впевненого приймання портативних радіостанцій. Ця відмінність обумовлюється меншим коефіцієнтом підсилення антен і меншою зоною охоплення антен портативних станцій. Крім того, вихідна потужність портативних передавачів нижче, чим у передавачів мобільних радіостанцій.

Системи географічних координат.

Програма Radio Mobile діє з використанням 4 різних систем координат. Усі вони визначають місце розташування радіостанції або користувача на точно певній позиції на земній поверхні.

У програмі використовуються наступні системи координат:

- Широта й довгота, завжди використовуються за замовчуванням
- Радіолокаційна система Maidenhead або QRA
- Військова система координат (MGRS)
- Універсальна поперечна проекція Меркатора (UTM)

Військова система MGRS заснована на системі UTM і аналогічна їй.

Програма спочатку за замовчуванням використовує широту й довготу, а також систему QRA (Maidenhead)

Альтернативну систему координат можна вибрати в меню "варіанти" вибіркою пункту "Координати" і кожної із чотирьох вище зазначених систем. При цьому довгота й широта завжди доступні.

Слід мати на увазі, що в рядку стану внизу сторінки будуть показуватися до 3 систем координат у позиції курсору на відображуваній карті. Потрібно просто відзначити віконце з потрібною системою координат.

При переміщенні курсору по карті безупинно показуються висоти в метрах у місці розташування курсору. Слід мати на увазі, що при виборі координат X-Y позиція курсору буде показуватися в пікселях, якщо розмір відображуваної карти обраний у пікселях. Розмір у пікселях і роздільна здатність карти визначаються у вікні "Властивості Карти".

Значення 0, 0 координат X-Y відносяться до лівого верхнього кута карти.

Слід також мати на увазі, що для представлення круглої землі на плоскій карті використовуються опорні точки зйомки, обираєні на землі для різних систем координат. За формою земля являє собою сплюснений сфероид. Для відображення фактичних позицій на землі з використанням опорних точок використовуються кілька еліпсоїдів.

- Найбільше широко відомим є еліпсоїд Кларка, 1866 р.

- У якості опорних точок використовуються численні базові географічні дані.
- У системі координат UTM, а також в інших системах визначення місця розташування використовуються еліпсоїд і опорні точки, обумовлені Всесвітнім географічним стандартом 1984 р. (WGS84). Цей еліпсоїд використовується навігаційною системою GPS.

У всіх визначеннях місцезнаходжень відзначається невеликий зсув опорних точок на карті й зсув у позиції конкретної точки на поверхні. Ці зсуви невеликі й в основному не виявляють істотного впливу на розрахунки або відображення зон охоплення.

Широта й довгота, очевидно, є найбільше широко відомими координатами для визначення місцезнаходження на землі.

Уся земна куля розділена на горизонтальні "зрізи" , які називаються широтами. Екватор розташовано на широті 0^0 , північний полюс на широті 90^0 North, південної полюс на широті 90^0 South.

Земна куля поділена також на вертикальні сегменти, які називаються довготою. Нульовий "меридіан" проходить Гринвіч, пригород Лондона. Меридіан 180^0 перебуває в Тихому океану, на схід азіатського материка.

Позиції вимірюються до сходу й заходу від нульового меридіана й визначаються як стільки-то градусів східної або західної довготи. Кожний градус ділиться на 60 хвилин ('), кожна хвилина на 60 секунд (' ').

Перетинання ліній широти й довготи визначає конкретне місцезнаходження об'єкта на землі.

Місцезнаходження вигладить, наприклад, у такий спосіб:

$51^0 2' 43,63''$ N, $114^0 3' 26,14''$ W.

Недоліком визначення місцезнаходження з використанням довготи й широти є те, що відстані й масштаб карти міняються залежно від широти місцезнаходження. Більше того, відстані, вимірювані по широті, будуть різними в міру просування до півночі або до півдня.

Один градус довготи на екваторі рівний однієї морській милі. І в міру переміщення до півночі або півдня це співвідношення зменшується, що в остаточному підсумку вимагає змінювати масштаб карт, оскільки лінії довготи на південному й північному полюсі зустрічаються.

Система визначення місця розташування Maidenhead ділить земну кулю на квадратні сітки (зони) розміром 10^0 (по широті) на 20^0 (по довготі). Відлік широт починається від південного полюса, відлік довгот від 180^0 W.

Спочатку вказується довгота, значення якої починається з букви 'A' і послідовно доходить до букви 'R', тим самим завершуючи зональну окружність навколо земної кулі.

Наступним знаком позначається широта, відлік якої починається від південного полюса буквою 'A'. Зони позначаються буквами від 'A' до 'R' від південного до північного полюса.

Далі вказуються числа з однієї цифри. Перша цифра - довгота, яка ділить 20 градусну зону на 2 - градусні квадрати. Друга цифра - широта, яка ділить 10 - градусну зону на 1 - градусні квадрати. Таким чином, виходять квадрати розміром 10 на 20 .

Наступна пара прописних букв ділить квадрати сітки на 24 підквадрати розміром $2,5'$ на $5''$, позначувані буквами від 'a' до 'x'. При цьому перша буква позначає довготу, друга - широту.

Координати місця розташування в системі Maidenhead мають, наприклад, наступний вид: DO21xb.

Універсальна поперечна проекція Меркатора (UTM). У цій системі земна куля ділиться по екватору на 60 вертикальних зон, кожна зона має ширину по довготі в 8^0 . Зони послідовно нумеруються із заходу на схід, починаючи з меридіана 180^0 на Тихому океані. При позначенні координат завжди вказується номер зони.

Східний напрямок завжди вимірюється в метрах до сходу від границі конкретної зони.

По меридіану земна куля ділиться на зони по 8° , починаючи з південної широти 80° і далі на північ. Кожній 8- градусній зоні привласнюється літерне позначення, починаючи з букви 'C' (Букви 'I' і 'O' не використовуються). Екватор позначається буквою 'N'. Місце розташування визначається в метрах до півдня або півночі від екватора.

Координати місця розташування в системі UTM можуть мати такий вигляд:

706,277 E, 5,658,789,9 N, Zone 11U

На більшості топографічних карт показуються координати в системі UTM. В полярних районах використовуються інша система, заснована на стандарті UTM, опис якої можна знайти на сайті Wikipedia.

Американська військова система координат (MGRS) створена на базі системи UTM. Ця система прийнята в НАТО для точного визначення місця розташування об'єктів на землі. Програма Radio Mobile може використовувати координати MGRS.

У системі MGRS зони UTM діляться на 100- кілометрові ділянки з буквеною нумерацією від 'A' до 'Z' із заходу на схід. Букви 'I' і 'O' не використовуються. На екваторі кожна зона UTM має 8 букв. Літерне позначення повторюється при досягненні кінця алфавіту. С збільшенням відстані від екватора до півночі або півдня букви з кінця алфавіту не використовуються (тому що лінії довготи зближаються).

До півночі й до півдня від екватора квадрати позначаються буквами від 'A' до 'V' у непарних зонах. У парних зонах позначення починаються з букви 'F'. Після букви 'V' літерне позначення повторюється.

Після літерного позначення йде серія числових позначень із 2, 4, 6, 8 і 10 цифр.

Ці числа позначають координати UTM у метричних одиницях.

Кількість цифр визначає точність визначення місця розташування. Серії чисел (парна кількість цифр) нарівно розподіляються відповідно по

східному й північному напрямкові й визначають місце розташування з точністю, представленої нижче:

- | | | |
|---|--|---------|
| 1 | + 1 цифр визначають відстань до 10,000 м | (19 км) |
| 2 | + 2 цифри визначають відстань до 1,000 м | (1 км) |
| 3 | + 3 цифри визначають відстань до 100 м | |
| 4 | + 4 цифри визначають відстань до 10 м | |
| 5 | + 5 цифр визначають відстань до 1 м. | |

Типове місце розташування в системі MGRS виглядає в такий спосіб:

11U QS 06277 58781

Дані і карти висот є на багатьох друкованих формах (друковані карти), але тільки недавно вони стали доступні в електронному виді для використання в комп'ютерах.

Цифрові дані висот земної поверхні (DTED) стали розроблятися в Канаді наприкінці 1980- х років. Вони охоплюють в основному територію Канади.

В 2001 р. NASA приступила до створення карт висот землі SRTM, використовуючи радіолокаційні знімки земної поверхні, зроблені з космічного корабля багаторазового використання. Знімки проводилися через кожні 3 секунди.

Дані SRTM існують у декількох версіях: попередня (версія 1, 2003 р.) і остаточна (версія 2, 2005 р.). Дані поширюються у варіантах сітки з розміром гнізда в одну й три секунди. Більш точні одно секундні дані (30 м) охоплюють тільки територію США. На іншу територію землі доступні тільки трьох секундні дані (90 м).

Дані надаються по континентах по квадратах земної поверхні розміром 1° на 1° .

Ділянки земної поверхні північніше широти 60° N і південніше широти 60° S зйомкою не охоплювалися. Дані по цих районах можна придбати в постачальника 'Lurodata'.

Дані висот після завантаження можна зберігати в конкретному файлі. Radio Mobile повинна бути запрограмована на пошук цього файлу для одержання даних.

Програма може також автоматично здійснювати пошук потрібних файлів. Для розрахунків траси або зони упевненого приймання вона буде автоматично завантажувати необхідні файли. Недоліком цієї процедури є необхідність підключення до Інтернету при проведенні обчислень. Неможливо здійснити "автономне" обчислення траси без попередньо завантажених даних.

Розташування файлів даних висот визначається у вікні "Властивості Карти".

2. Робота з програмою «Radio Mobile»

Початок роботи.

Перш за все необхідно вибрати карту необхідної місцевості та задати три основні параметри:

- Мережа
- Система
- Станція

Мережа – визначає загальну групу радіостанцій і набір робочих характеристик. Вона включає базові станції, мобільні станції, портативні станції і тд. в межах радіомережі.

Система – визначає конкретні робочі характеристики будь-якої радіостанції. До них відносяться: потужність передавача, чутливість приймача, загасання в лінії, висота підвісу антени, тип антени і коефіцієнт підсилення антени.

Станція – кожна радіостанція в мережі. Сюди відносяться: базові станції, ретранслятори, мобільні станції і портативні станції.

Отже першим етапом роботи з програмою необхідно задати необхідну кількість мереж, систем та станцій і задати їхні параметри.

Після чого створюємо нову мережу: Файл → Новые сети. Приклад створення станцій дивися на рис.1.4.

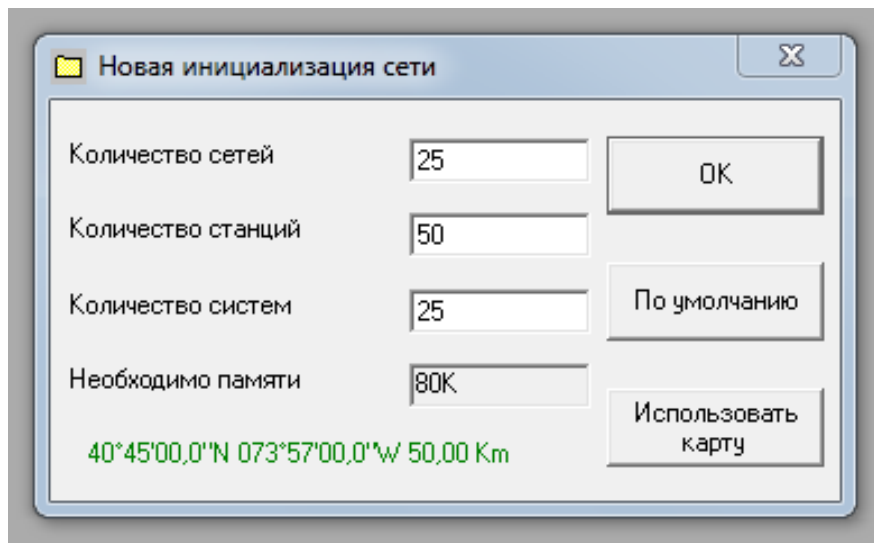


Рисунок 1.4 – Створення станцій

Далі налаштовуємо параметрів мережі:

Файл → Свойства сети (відповідна піктограма ). В вкладці «Сети» задаємо параметри мережі: діапазон частот, поляризацию климат, параметры поверхности. Приклад настроювання станцій дивися на рис.1.5.

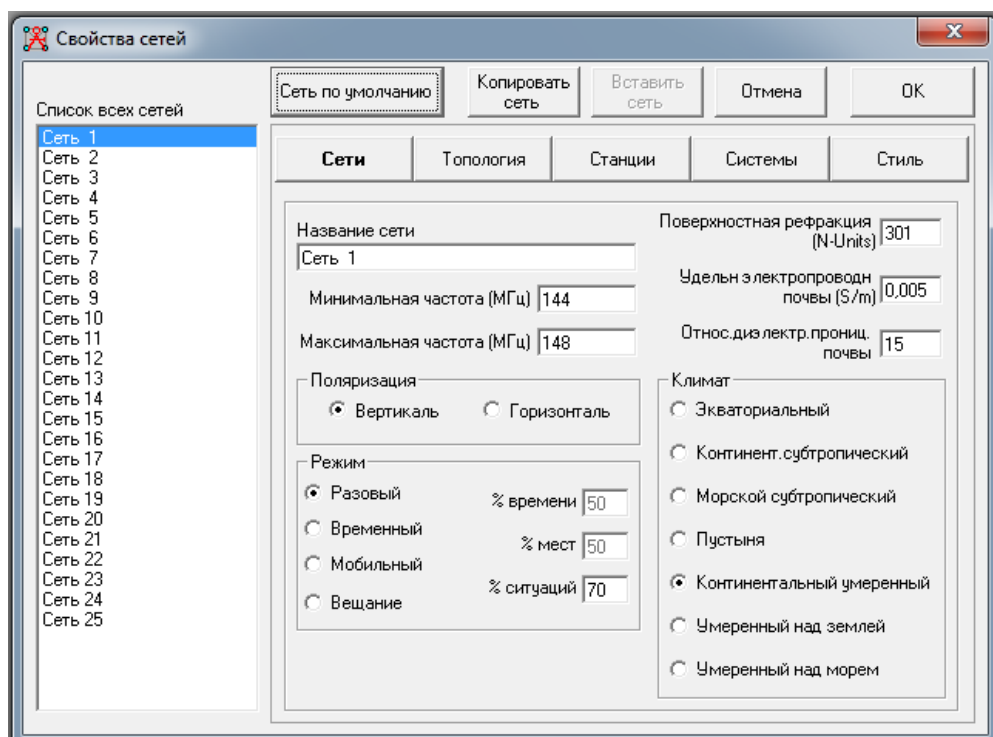


Рисунок 1.5 – Властивості мереж

У вкладці «Системы» задаємо робочі характеристики необхідних систем. Приклад настроювання систем дивіться на рис.1.6.

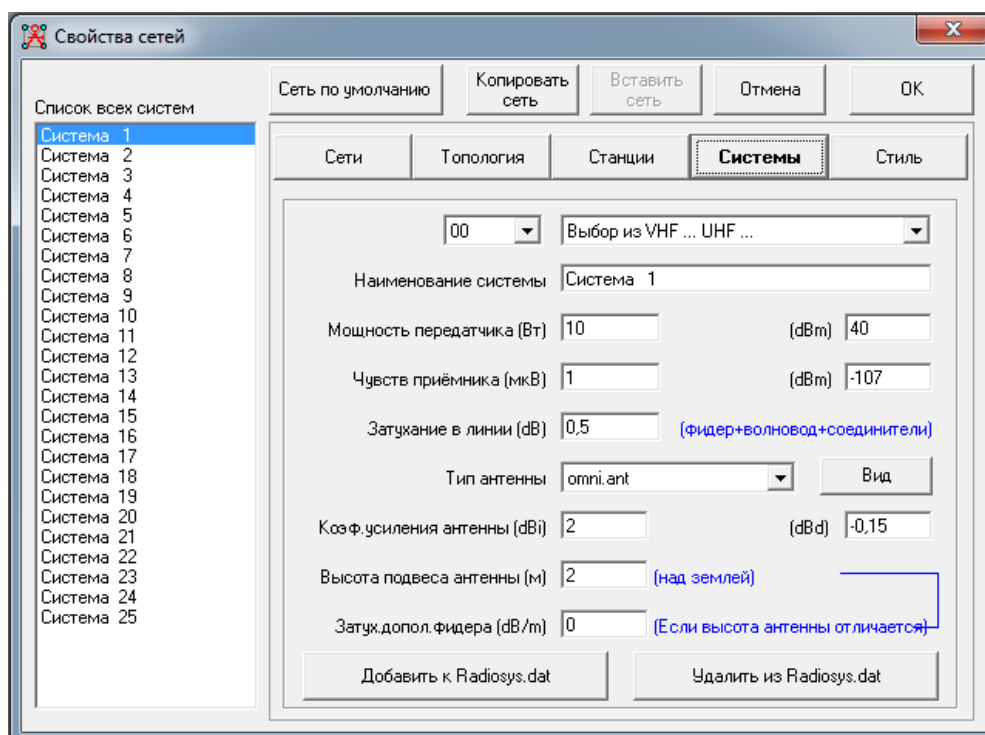


Рисунок 1.6 – Властивості систем

Вибір необхідного місцезнаходження робимо наступним чином:

Файл → Свойства карты (🌐). Приклад вибору карти дивіться на рис.1.7.

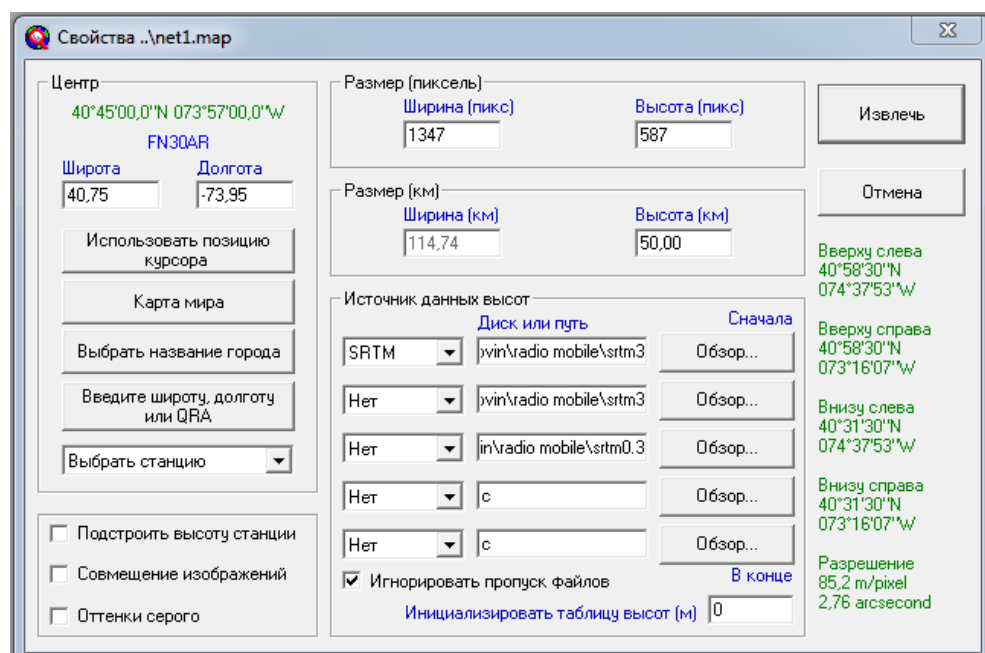


Рисунок 1.7 – Вибір карти

В даному вікні задаємо координати центру (можна шляхом вибору назви міста), необхідні розміри та розширення карти. Натискаємо на кнопку Извлечь і отримуємо карту заданого району. Приклад вибраної карти дивіться на рис.1.8.

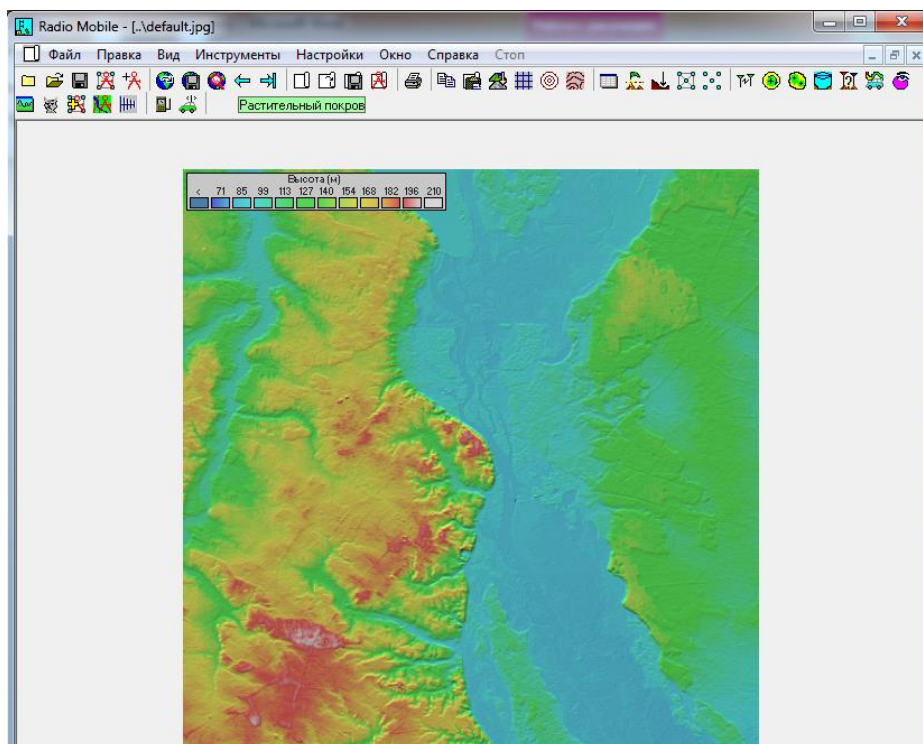


Рисунок. 1.8 – Карта заданого району

Розміщуємо станції на карті висот для чого вибираємо точку на карті і переходимо в меню Файл → Свойства станций (). Дивись рис.1.9.

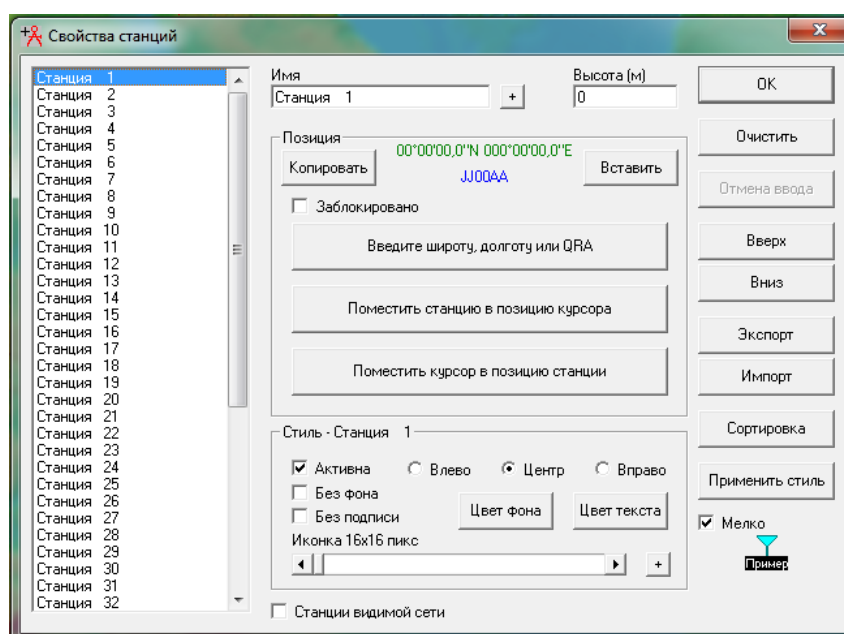


Рисунок 1.9 - Властивості станцій

В даному вікні обираємо станцію і встановлюємо в позицію курсора або задавши координати вибраної точки на карті. Також можна вказати ім'я станції змінити висоту станції та змінити стиль відображення на карті. Для візуалізації розрахунків на карті в вибираємо Вид→Показать сети або піктограма . Приклад реалізації приведено на рис.1.10..

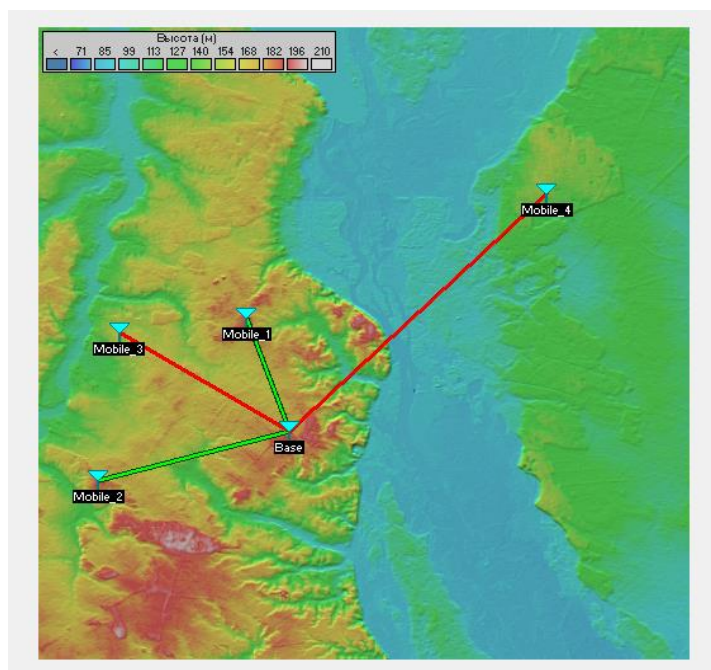


Рисунок 1.10 – З'єднані станції

Змінити оформлення мережі можна в Файл → Свойства сети() вкладка Стил. Відкриється вікно рис.1.11.

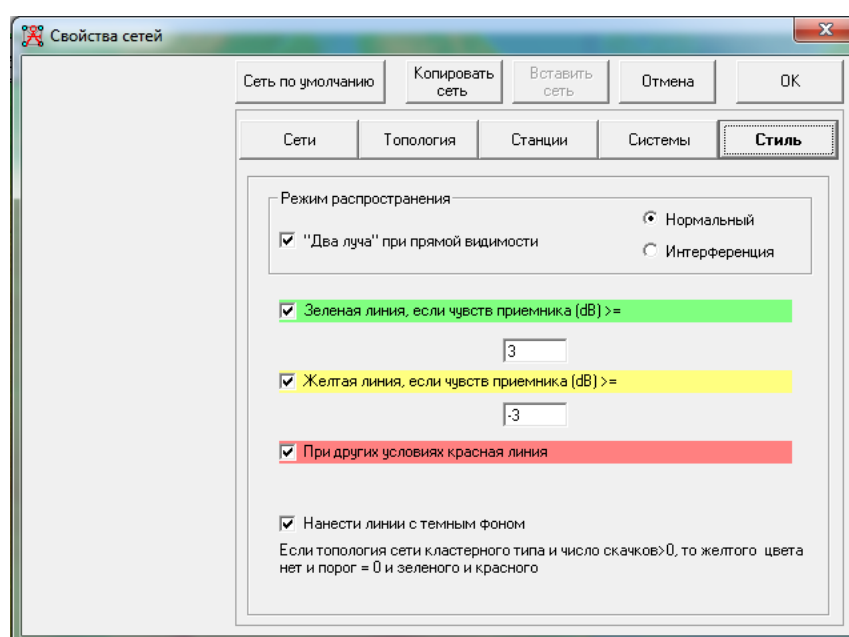


Рисунок 1.11 – Властивості мереж

Для побудови зони прямої видимості станції потрібно перейти в Інструменти→ Візуальна зона охоплення (👁️). Відкриється вікно рис.1.12.

Рисунок 1.12 – Вікно «Візуальна зона охоплення»

В цьому вікні задається станція для якої проводиться розрахунок, її висота, сектор і границі для розрахунку. Також задається стиль оформлення отриманого результату. Відображення карти висот місцевості потрібно перевести з кольорового відображення в градієнт сірого для уникнення накладання кольорів з результатом. В результаті отримаєм рис.1.13.

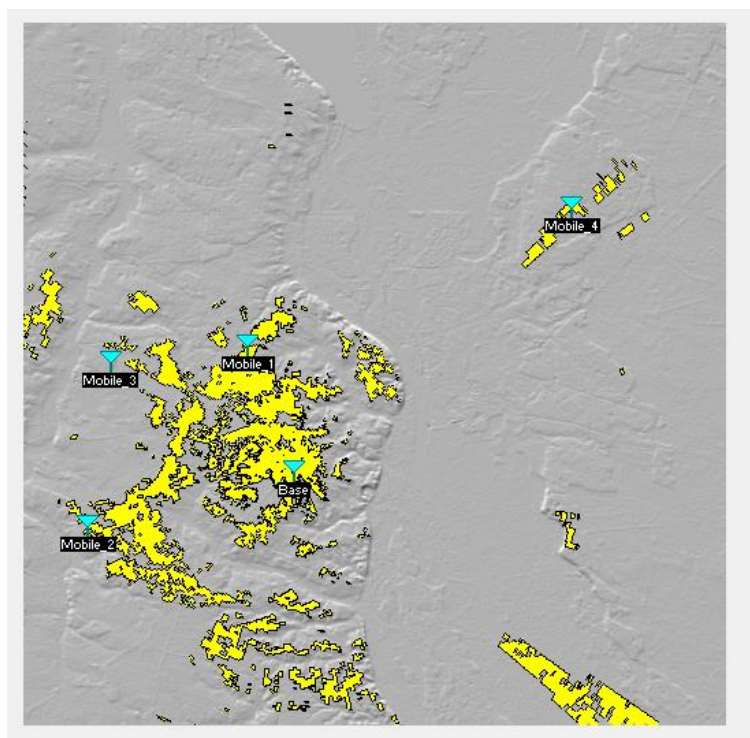


Рисунок 1.13 – Візуальна зона охоплення

Далі налаштовуємо відображення зони охоплення (див. рис.1.14) та кольори стиля (див. рис.1.15).

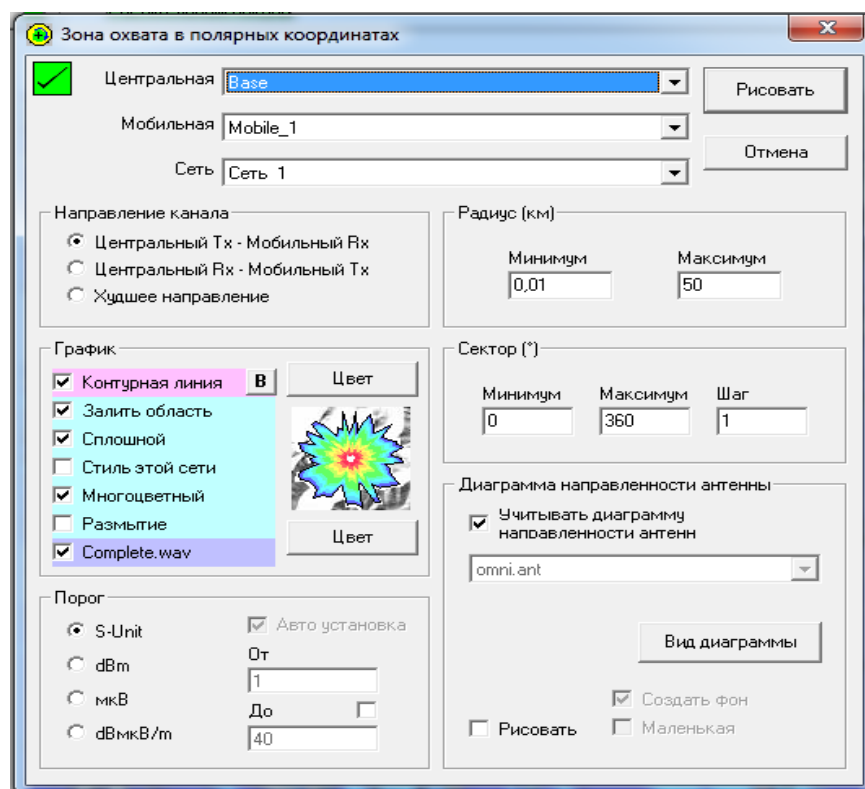


Рисунок 1.14 – Налаштування відображення зони охопту

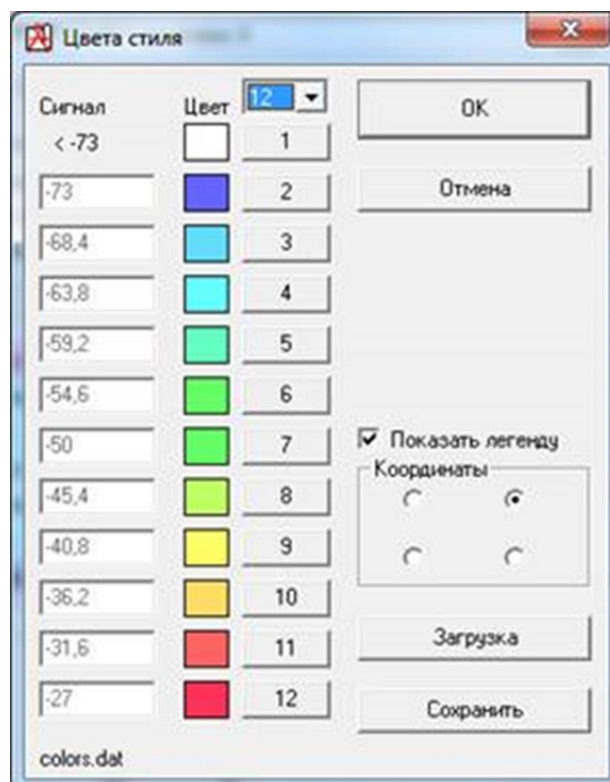


Рисунок 1.15 – Налаштування кольору стилю

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Розрахунок зони покриття цифрового передавача стандарту DVB-T у програмі «RadioMobile».

Мета роботи: Виконати розрахунки зони покриття цифрового DVB-T передавача в програмі Radio Mobile.

Методика проведення експерименту

При проведенні даної роботи використовуються ПК і програма Radio Mobile.

Головний зміст лабораторної роботи полягає в наступному:

- а) навчитися використовувати програму "Radio Mobile" для розрахунків зон покриття передавачів різного призначення.
- б) провести експеримент і розрахувати зону покриття сигналу DVB-T за певних умов по пропускній здатності й завадостійкості каналу передачі.

Порядок виконання роботи

1. Запустити на ПК програму "Radio Mobile".
2. Відкрити карту миру скориставшись іконкою на панелі керування, вибрати місто Київ подвійним клічем лівої кнопки миші.
3. У меню, що відкрився, установити розмір карти, що має 3000x2000 пікселів, установити галочку на пункті "Сполучення зображень", натиснути на клавішу "Витягти".
4. У розділі, що відкрився меню "джерело" вибрати пункт "Internet Openstreetmap", у розділі "операція" вибрати пункт "замінити", натиснути на клавішу "Рисовать".
5. Установити курсор на карті в районі. Відкрити властивості станцій (Файл -> Властивості станцій), перейменувати станцію в "DVB-T передавач", нажати клавішу "Помістити станцію в позицію курсору". Та натиснути клавішу "ОК".

6. Створити розмітку на карті, для цього вибрати іконку "Створити кільця" на панелі керування (або Виправлення -> Створити кільця). У меню, що відкрився, вибрати позицію вашої станції. У якості одиниць виміру вибрати "Кілометр", крок дистанції "1 кілометр", активувати пункти "радіальні", "кільця". Натиснути на клавішу "Рисовать".

7. Відкрити властивості мереж (Файл -> Властивості мереж). Змінити назва мережі на "DVB-T", вибрати початкове й кінцеве значення каналу "вашого" формувача, поляризацію антени встановити горизонтальну. У розділі "режим" вибрати пункт "віщання" в 95% місць і 95% часу в 70% ситуацій.

8. У розділі "топология" вибрати пункт "Цифрова мережа, зоряна топология", установити галочку в пунктах "у зоні прямої видимості", "якщо станція, що передає то інші прийомні", "антена станції слейв спрямована на станцію майстер".

9. У розділі "Станції" виділити 5 станцій. "DVB-T передавач" - майстер, інші станції слейв. Висота підвісу антени для передавача - 25 метрів, для інших станцій 5 метрів.

10. Перейти в розділ "Системи". Перейменувати систему 1 в "DVB-T канал", номер каналу вибрати згідно з каналом формувача. Потужність передавача встановити - 100Вт, чутливість приймача - 50мкВ, тип антени - диполь, коефіцієнт підсилення- бдб, висота підвісу 25 метрів. Натиснути на клавішу "Додати до Radiosys" і клавішу "Ok" у верхньому правому куті.

11. Тепер необхідно розмістити на карті 4 приймача. Розміщення приймачів робити убік міста, тобто на північ. Перший приймач розмістити на відстані 1 км від передавача, другий приймач на відстані 5 км від передавача, третій приймач на відстані 10 км від передавача, четвертий приймач розмістити в г. ХХ. Розміщення приймачів аналогічно пункту 5 за винятком позиції курсору. Приклад налаштування станцій дивися на рисунку 3.1.

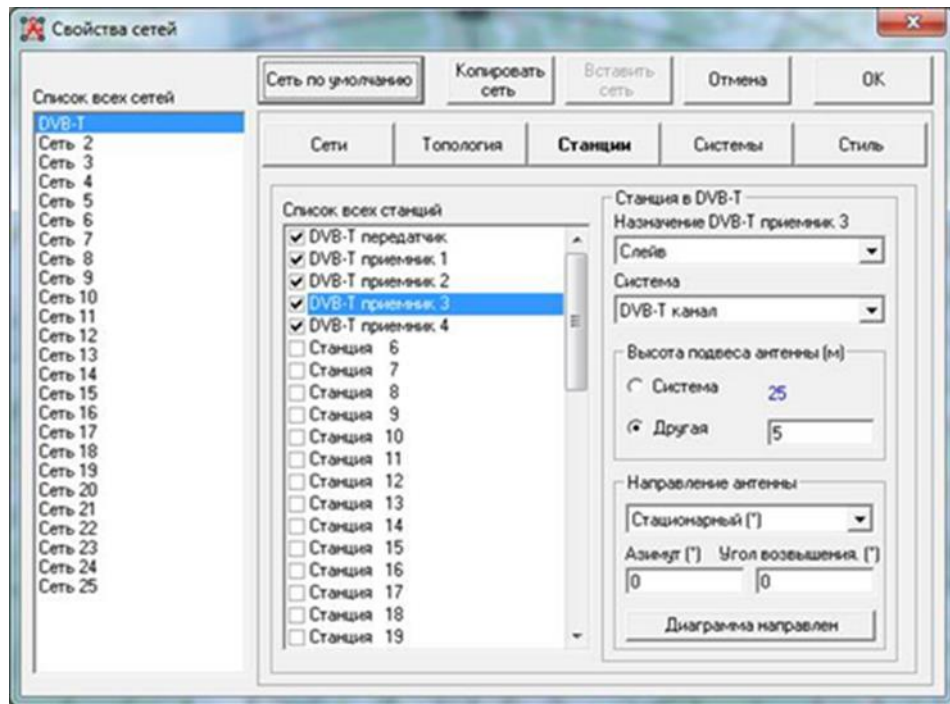


Рисунок 2.1 – Властивості мереж

12. Виміряти рівень сигналу (Рівень Rx) в dBm на 1 - 4 приймачі відповідно (Інструменти -> Радіоканал). Перевести значення рівня в дБмкВ ($\text{дБм} + 108.75 = \text{дБмкВ}$). Занести у звіт дані радіоканалу й рівень сигналу в

13. Запустити розрахунки зони радіо охоплення в полярних координатах (Інструменти - > Зона радіо охоплення). Настроїти меню "Зона охоплення в полярних координатах" як показано на рисунку 2.2.

14. Для налаштування колірної стилістики зони радіо охоплення натисніть нижню клавішу "Колір" у меню "Зона охоплення в полярних координатах" (приклад на рис.3.2).

15. По завершенню налаштування меню "Зона охоплення в полярних координатах", натисніть клавішу "Рисовать". Занести у звіт карту зони покриття.

Примітка: Відмовтеся від перетворення зображення у відтінки сірого.

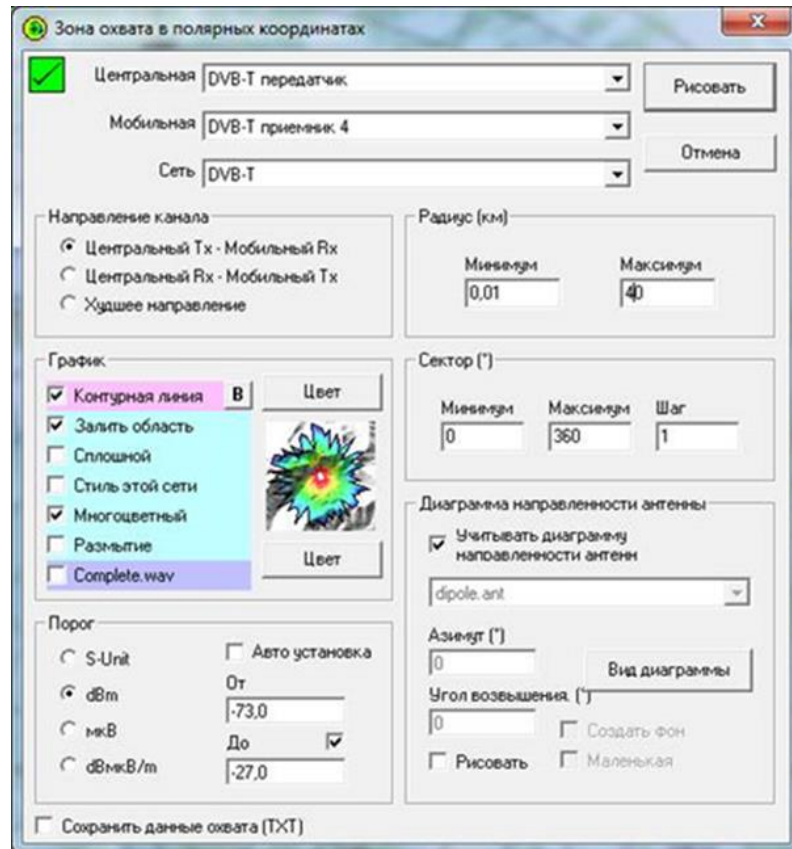


Рисунок 2.2 – Настроювання відображення зони охопту

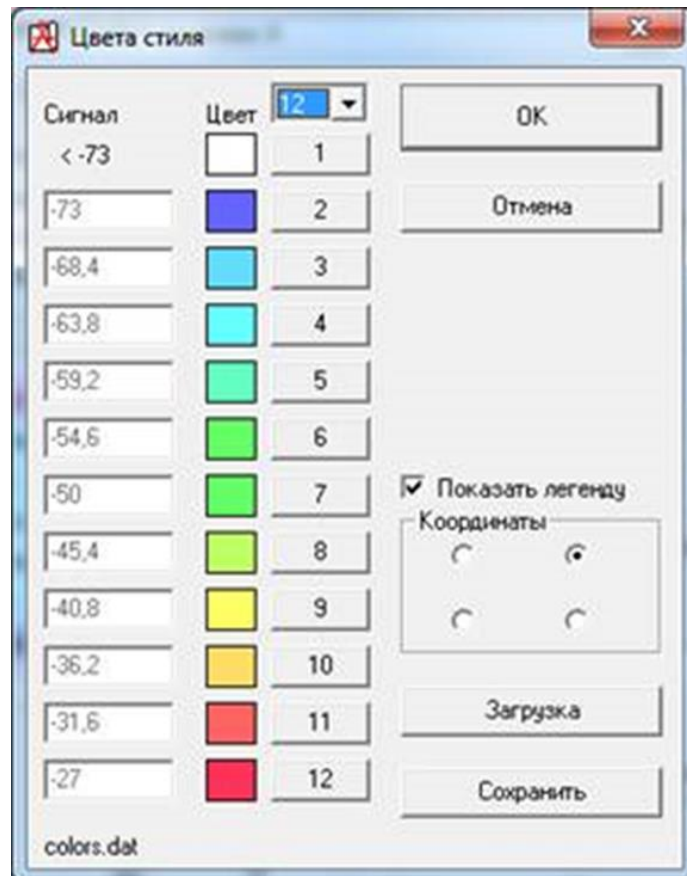


Рисунок 2.3 – Кольоровий стиль

Розрахувати зони покриття залежно від параметрів приймача.

1. Виконати розрахунки зони охоплення передавача в полярних координатах при чутливості приймача - 73 dBm (мінімальна завадостійкість).
2. Аналогічно виконати розрахунки зони покриття передавача при чутливості приймача - 27 dBm (максимальна завадостійкість). Карти з розрахованою зоною охоплення занести у звіт.

Примітка: при зміні чутливості приймачів системи не забудьте змінити "поріг" у меню "Зона охоплення в полярних координатах"

3. Розташуєте 5- й приймач у центрі села Х. Експериментальним шляхом визначите необхідний комплекс заходів для передачі максимальної кількості інформації в село Х.

Зміст звіту

- 1). Методика проведення експерименту з короткими поясненнями.
- 2). Розрахункові й експериментальні дані.
- 3). Висновки по кожному пункту виконаної роботи.

Контрольні питання

- 1). Чи буде приймати сигнал приймач, розташований у г. Х якщо передавач буде працювати в режимі максимальної пропускної здатності?
- 2). Як значення кодової швидкості впливає на дальність передачі ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Ознайомлення з програмами моніторингу систем мобільного зв'язку GSM/3G/4G.

Мета роботи: Ознайомлення з програмами моніторингу GSM/3G/4G та набуття навичок роботи з цими програмами.

Виконання роботи: Ознайомитися з програми моніторингу та встановити їх на свій гаджет (можна почергово). Зняти параметри вашої найближчої станції і надати скріпи з екрану гаджета у звіті.

ПРОГРАМИ МОНИТОРИНГУ GSM/3G/4G ДЛЯ ANDROID

Програми моніторингу GSM мережі для Android можуть не тільки допомогти добитися максимальних значень сигналу, але й є програми, які можуть указати напрямок і відстань до найближчої стільникової вишки, а також указати чи є на ній 4G чи ні. Набагато зручніше, замість усім відомої MDMA для Windows, що працює тільки з USB модемами, користуватися смартфоном або планшетом. Розгляньте 10 програм моніторингу GSM/3G/4G/працюючих на базі Android, які варті уваги.



Antennas.

Проста утиліта для моніторингу GSM і CDMA мережі. Показує на карті всі найближчі стільникові вишки. Також можна виміряти рівень сигналу в dbm активної БС, і довідатися її координати по LAC і CID.

На рис.3.1 наведений скріншот з екрану смартфона, який ілюструє роботу програми Antennas.

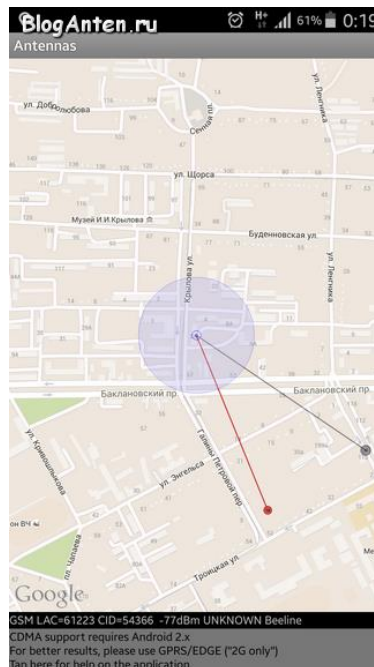


Рисунок 3.1 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми Antennas



Network Signal Strength.

Основне призначення програми показати рівень сигналу. Сигнал показується на зручній круговій шкалі в dbm. Працює в мережах GSM/CDMA/LTE. Відображає тип мережі, назва стільникового оператора, а також наявність GPRS, 3G або 4G. Також можна довідатися Call ID обладнання яке йому привласнила БС. З мінусів варто відзначити наявність рекламного банера в інтерфейсі.

На рис.3.2 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми Network Signal Strength.

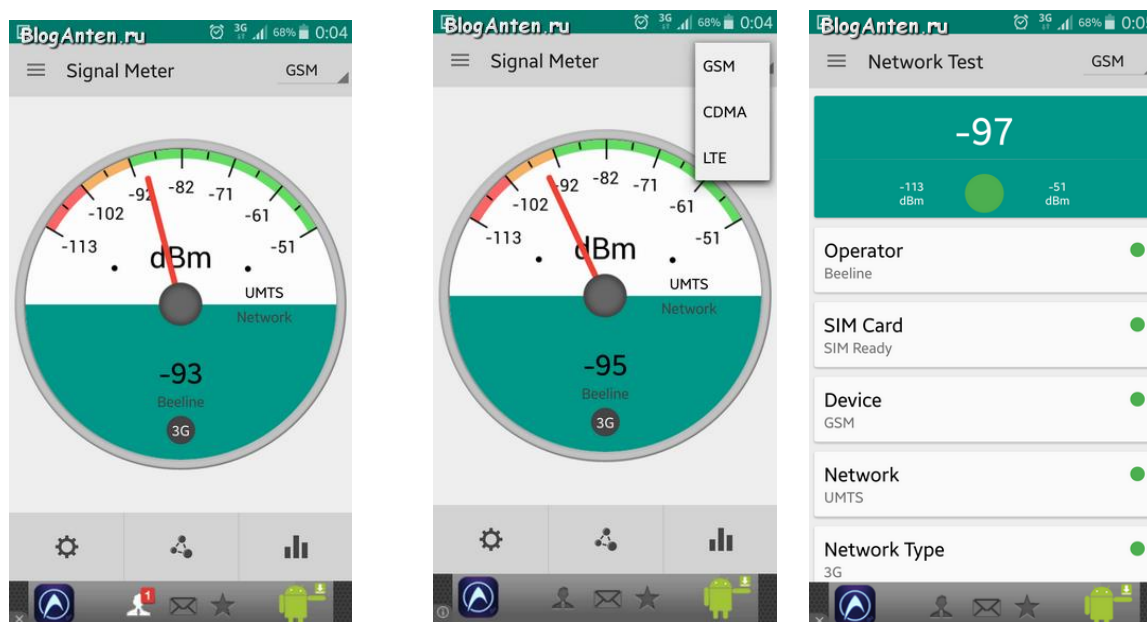


Рисунок 3.2 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми Network Signal Strength



GSM Monitor.

Проста програма російською мовою для виміру рівня сигналу GSM. Зміни рівня сигналу із часом відображаються наочно на графіку. За допомогою GSM Monitor можна довідатися тип мережі, назва оператора, IMEI код обладнання, а також серійний номер SIM карти. Програма буде фоновно працювати в системі поки її не зупинити.

На рис.3.3 наведений скріншот з екрану смартфона, який ілюструє роботу програми GSM Monitor.

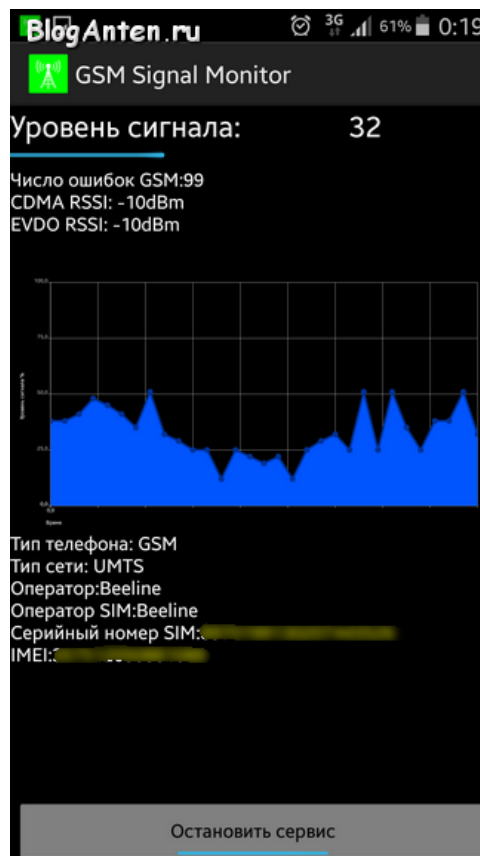


Рисунок 3.3 – Видяд екрана смартфона при роботі програми GSM Monitor.



4 Gsm Signal Monitor.

Проста утиліта для моніторингу GSM сигналу. Відображає сигнал на графіку, плюс більші цифри значень у верхній частині екрана, що дуже зручно. З особливостей програми впливає відзначити можливість вибору в чому відображати рівень сигналу. Можна вибрати стандартно dbm, рівень RSSI, або у відсотках. Плюс до всього відображаються координати БС у параметрах LAC і CID. Є рекламні банери.

На рис.3.4 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми GSM Signal Monitor.



Рисунок 3.4 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми GSM Signal Monitor.



Cell Phone Coverage Map.

Зручна програма, дозволяє запустити тест мережі до якої підключено обладнання. Працює з будь-яким типом підключення до Інтернету, у тому числі й з Wi-Fi. Відобразить рівень сигналу, і мережний протокол. Тест покаже швидкість вхідного й вихідного каналів. На карті можна подивитися щільність і активність стільника які оточують обладнання.

На рис.3.5 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми Cell Phone Coverage Map.

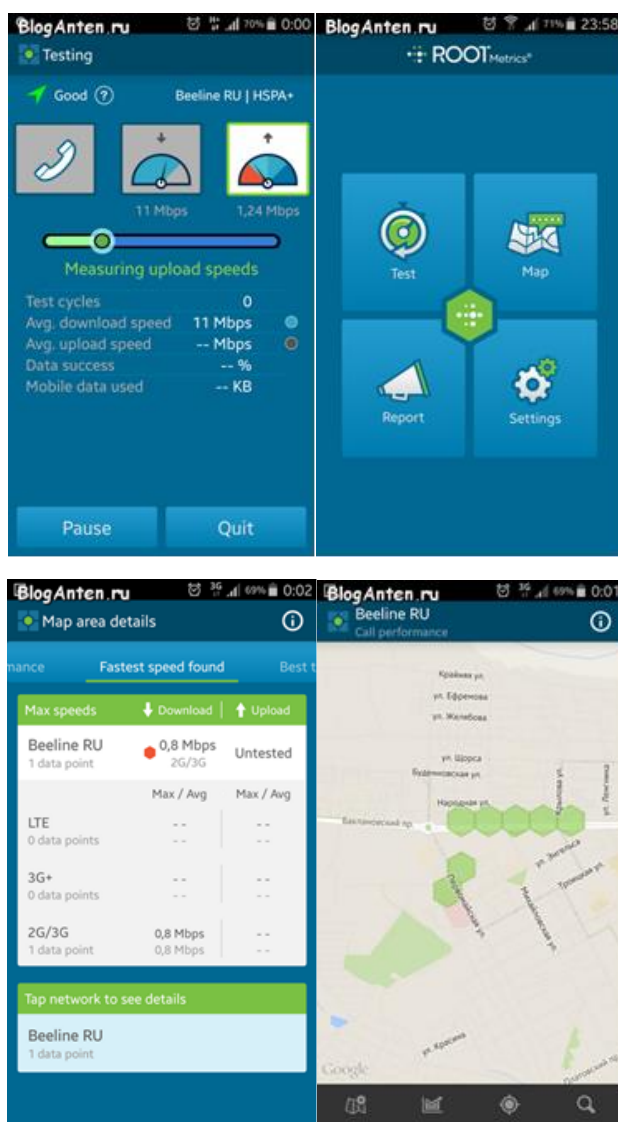


Рисунок 3.5 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми Cell Phone Coverage Map.



Network Signal – Информация сигнала сети.

Зрозумілий інтуїтивно інтерфейс, можна довідатися дуже докладну інформацію про підключення. Працює з Wi-Fi мережею. Можна довідатися рівень сигналу, і відстежити його зміни на графіку. Дуже докладна інформація про БС, від координат розташування, до типу мережі. Є можливість довідатися на карті розташування найближчих стільникових вишок, а також відстань до підключеної БС. Можна одночасно мониторити GSM і Wi-Fi. З додаткових функцій можна довідатися інформацію про обладнання на якому встановлена програма. Є реклама, але в платній PRO версії її не буде, плюс додаються додаткові опції доступні тільки на PRO версії.

На рис.3.6 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми Network Signal.

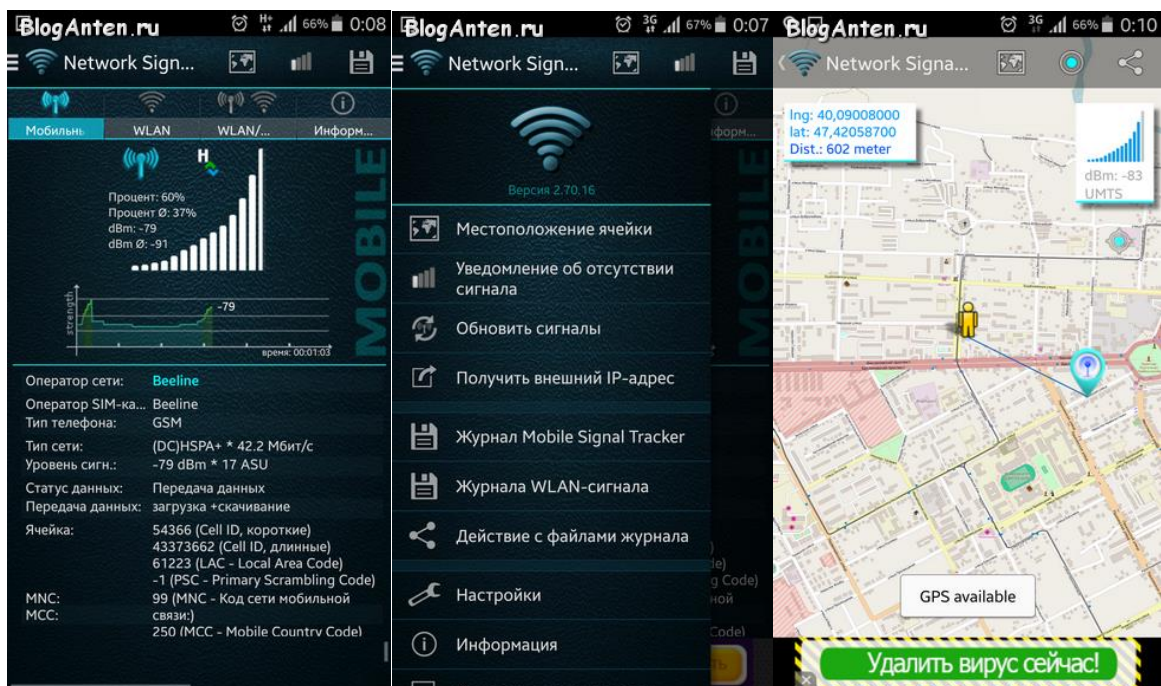


Рисунок 3.6 – Вид экрана смартфона при работе программы Network Signal.



Location Finder and GSM mapper.

Програма для моніторингу стільникової мережі. Головна перевага у докладній інформації про підключення. Відображає всі дані докладно: рівень сигналу, тип мережі, координати LAC і CID, мобільні коди MCC і MNC. Відображає на карті Google підключену БС із координатами місцевості.

На рис.3.7 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми Location Finder and GSM mapper.

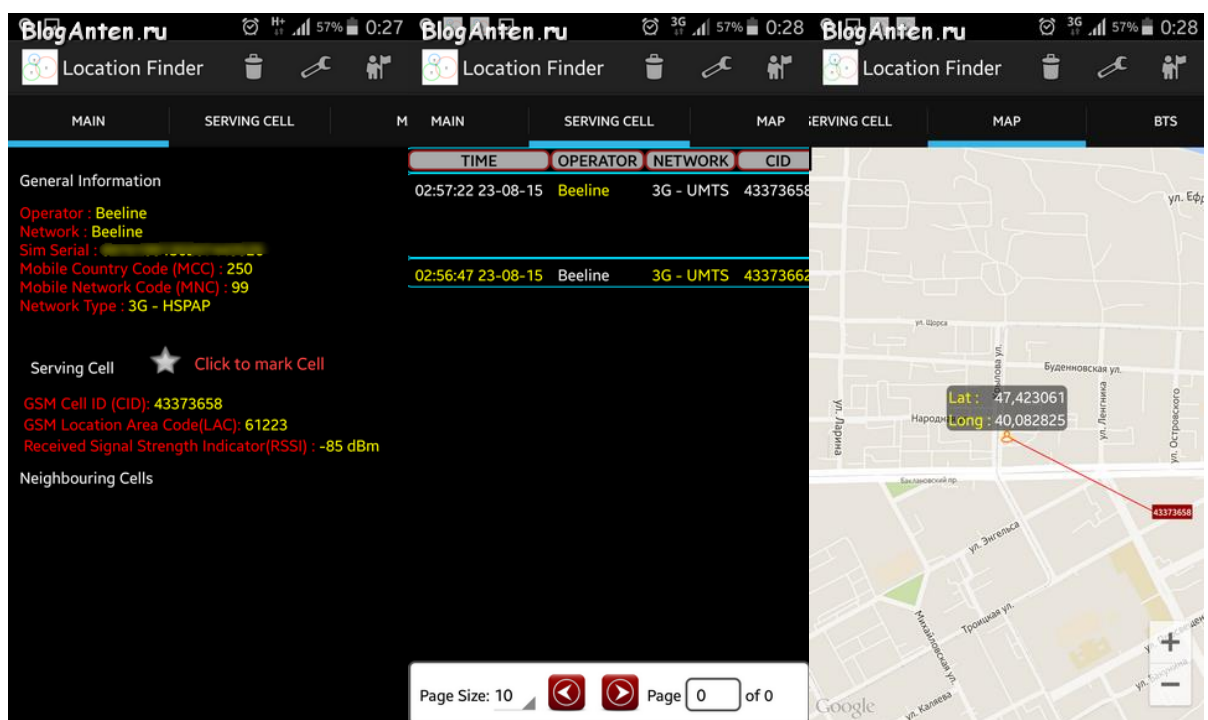


Рисунок 3.7 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми Location Finder and GSM mapper.



GSM Signal Monitoring.

Зручний додаток російською мовою. Працює з мережами GSM, UMTS і LTE. Відстежує такі параметри стільники, як: cell Id, LAC, MNC, MCC. Відображає рівень сигналу на графіку та його зміну у часі. Показує сусідні стільники, лише у мережі GSM. Є монітор швидкості передачі.

На рис.3.8 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми GSM Signal Monitoring.



Рисунок 3.8 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми GSM Signal Monitoring.



При включеному GPS програма покаже на екрані у вигляді стрілки напрямок у якому варто рухатися для досягнення кращого сигналу. Простіше говорячи, вказується напрямок руху до найближчої стільникової вишки вашого оператора. Можна довідатися не тільки рівень сигналу, але й замірити швидкість Інтернету 3G або 4G. Також можна побачити на карті найближчі доступні вишки, і до якої саме підключено обладнання, смартфон або планшет.

Особливістю програми Opensignal, є можливість подивитися покриття. Саме покриття мережі GSM, 3G або 4G на карті. Це дуже корисна функція, може допомогти при установці 3G або 4G антени.

На рис.3.9 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми OpenSignal.

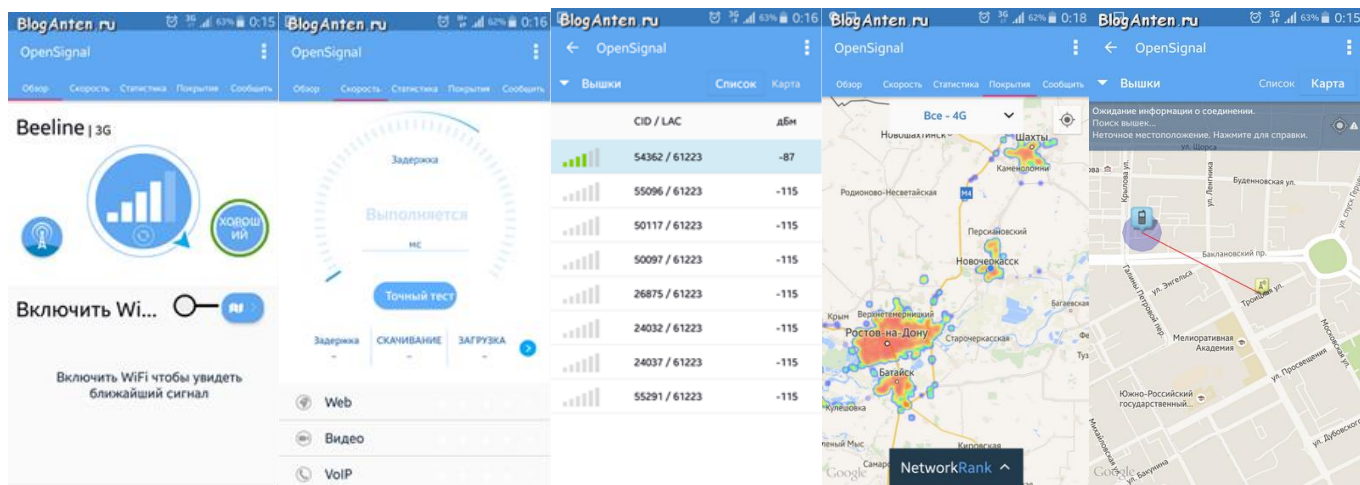


Рисунок 3.8 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми OpenSignal.



Netmonitor.

Даний додаток призначений для моніторингу GSM/CDMA мереж. Зручний інтерфейс, відображає підключену БС і сусідні. В списку стільника відображаються фізичні адреси вишок російською мовою. Є можливість записати лог у файл. Рівень сигналу відображається у вигляді графіка змінного в часі.

На рис.3.10 наведені скріншоти з екрану смартфона, які ілюструють роботу програми Netmonitor.

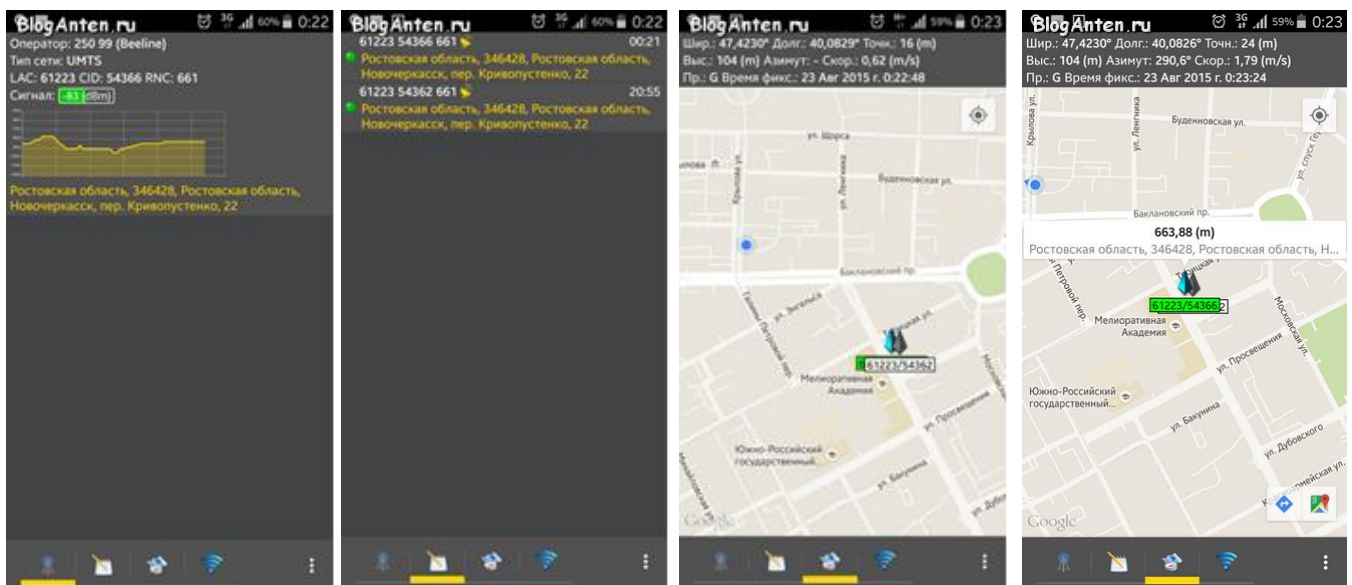


Рисунок 3.10 – Вигляд екрана смартфона при роботі програми Netmonitor.

В звіті надати:

1. Скріни з екрану гаджета.
2. Висновки: яка з програм вам найбільше сподобалась і чому.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. О. О. Семенова. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
2. Наритник Т. М., Почерняєв В. М., Повхліб В. С. Цифрові радіорелейні та тропосферні лінії зв'язку (основи розрахунку): навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 164с.
3. Brian J. Henderson, P. Eng. Radio Mobile. Program Operating Guide. VE6ZS, Calgary, Alberta, Canada. December 30, 2011