

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
із дисципліни «Системи мобільного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка
денної форми навчання

Суми
Сумський державний університет
2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Системи мобільного зв'язку» Частина 1 / укладач: В. В. Гриненко, О.В. Д'яченко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 66 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В ATOLL	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ GSM НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL.....	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ОБ'ЄДНАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В МЕРЕЖУ	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. РОЗПОДІЛЕННЯ РОБОЧИХ ЧАСТОТ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМИ GSM В ATOLL	32
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ UMTS НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL.....	42
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ LTE НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL.....	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	66

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В ATOLL

3.1. Мета роботи.

Отримати навички налаштування моделей поширення радіохвиль (ПРХ) для моделювання радіопокриття в програмі Atoll; з'ясувати призначення та особливості застосування моделей ПРХ, описаних в програмі.

3.2. Теоретичні відомості

В попередніх лабораторних роботах моделювання радіопокриття базових станцій здійснювалося для моделей ПРХ, які визначалися програмою за замовчуванням. Насправді необхідно перед початком моделювання вказати модель, яка найбільше відповідає вимогам системи зв'язку та початковим умовам проекту.

Програма Atoll використовує 11 моделей ПРХ, які відповідають широкому спектру безпроводових телекомунікаційних систем різного призначення – від наземних та морських рухомих служб, які працюють в діапазонах частот нижче 400 МГц, до мікрохвильових ліній зв'язку (РРЛ), що використовують частоти до 10000 – 18000 МГц, з рухомими та фіксованими (нерухомими) абонентськими приймачами. Перелік моделей ПРХ для програми Atoll з особливостями їх застосування наведено в табл. 3.1.

Слід звернути увагу на такі особливості моделей:

- деякі моделі описують втрати лише для нерухомих (фіксованих) абонентських приймачів;
- більшість моделей для розрахунку величини втрат використовує як профіль місцевості (тобто інформацію, отриману з карти висот – DTM), так і інформацію про тип перешкод на місцевості (clutter);
- багато моделей може враховувати дифракцію радіохвиль на шляху від передавача до приймача.

Таблиця 3.1 – Моделі ПРХ, які застосовують в Atoll

Модель ПРХ	Частотний діапазон	Дані, що беруться до уваги	Рекомендоване застосування
LongLey-Rice (теоретична)	~ 40 МГц	- Профіль місцевості	- Рівнинні області - Дуже низькі частоти
ITU 370-7 Vienna 93	100-400 МГц	- Профіль місцевості	- Значні відстані {d > 10 км) - Низькі частоти
ГШ 1546	30 - 3000 МГц	- Профіль місцевості	1 < d < 1000 км >Радіомовлення >Наземні та морські рухомі служок
Пи 526-5 (теоретична)	30- 10000 МГц	- Профіль місцевості	- Фіксовані приймачі
WLL	30-10000 МГц	-Профіль місцевості - Дифракція - детерміновані перешкоди	- Фіксовані приймачі: >Мікрохвильозі лінії >WiMAX
Okumura - Hata	150 -1000 МГц	-Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди (на стороні приймача)	1 < d < 20 км >GSM 900 > CDMA2000 >LTE
Coct-Hata	1500 - 2000 МГц	-Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди (на стороні приймача)	1 < d < 20 км > GSM 1800 >UiiiS >LTE

Модель ПРХ	Частотний діапазон	Дані, що беруться до уваги	Рекомендоване застосування
ITU 529-3	300-1500 МГц	- Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди (на стороні приймача)	l < d < 100 км > GSM 900 > CDMA2000 > LTE
Standard Propagation Model	150-3500 МГц	- Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди	l < d - 20 км > GSM900 > GSM 1800 > UNITS > CDMA2000 > WiMAX > LTE (доступне автоматичне калібрування моделі)
Erceg-Greenstein (SUD	1900 - 6000 МГц	- Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди (на стороні приймача)	- Міські і приміські області, 100 м d < S км > Фіксований WiMAX
Sakagami Extended	3000 - 5000 МГц	- Профіль місцевості - Дифракція - статистичні перешкоди	l < d < 20 км > WiMAX (доступне автоматичне калібрування моделі)

Докладна інформація про розрахунок величини втрат та врахування дифракції для наведених в табл. 3.1 моделей ПРХ наведена в файлі *Technical_Reference_Guide_E6.pdf* (с. 82-108).

Щоб в програмі Atoll задати модель ПРХ, яка буде використовуватись для всього проекту в цілому, необхідно у

вікні «Explorer» обрати вкладку «Data», там клацнути правою кнопкою миші на опції «Predictions» → «Properties».

З'явиться вікно, показане на рис. 3.1, де у вкладці Predictions треба вказати модель ПРХ, яка буде застосована до всього проекту за замовчуванням.

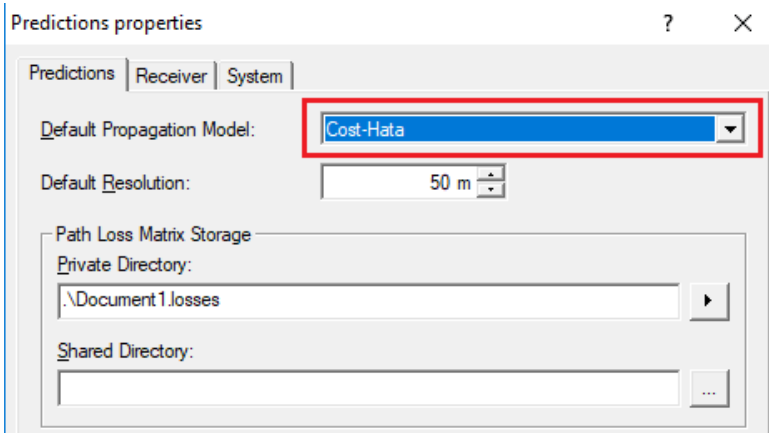


Рисунок 3.1 – Налаштування моделі ПРХ для всього проекту

Вказавши модель ПРХ для всього проекту, можна призначити відповідну модель для всіх передавачів в проекті, як показано рис. 3.2. Для цього у вкладці «Data» клацнути правою кнопкою миші на опції «Transmitters» → «Properties» та вказати як модель поширення Default Model, тобто встановлену за замовчуванням для всього проекту.

Можна призначити модель ПРХ для групи передавачів окремої БС (рис. 3.3). Для цього треба згрупувати передавачі за певною ознакою, наприклад, за сайтом – у вкладці «Data» клацнути правою кнопкою миші на опції «Transmitters» → «Group by» → «Site», потім обрати потрібний сайт, клацнути на ньому правою кнопкою миші та обрати «Open Table», відшукати стовпчик «Main Propagation Model» і обрати потрібну модель для кожного передавача.

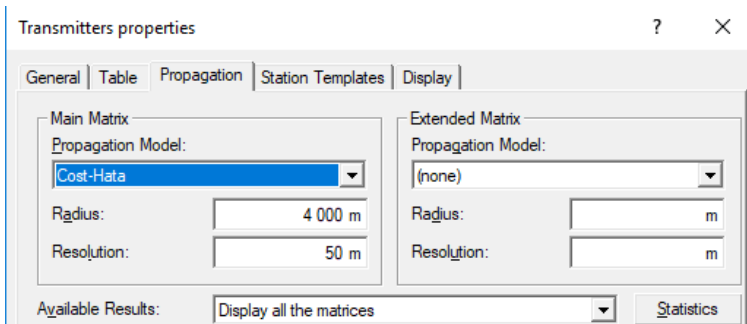


Рисунок 3.2 – Встановлення моделі ПРХ для всіх передавачів проекту

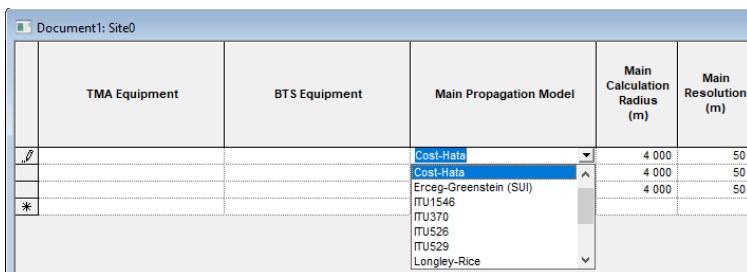


Рисунок 3.3 – Встановлення моделі ПРХ для групи передавачів однієї БС

Важливо! Роздільну здатність матриці втрат (Resolution) потрібно задавати лише під час створення нового покриття («Predictions» → «New» → «Coverage by Signal Level» → «Properties») (рис. 3.4).

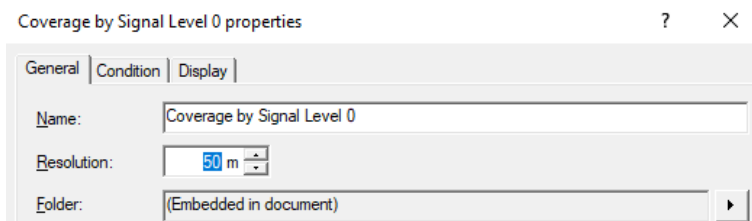


Рисунок 3.4 – Налаштування роздільної здатності

матриці втрат

Параметри моделі, яка буде використовуватись для моделювання покриття, можна змінювати. Для цього треба у вікні «Explorer» обрати вкладку «Modules» та клацнути двічі на потрібній моделі. З'явиться вікно властивостей моделі (рис. 3.5).

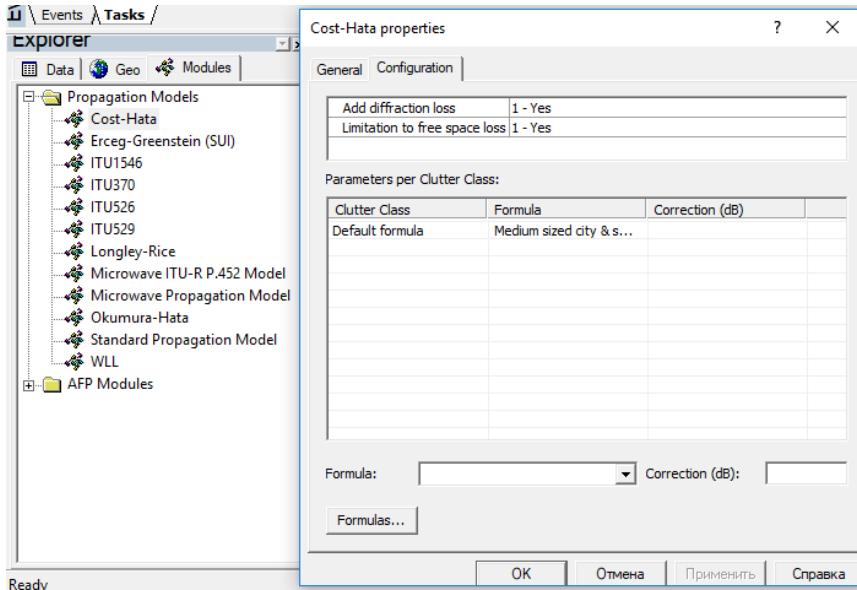


Рисунок 3.5 – Вікно властивостей моделі

В ньому можна вказати формулу, яка буде використовуватись за замовчуванням для цієї моделі (4), а також переглянути і за необхідності відредагувати закладені в модель вирази (5).

Важливо! Оскільки більшість моделей для розрахунку величини втрат використовує як інформацію, отриману з карти висот – DTM, так і інформацію про тип перешкод на місцевості (clutter), рекомендовано завантажувати окрім карти висот рельєфу height.grd, ще й карту перешкод та шумів clutter.grc.

3.3. Завдання на лабораторну роботу

Дослідити особливості застосування моделей ПРХ для моделювання радіопокриття. Змоделювати радіопокриття, використовуючи моделі, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Початкові дані до лабораторної роботи

Бригада №	Система	Місто	Модель
1	GSM 1800	Торонто	Standard Propagation Model
	GSM 900	Берн	Cost-Hata
2	GSM 1800	Нью-Йорк	Okumura-Hata
	GSM 900	Берн	ITU 529-3
3	GSM 1800	Берн	ITU 529-3
	GSM 900	Нью-Йорк	Standard Propagation Model
4	GSM 1800	Берн	Cost-Hata
	GSM 900	Торонто	Okumura-Hata

Для цього встановити модель ПРХ для всього проекту в цілому та для всіх передавачів у проекті. Задати у властивостях моделі формулу, яка буде використовуватись за замовчуванням для цієї моделі та відповідатиме характеру місцевості відповідно до варіанту.

Проаналізувати статистику покриття та зробити висновки про характер розподілу рівнів сигналу на заданій території, отриманий за допомогою Моделі.

Змінити формулу за замовчуванням на таку, яка не відповідає заданому характеру місцевості, вказавши, наприклад, формулу для відкритої місцевості (rural) або щільної міської забудови (dense urban) тощо. Спостерігати зміни у розподілі рівнів сигналу. Зробити відповідні висновки.

3.4. Порядок виконання роботи

1. Відкрити в проекті Atoll карту зазначеної місцевості.

2. Додати до проекту карту перешкод та шумів clutter.grc.
3. Розставити декілька базових станцій. Встановити для усього проекту в цілому та для всіх передавачів у проекті модель ПРХ, що відповідає Моделі (див. рис. 4.41 та 4.42).
4. Задати у властивостях моделі формулу, яка буде використовуватись за замовчуванням для Моделі та відповідатиме характеру місцевості відповідно до варіанту, виконавши послідовно кроки, наведені на рис. 3.5.
5. Змоделювати радіопокриття за рівнем сигналу (Coverage by Signal Level), використовуючи Моделю, та викликати статистику радіопокриття за допомогою гістограми (Coverage by Signal Level →Histogram).
6. Проаналізувати статистику покриття за рівнем сигналу для Моделей, зробити висновки про характер розподілу рівнів сигналу на заданій території, отриманий за допомогою цих моделей.
7. Змінити формулу за замовчуванням на таку, яка не відповідає заданому характеру місцевості, вказавши, наприклад, формулу для відкритої місцевості (rural) або щільної міської забудови (dense urban) тощо. Спостерігати зміни у розподілі рівнів сигналу.

3.5. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.
3. Результати виконання роботи: за п.3-4 – скріншоти, що підтверджують налаштування Моделі; за п.5 – карта покриття та статистика покриття за рівнем сигналу, отримані за допомогою Моделі; за п.6 – висновки про характер розподілу рівнів сигналу на заданій території, отриманий за допомогою Моделей; за п.7 – скріншоти, що підтверджують зміну формули за замовчуванням, карта покриття та висновки про вплив зміни формули за замовчуванням на розподіл рівнів сигналу.

3.6. Контрольні запитання

1. Скільки моделей ПРХ використовує програма Atoll та які з цих моделей не можна застосувати для оцінки втрат в системах стільникового зв'язку?

2. Які моделі ПРХ можна використати для оцінювання втрат в системі GSM-900? В системі GSM-1800? Поясніть свою відповідь.

3. Інформацію з яких карт використовують моделі ПРХ для визначення величини втрат?

4. Що таке дифракція та яким чином це явище враховується під час визначення втрат в програмі Atoll?

5. Яку інформацію можна отримати з вікна властивостей моделі ПРХ?

6. Як відредагувати формулу, що описує модель ПРХ в програмі Atoll?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ GSM НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL

4.1. Мета роботи:

Отримати навички моделювання радіопокриття системи GSM в програмі Atoll.

4.2. Теоретичні відомості

Перед тим, як розташовувати БС на цифровій карті місцевості, потрібно визначити необхідну кількість БС для забезпечення абонентської ємності на заданій території. Для цього потрібно виконати такі розрахунки.

1. Визначити загальну кількість частотних каналів, які виділено для розгортання мережі стільникового зв'язку:

$$n_{\kappa} = \text{int} \left(\frac{F}{\Delta f_{\kappa}} \right),$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи стільникового зв'язку, МГц;

Δf_{κ} – смуга частот одного радіоканалу, кГц.

2. Визначити кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі:

$$n_{\text{чк_сект}} = \text{int} \left(\frac{n_{\kappa}}{M \cdot C} \right),$$

де M – кількість секторів у стільнику;

C – розмір кластеру.

3. Визначити кількість потенційних абонентів:

$$N_A = Z \cdot \mu \cdot \rho \cdot S,$$

де Z – запланована доля ринку ($Z=80\%$, не враховуючи населення, старше 12 років, та літніх людей), для GSM-900

доля ринку може складати менше 50% через низьку абонентську ємність;

μ – проникність даного типу сервісу в Україні (для стільникового зв'язку $\mu = 1,1$);

ρ – щільність населення, чол./км², розраховується як відношення кількості населення в місті $N_{нас}$ до площі території, яку займає місто, $S_{тер}$;

S – площа території, на якій розгортають систему стільникового зв'язку, км².

4. Визначити необхідну пропускну здатність мережі для якісного обслуговування N_A абонентів (загальний трафік в мережі):

$$A_A = N_A \cdot A_0,$$

де A_0 – інтенсивність трафіку, що генерується одним абонентом, Ерл;

5. Визначити інтенсивність трафіку, що створюється однією БС.

Для цього спочатку треба визначити кількість фізичних каналів в одному секторі одного стільника:

$$N_{фк_сект} = n_{чк_сект} \cdot N_{фк},$$

де $N_{фк}$ – кількість фізичних каналів в одному радіоканалі (для системи GSM $N_{фк} = 8$, а кількість каналів трафіка $N_{кт_сект}$ визначається таблицею 4.1).

Для визначення інтенсивності трафіку $A_{сект}$, що створюється одним сектором БС за відомим значенням блокування виклику $P_{бл}$, потрібно скористатися таблицею першої формули Ерланга – Erlang B.

Таблиця 4.1 – Розподіл каналів трафіку в системі GSM

Число частотних каналів	Число фізичних каналів	Число каналів трафіку	Канали управління
1	8	7	1
2	16	15	1
3	24	22	2
4	32	30	2
5	40	37	3
6	48	45	3
7	56	52	4
8	64	60	4
9	72	67	5
10	80	75	5
11	88	82	6
12	96	90	6

6. Визначити кількість секторів базових станцій:

$$N_{BC_сект} = \frac{A_A}{A_{сект}}.$$

7. Визначити радіус сектора, що обслуговується одним з трьох передавачів базової станції. В програмі ATOLL передавачі базової станції розташовуються в кутах стільників і передавач сектору обслуговує територію одного стільника, а базова станція територію трьох стільників. Таким чином радіус стільника:

$$R_{ст} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{BC_сект}}}.$$

Виконавши вищезазначені розрахунки, можна переходити до встановлення БС на місцевості.

Об'єктами встановлення БС можуть бути виробничі,

адміністративні, житлові будівлі і будівлі суспільного призначення. Антени можуть встановлюватись на спеціальні металоконструкції на дахах і стінах будівель, на освітлювальних опорах, димарях.

Щоб стільникова структура відображалась в програмі Atoll, перед тим, як розташовувати БС на карті місцевості, необхідно поставити позначку навпроти «Hexagonal Design» на вкладці «Data» (рис. 4.1).

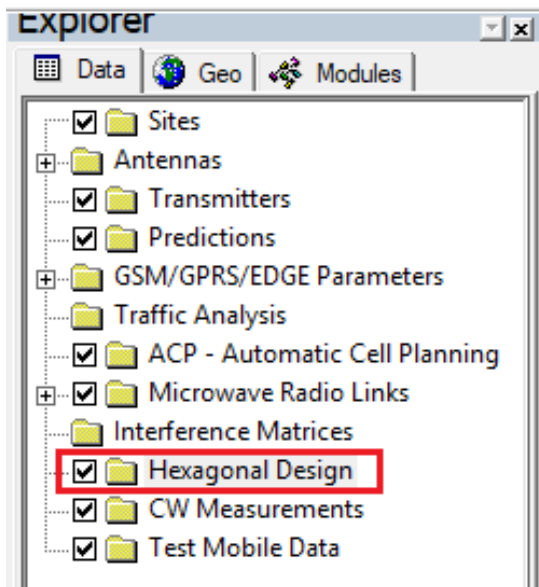


Рисунок 4.1 – Відображення стільникової структури на карті

У вікні налаштування параметрів БС необхідно обов'язково вказати обчислений радіус стільника в полі «Hexagon Radius» (рис. 4.2).

По закінченні процедури розташування базових станцій треба провести моделювання радіопокриття за рівнем сигналу (Coverage by signal level) та проаналізувати статистику радіопокриття за рівнем сигналу (рис. 4.3-4.4).

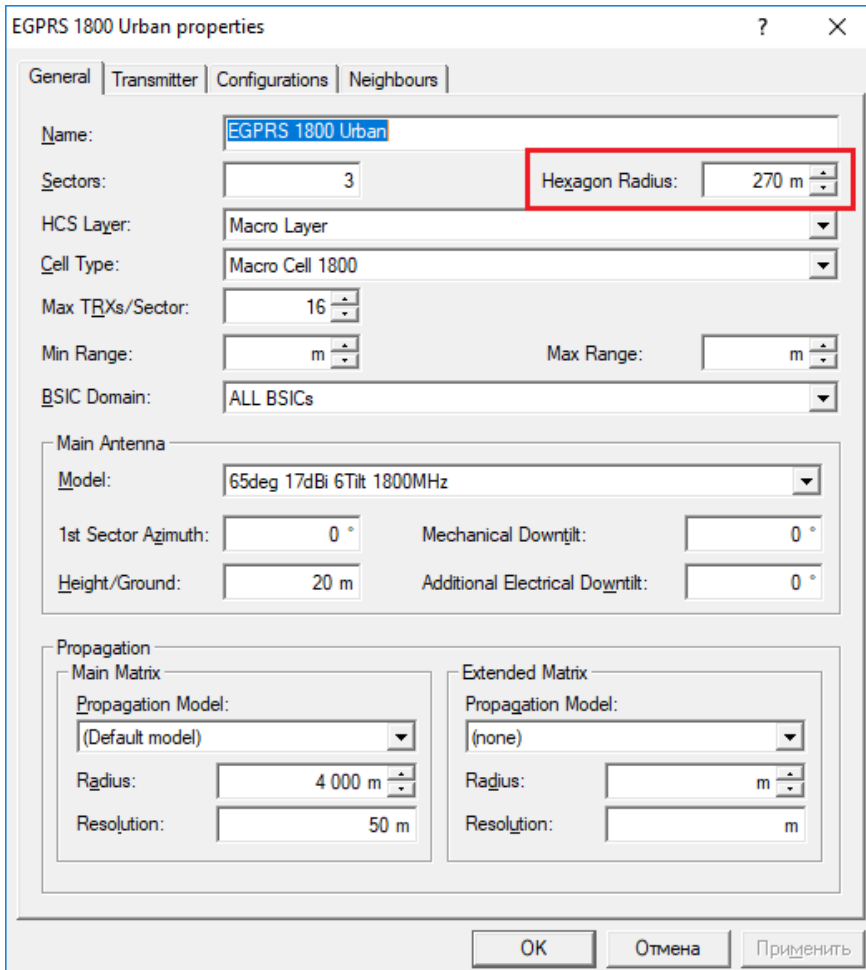


Рисунок 4.2 – Встановлення значення радіусу стільника

Більше статистичних даних для аналізу покриття можна отримати, клацнувши правою кнопкою миші на опції «Coverage by signal level0» та вибравши не пункт «Histogram», а «Generate Report» (рис. 4.3).

Моделювання радіопокриття вважають завершеним,

якщо відсоток територія покриття з рівнем сигналу менше -100 дБм (нижче порогу чутливості МС) не перевищує 10%. В іншому випадку потрібно спробувати або змінити висоту підвісу антени БС, або місце розташування обладнання БС (наприклад, перенести БС на сусідню більш високу будівлю) , або додати ще одну БС на ту частину території, де покриття відсутнє.

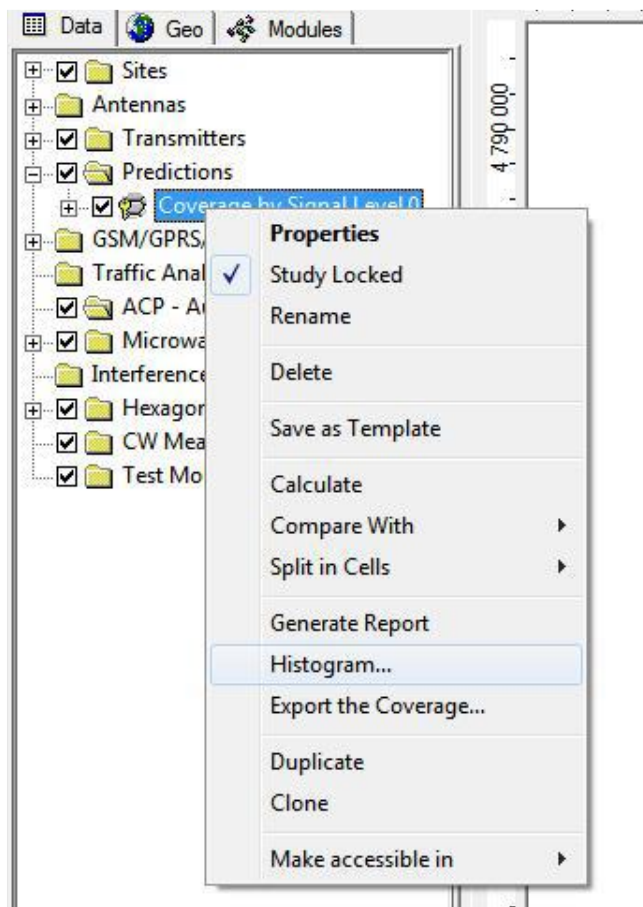


Рисунок 4.3 – Виклик статистики радіопокриття за допомогою гістограми

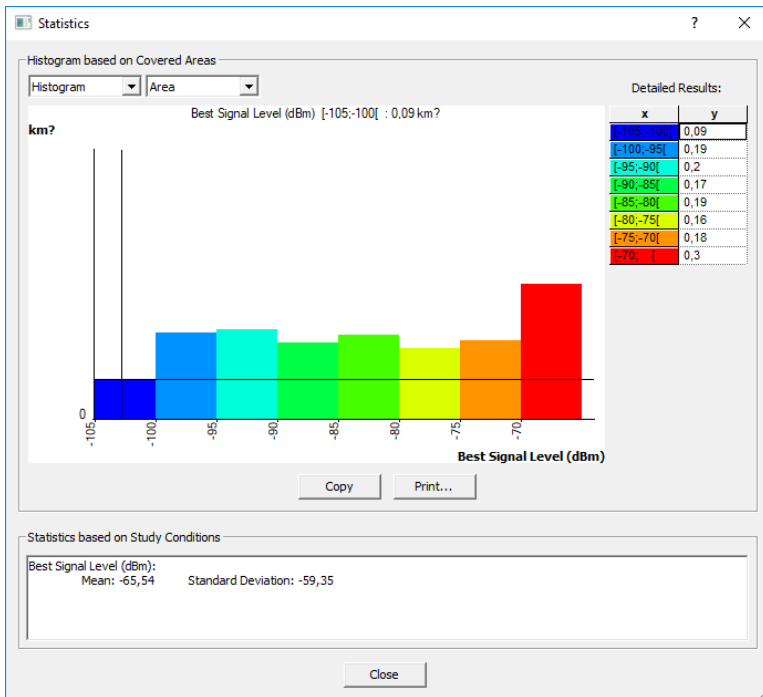


Рисунок 4.4 – Статистика радіопокриття за рівнем сигналу

4.3. Завдання на лабораторну роботу

Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіопокриття GSM/GPRS/EGPRS. Завантажити в нього цифрові карти місцевості відповідно до варіанту завдання та виконати попередній розрахунок кількості БС і радіусу стільника, використовуючи параметри табл. 4.1.

Розташувати базові станції на місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури. Виконати моделювання радіопокриття системи GSM.

Викликати статистику радіопокриття за рівнем сигналу на заданій місцевості та визначити доцільність зміни розташування окремих БС чи значення висоти підвісу антени

для певних БС.

4.4. Порядок виконання роботи

1. Виконати попередній розрахунок кількості БС і радіусу стільника, використовуючи параметри системи зв'язку відповідно до варіанту завдання, наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Початкові дані до лабораторної роботи

Бригада №	n_k	M	C	Місто	$N_{нас}$, чол.	A_0 , Ерл	$P_{бл}$, %
1	81	3	3	Торонто	31 200	0,1	1
2	63	3	3	Нью-Йорк	20 400	0,1	1
3	84	3	4	Торонто	20 160	0,15	2
4	96	3	4	Нью-Йорк	25 000	0,15	2

2. Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіопокриття GSM/GPRS/EGPRS.

3. Імпортувати в проект цифрові карти місцевості - карти висот рельєфу та забудови (height.grd та build(ings).grd), карти об'єктів-перешкод (buildings.TAB, vegetation.TAB), інші векторні карти місцевості (highway.TAB, inlandwater.TAB, majorroad.TAB, streets.TAB, freeway.TAB та ін.).

4. Розташувати базові станції на цифровій карті місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури та використовуючи отриману в результаті розрахунків інформацію про кількість БС та радіус стільника. Встановити значення висоти підвісу антени БС рівним 2 м.

5. Виконати моделювання радіопокриття системи GSM 900 за рівнем сигналу на заданій території використовуючи моделі розповсюдження радіосигналу, що використовувалися в роботі 3.

6. Викликати статистику радіопокриття за рівнем

сигналу на заданій місцевості (див. рис. 4.3). Проаналізувати гістограму радіопокриття за рівнем сигналу та визначити доцільність подальшої зміни розташування окремих БС чи значення висоти підвісу антени для певних БС.

7. У випадку необхідності виконати оптимізацію мережі, змінивши або висоту підвісу антени БС (збільшити до 5-6 м у випадку низьких будівель), або місце розташування обладнання БС (наприклад, перенести БС на сусідню більш високу будівлю), або додавши ще одну БС на ту частину території, де покриття відсутнє.

8. Повторити пункти 1-7 для системи GSM 1800 та порівняйте радіопокриття для різних систем.

9. За визначеною кількістю базових станцій для іншого міста провести планування системи GSM 1800 та визначити кількість абонентів, що здатна обслужити система за вказаних критерії якості та інтенсивності.

4.5. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи.
2. Мета роботи та порядок виконання роботи.
3. Результати виконання роботи: за п.1 – результати розрахунку кількості БС і радіусу стільника; за п.4 – розташування БС на карті місцевості з зображенням стільникової структури мережі; за п.5 – радіопокриття системи GSM за рівнем сигналу; за п.6 – гістограма покриття за рівнем сигналу; за п.7 – покращене радіопокриття та гістограма, що це підтверджує.

4.6. Контрольні запитання

1. Як визначають кількість потенційних абонентів системи GSM?
2. Як визначити інтенсивність трафіку, що створюється однією БС?
3. Що таке ймовірність блокування виклику?
4. Як в програмі Atoll увімкнути відображення стільникової структури?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ОБ'ЄДНАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В МЕРЕЖУ

5.1. Мета роботи:

Отримати навички об'єднання базових станцій в мережу за допомогою радіорелейних ліній зв'язку, а також створення та аналізу профілю радіотраси в програмі Atoll.

5.2. Теоретичні відомості

Для зв'язку базових станцій БС з контролером найчастіше використовують орендовані стаціонарні лінії зв'язку. Проте ці лінії не завжди доступні в потрібній кількості, а тому оператор часто вимушений організувати потоки власними засобами. Прокладання власних стаціонарних ліній, особливо в умовах міста, в більшості випадків нераціональне і економічно не вигідне. Найкращим способом вирішення цієї проблеми є організація власної радіорелейної мережі, що є сукупністю приймально-передавальних пристроїв та антен з вузькою спрямованістю випромінювання.

Одним з прикладів радіорелейного обладнання, призначеного для стільникових мереж, є обладнання Mini Link фірми Ericsson. Система радіорелейного зв'язку Ericsson Mini Link призначена для передавання на невеликі відстані (максимальна відстань - декілька десятків кілометрів), що ідеально підходить для з'єднання БС між собою і з контролером. Легка радіорелейна система характеризується невеликими габаритними розмірами, що полегшує вимоги щодо її встановлення.

Ericsson Mini Link складається з антенного радіомодуля, параболічного дзеркала (виносна підсистема) і модуля доступу (підсистема, що розміщується в приміщенні) (рис. 5.1). Підсистеми зв'язані між собою коаксіальним кабелем.

Радіомодуль можна розмістити на будь-якому високому будинку чи щоглі, потрібно лише забезпечити пряму

видимість між щоглами.



Рисунок 5.1 – Вигляд виносної підсистеми Ericsson Mini Link

Модуль доступу є незалежним від частотної смуги і містить модем, комутатор/мультиплексор та сервісний блок, який дозволяє стежити за станом зв'язку всієї радіорелейної мережі.

Існує два основні способи під'єднання БС до контролера (рис. 5.2):

- деревоподібне під'єднання;
- сіткоподібне під'єднання.

У випадку деревоподібного під'єднання вихід з ладу хоча б однієї з ділянок може призвести до одночасної втрати зв'язку з кількома станціями, проте такий спосіб є більш вигідний з економічної точки зору. Сіткоподібне під'єднання характеризується високою надійністю, проте вимагає великих економічних затрат. Тому на практиці переважно використовують комбінацію цих двох способів під'єднання: деревоподібне з'єднання базових станцій з петлею.

В цілому, використання власних радіорелейних ліній зв'язку вирішує проблеми з'єднання з новими базовими станціями, а також дозволяє забезпечувати необхідні обхідні

шляхи та резервування у випадку виходу з ладу окремих БС.

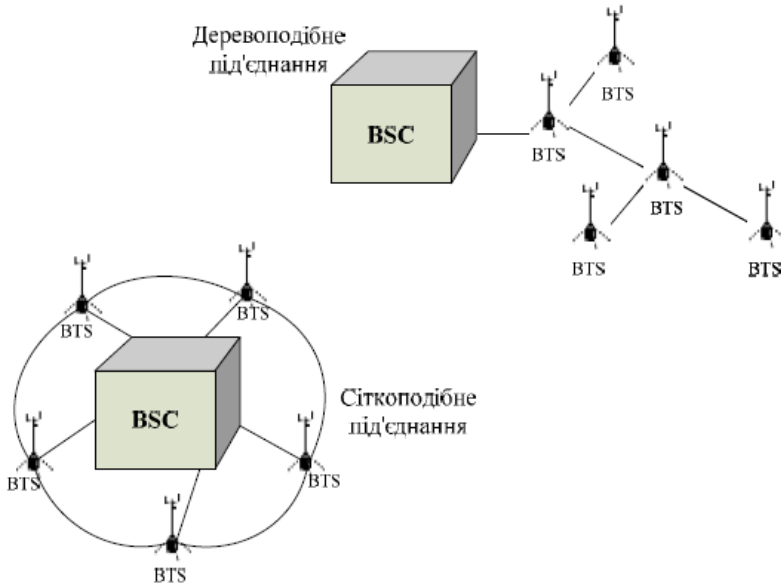


Рисунок 5.2 – Способи під'єднання базових станцій до контролера BSC

Для організації радіорелейної лінії між двома БС в програмі Atoll спочатку необхідно задати систему координат, що відповідає географічному місцю розташування мережі (Tools → Options, вкладка «Coordinates», рис. 5.3).

Перед створенням радіорелейної лінії необхідно внести деякі зміни до існуючого проекту:

- необхідно на цифровій карті місцевості (Digital Terrain Model, вкладка «Geo») видалити карту висот рельєфу «height», залишивши лише висоти будівель «buildings», інакше профіль радіолінії не буде відображатись коректно (рис. 5.4), при цьому бажано зробити шар Digital Terrain Model невидимим, знявши відповідну позначку навпроти нього;

- вимкнути результати моделювання радіопокриття за рівнем сигналу, знявши відповідну позначку у вкладці «Data».

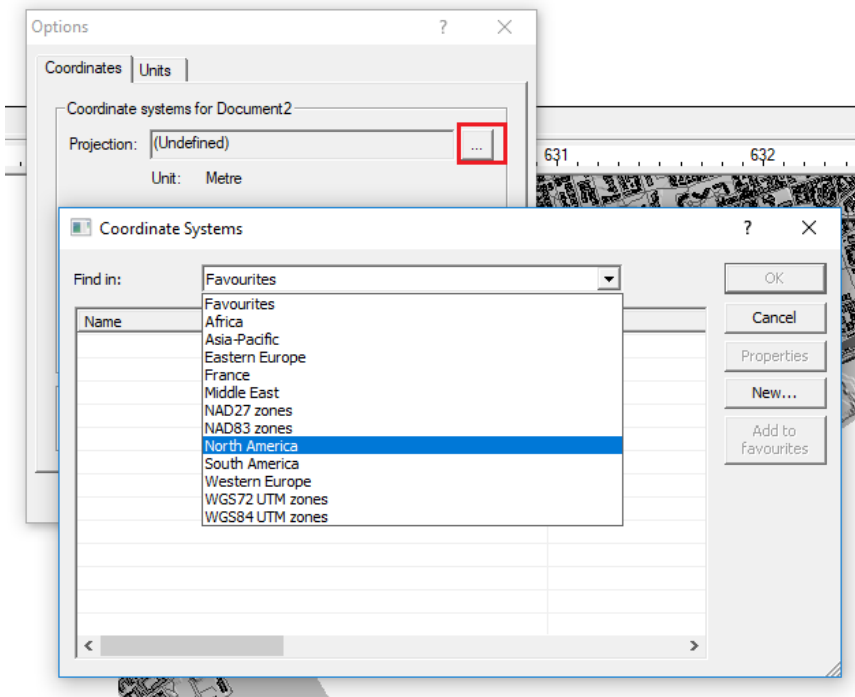


Рисунок 5.3 – Вибір системи координат

Для створення радіорелейної лінії (РРЛ) між двома БС необхідно на панелі роботи з конфігурацією РРЛ (рис. 5.5) обрати опцію «Height Profile», вказати БС, між якими заплановано прокладання РРЛ, клацнути правою кнопкою миші на лінії, яка щойно з'явилася, обрати пункт «Create Link» (рис. 5.6).

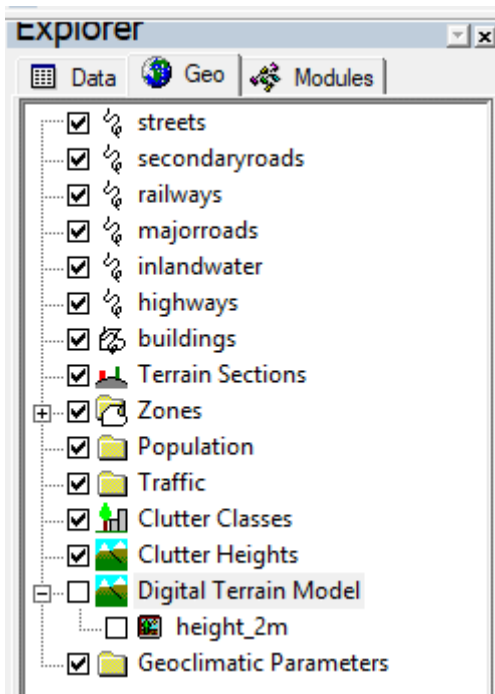


Рисунок 5.4 – Вигляд вкладки «Geo» після видалення карти висот

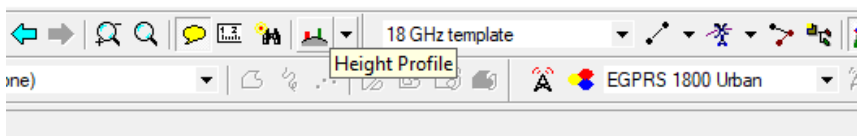


Рисунок 5.5 – Панель конфігурації РРЛ

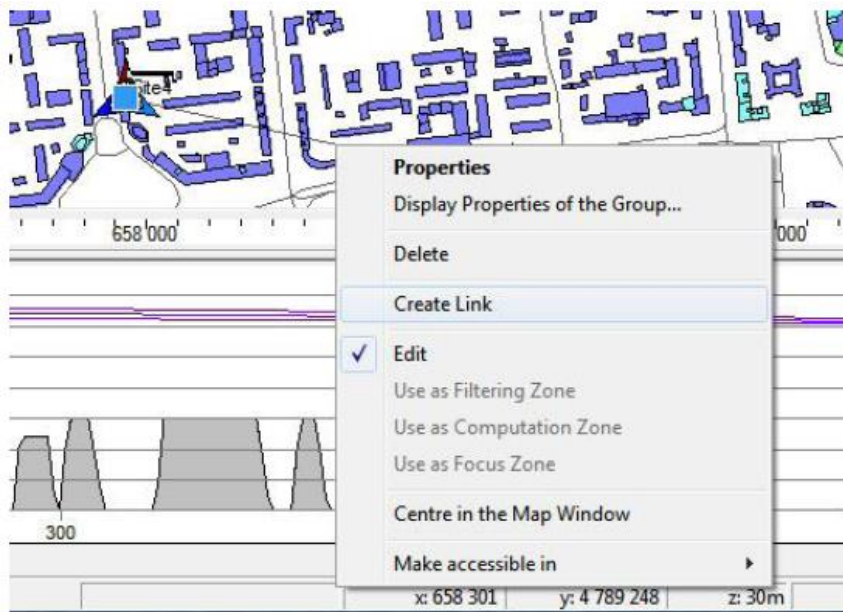
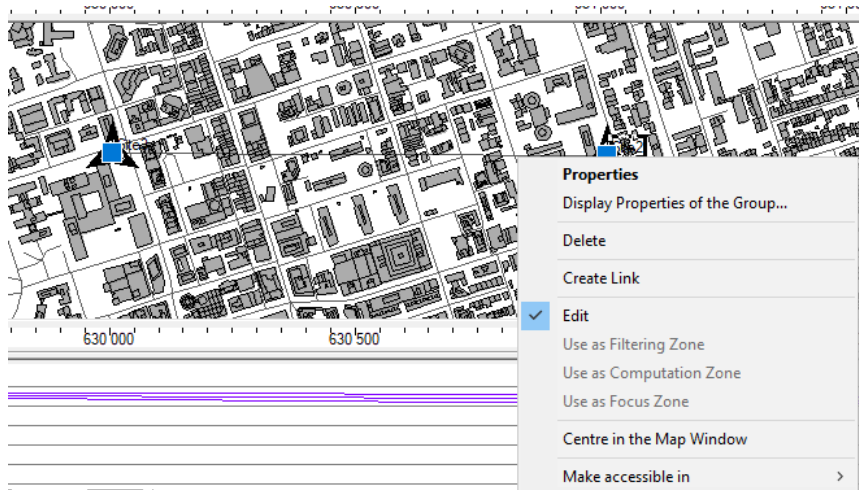


Рисунок 5.6 – Створення РРЛ

В початкових налаштуваннях висота підвісу антени РРЛ дорівнює 50 м. Проте насправді антена розташована на такій

же висоті, що й антени БС.

Змінити цей параметр можна, двічі клацнувши на РРЛ та знайшовши пункт «Antenna, Height/Ground» у вкладці «Radio». Слід зауважити, що висоту антени треба змінювати для обох сайтів, які утворюють РРЛ. В результаті отримаємо профіль радіолінії, як показано на рис. 5.7.

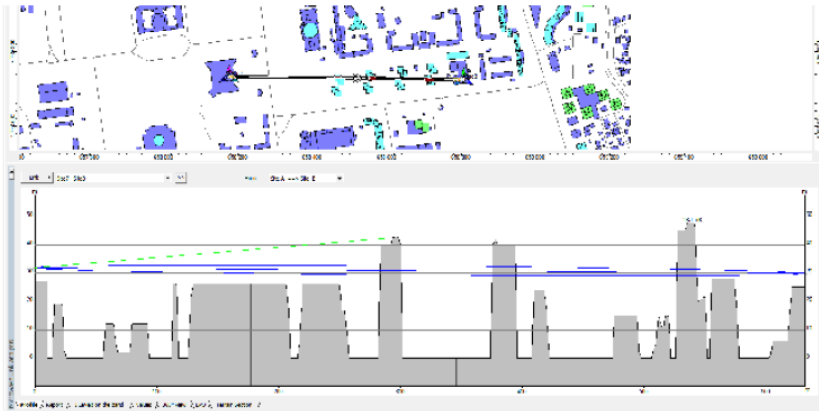


Рисунок 5.7 – Профіль РРЛ

Як видно з рис. 5.7. на шляху передавання сигналу є три перешкоди. В такому випадку прямої видимості між передавачем та приймачем РРЛ немає, тому вона функціонувати не буде. Для вирішення цієї проблеми використовують пристрої, які називають повторювачами (Repeaters). Для встановлення повторювача необхідно клацнути на лінії РРЛ правою кнопкою миші, обрати «Insert Repeater» та вказати місце його розташування так, щоб забезпечити пряму видимість між повторювачем та обома сайтами РРЛ (рис. 5.8).

В початкових налаштуваннях висота підвісу антени повторювача РРЛ дорівнює 30 м. Змінити висоту антени можна, двічі клацнувши на РРЛ та виконавши вказівки, показані на рис. 5.9.

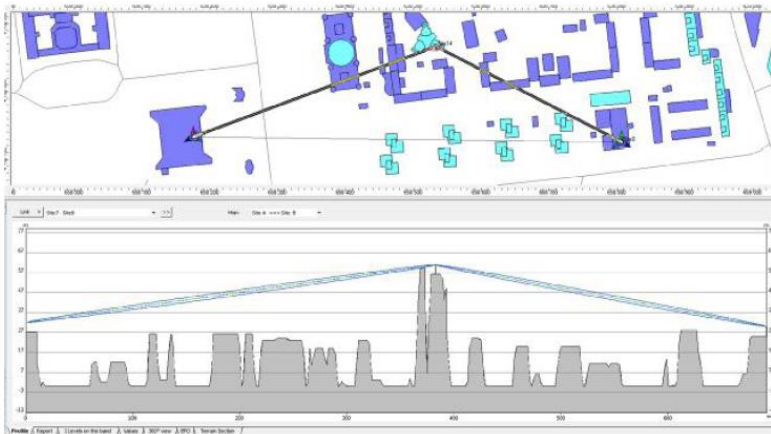


Рисунок 5.8 – Профіль РРЛ з повторювачем

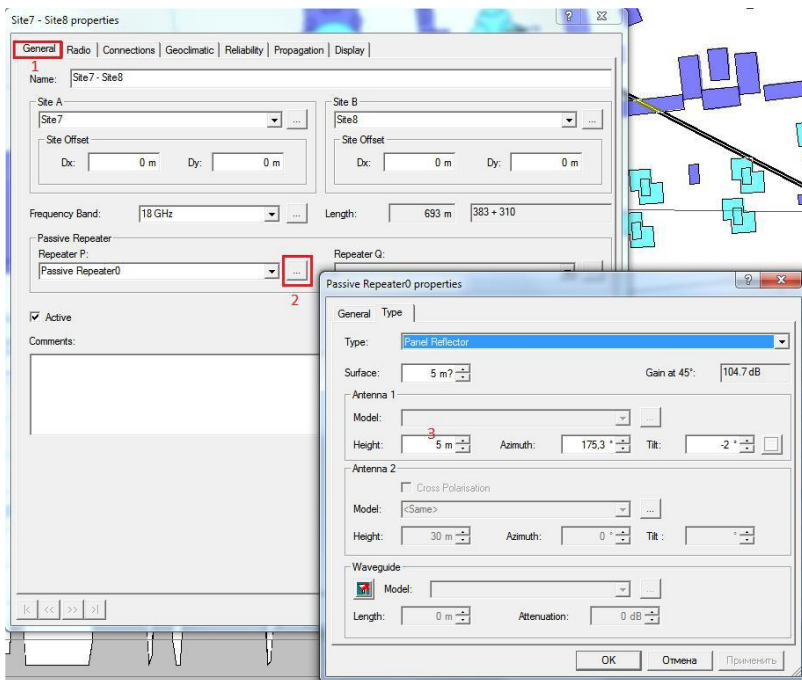


Рисунок 5.9 – Зміна висоти антени повторювача РРЛ

Виконуючи аналогічні дії, можна забезпечити підключення всіх БС мережі до контролера, використовуючи схеми, показані на рис. 5.2.

5.3. Завдання на лабораторну роботу

Використовуючи проект з попередньої лабораторної роботи, виконати підключення базових станцій до контролера за допомогою радіорелейних ліній зв'язку.

Забезпечити пряму видимість між усіма приймально-передавальними модулями РРЛ, застосовуючи повторювачі. Кількість повторювачів на радіолінії між двома сайтами повинна бути не більше одного. Підключення виконати за деревоподібною схемою.

Записати параметри приймально-передавальних модулів та антен, а також повторювачів.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити проект Atoll, створений в попередній лабораторній роботі.

2. Задати систему координат, що відповідає географічному місцю розташування мережі (Tools → Options, вкладка «Coordinates», див. рис. 5.3).

3. Видалити карту висот рельєфу «height», залишивши лише висоти будівель «buildings» (див. рис. 5.4), при цьому бажано зробити шар Digital Terrain Model невидимим, знявши відповідну позначку навпроти нього; вимкнути результати моделювання радіопокриття за рівнем сигналу, знявши відповідну позначку у вкладці «Data».

4. Обравши БС в центрі зони покриття, створити РРЛ між цією БС та сусідніми БС за деревоподібною схемою. Встановити висоту підвісу антен РРЛ аналогічною до висоти підвісу антен БС.

5. Перевірити наявність прямої видимості між приймально-передавальними модулями створених РРЛ. Навести профілі створених РРЛ.

6. У випадку відсутності прямої видимості додати повторювачі, при чому кількість повторювачів на радіолінії

між двома сайтами повинна бути не більше одного. Встановити висоту підвісу антен повторювачів аналогічною до висоти підвісу антен БС.

7. Навести профілі тих ділянок РРЛ, де було використано повторювачі.

8. Навести карту мережі з підключеними БС за допомогою РРЛ і записати параметри приймально-передавальних модулів та антен, а також повторювачів (див. вікно «Site – Site Properties», вкладки «General» і «Radio»).

5.4. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.

2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.

3. Результати виконання роботи: за п.3 – карта місцевості з встановленими БС; за п.4-5 – РРЛ та їх профілі для утворених ліній, що сполучають всі БС; за п.6-7 – РРЛ з повторювачами та їх профілі; за п.8 – карта місцевості з встановленими БС та показаними РРЛ, параметри обладнання РРЛ – антен, приймально-передавальних модулів та повторювачів.

5.5. Контрольні запитання

1. Які два способи підключення БС до мережі ви знаєте? В яких випадках з цією метою використовують радіорелейні лінії зв'язку?

2. Що таке РРЛ?

3. Який склад обладнання РРЛ Mini Link фірми Ericsson?

4. В чому полягає умова функціонування РРЛ та як її забезпечити в реальних умовах?

5. Як створити РРЛ між двома сайтами в програмі Atoll?

6. Що таке профіль РРЛ?

7. Як встановити повторювач для радіолінії в програмі Atoll?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. РОЗПОДІЛЕННЯ РОБОЧИХ ЧАСТОТ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМИ GSM В ATOLL

6.1. Мета роботи:

Отримати навички налаштування частотних каналів та ідентифікаторів передавачів базових станцій, складання частотного плану системи та проведення точкового аналізу завадової ситуації засобами програми Atoll.

6.2. Теоретичні відомості

Смуга частот, виділена системі зв'язку, складається з частотних груп (frequency groups) і областей (frequency domain). Смуга частот визначається частотами, розподіленими для системи GSM/GPRS/EDGE на території обслуговування, зазначеній в проекті. Таким чином, її можна розглядати як фіксовану величину. З іншого боку частотні групи і області можна призначати та змінювати:

- частотна область складається з однієї чи кількох груп і є підмножиною смуги частот, виділеної системі зв'язку.
- частотна група являє собою певний набір частотних каналів.

У програмі Atoll передавачу базової станції призначають певний ідентифікаційний код базової станції (BSIC). Поєднання ідентифікатора BSIC і номера частотного каналу BCCH точно визначає передавач у заданому секторі. Ідентифікатори BSIC відрізняються залежно від країни та регіону.

BSIC складається з кольорового коду мережі (NCC) і кольорового коду BTS (BCC). Ідентифікатори BSIC моделюються за допомогою областей і груп, які можуть призначатися та змінюватися:

- область BSIC складається з однієї чи кількох груп;
- група – це певний набір BSIC.

В Atoll можна розподіляти частоти і BSIC вручну або автоматично.

Важливо пам'ятати, що в процесі розподілення частот кількість частотних каналів $n_{чк_с}$ для передавача в заданому секторі відповідає кількості приймально-передавальних модулів TRX та визначається відповідно до кроків 1-2 алгоритму розрахунку кількості БС (див. лаб. роботу №4).

Слід також пам'ятати, що частотні канали розподіляють лише в межах кластеру С (кількість стільників, де частотні групи не повторюються).

Таким чином, територія обслуговування може містити певну кількість кластерів, де будуть використані частотні канали, що повторюються. Це спричинить виникнення інтерференційних завад (co-channel interference) між передавачами з однаковими частотами, які потрібно контролювати.

Розглянемо процедуру призначення вручну ідентифікаторів BSIC та частотних каналів для передавачів БС у програмі Atoll.

Спочатку необхідно призначити область BSIC та обрати з неї значення ідентифікатора BSIC для кожного передавача у секторі (рис. 6.1). Для цього треба в папці «Transmitters» обрати потрібний передавач (наприклад, Site0_1), натиснути на ньому правою кнопкою миші та обрати «Properties». Далі треба перейти на вкладку «TRXs», в полі «BSIC Domain» обрати «All BSICs», а в полі «BSIC» – значення ідентифікатора. Аналогічну процедуру треба повторити для всіх передавачів БС у проєкті, присвоюючи їм різні значення ідентифікатора BSIC (бажано в межах одного десятка).

Присвоївши значення BSIC кожному передавачу, можна перейти до розподілення частотних каналів. Розглянемо, як виконати цю процедуру для всіх передавачів у проєкті. Для цього треба клацнути правою кнопкою миші на папці «Transmitters», обрати опцію «Subcells» → «TRXs». Відкриється вікно, вигляд якого показано на рис. 6.2.

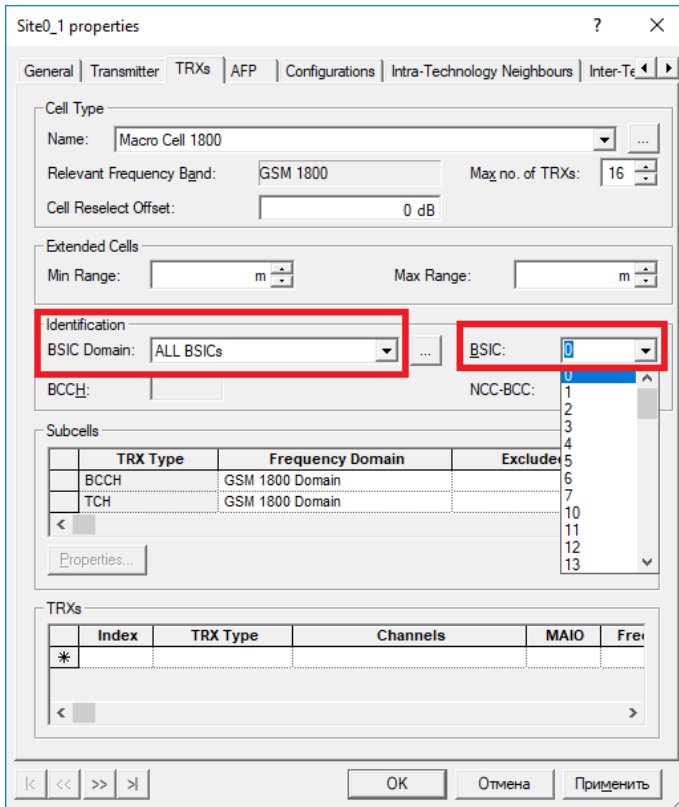


Рисунок 6.1 – Призначення області BSIC та ідентифікатора BSIC для передавача Site0_1

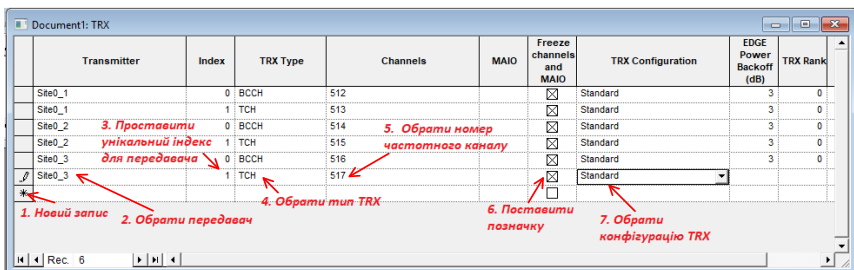


Рисунок 6.2 – Вигляд вікна, що ілюструє частотний план

системи

Заповнення таблиці відбувається у такій послідовності:

1. В полі, що відповідає новому запису, та в колонці «Transmitter» обрати потрібний передавач.

2. В колонці «TRX type» вибрати тип каналу. Слід зазначити, що в передавачі, який обслуговує один сектор, має бути щонайменше один канал типу BCCH, інші канали – це канали TCH.

3. В колонці «Channels» вибрати номер каналу. Поставити позначку навпроти «Freeze channels». Це зафіксує значення частотного каналу і не дозволить його змінити програмі, коли потрібно буде повторно використовувати частотні канали.

4. В колонці «TRX configuration» обрати стандартну конфігурацію TRX. Клацнути мишею в полі нового запису. Повторити кроки 1-5 для іншого передавача чи іншого TRX того ж передавача.

Важливо! Одному сектору треба призначити таку кількість TRX, яка відповідає кількості частотних каналів в секторі $n_{чк_с}$.

Далі необхідно пересвідчитись, що частотні канали, виділені для кожного сектору, належать частотній області, яка відповідає проекту (в нашому випадку GSM 1800 Domain чи GSM 900 Domain) (рис. 6.3, поз. 1). У випадку, коли параметри окремо взятого передавача було введено неправильно, їх можна відкоригувати так, як показано на рис. 6.3, поз.2. Для цього лише треба перейти до властивостей потрібного передавача (вкладка «TRXs»).

Для того, щоб після завершення процедури розподілення каналів експортувати частотний план у файл, наприклад, у форматі Excel, необхідно, відкривши вікно частотного плану (рис. 6.2), виділити всі поля, клацнути правою кнопкою миші на виділеній чорним кольором області та обрати «Export» (рис. 6.4). З'явиться вікно експортування даних (рис. 6.5), де треба знову натиснути «Export» та вказати формат файлу, в який

треба передати дані.

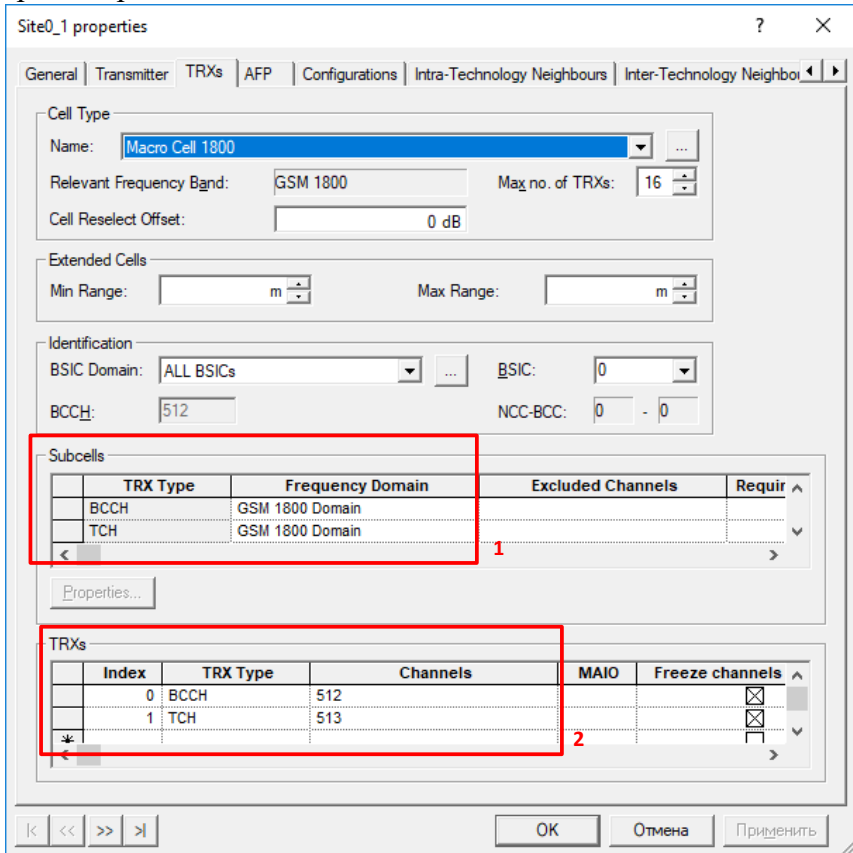


Рисунок 6.3 – Коригування параметрів окремо взятого передавача

В програмі Atoll є можливість виконати точковий аналіз, розташовуючи мобільну станцію у довільній точці на карті покриття. Це дозволяє оцінити рівень сигналу в даній точці від передавачів різних БС (визначаючи, яка БС обслуговуватиме МС в даній точці), оцінити профіль радіолінії між МС та сектором БС, що її обслуговує, та оцінити рівні інтерференційних завад і завад у сусідньому каналі.

Щоб перейти в режим точкового аналізу, треба на панелі інструментів натиснути кнопку «Point Analysis Tool» (рис. 6.6).

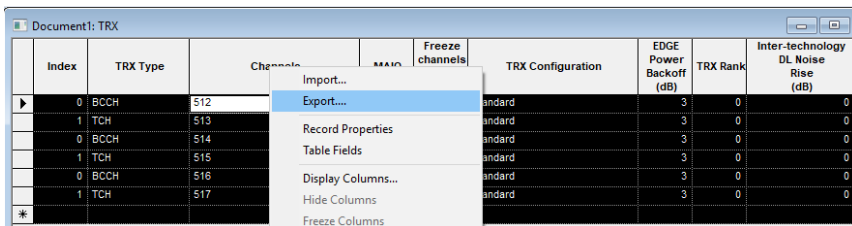


Рисунок 6.4 – Експортування частотного плану в файл

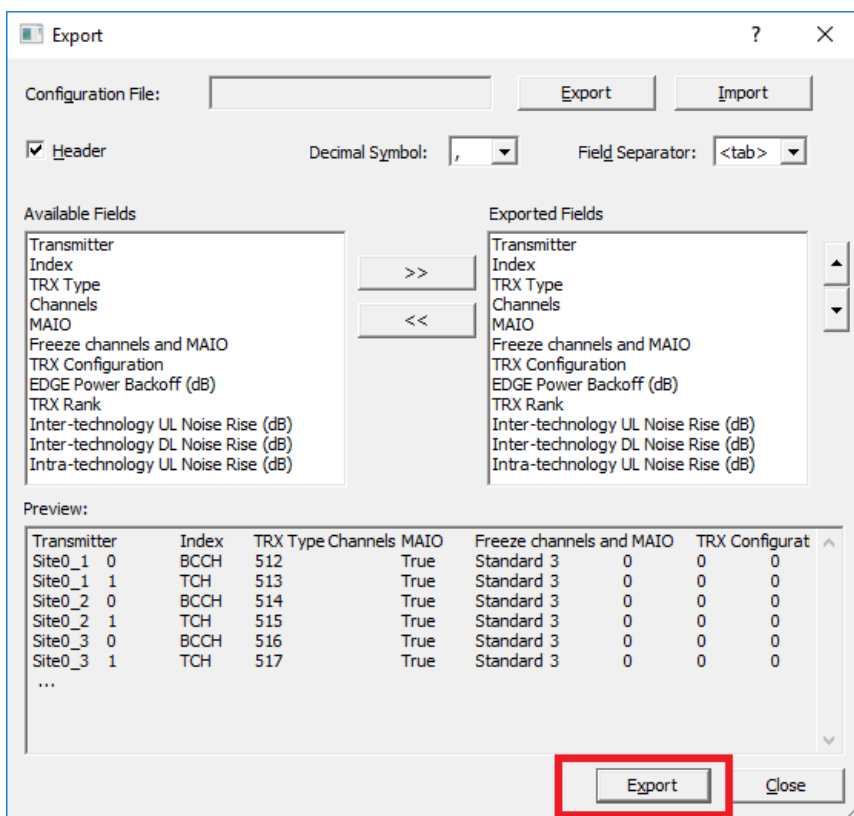


Рисунок 6.5 – Вікно експортування даних

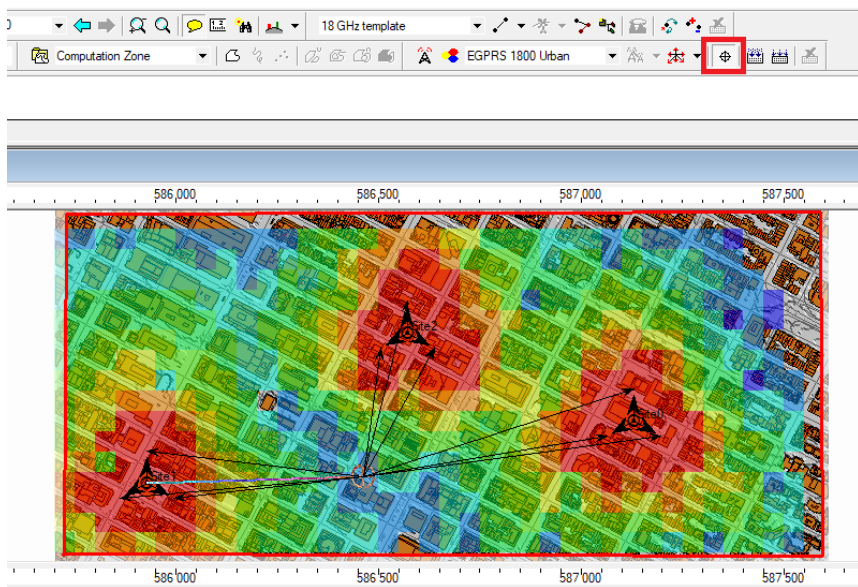


Рисунок 6.6 – Викликання режиму точкового аналізу

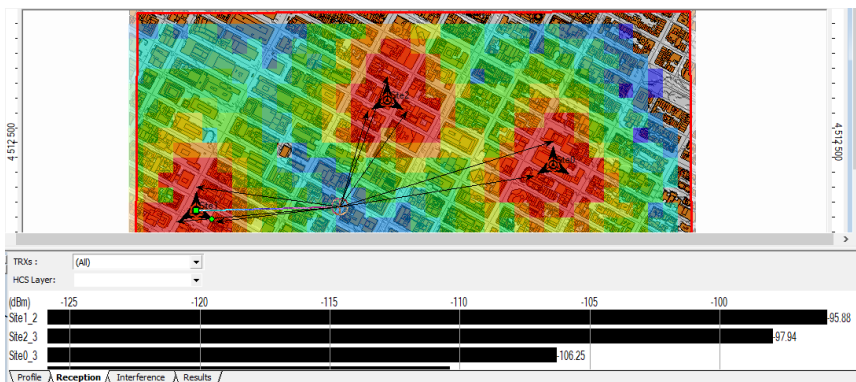


Рисунок 6.7 – Режим точкового аналізу

Клацнувши мишкою в довільній точці карти покриття, відкриється вікно «Point Analysis Tool» (рис. 6.7) у вкладці

«Reception». Тут можна оцінити рівень сигналу в даній точці від передавачів різних БС та визначити, яка БС (конкретний сектор) обслуговуватиме МС в даній точці. Перейшовши у вкладку «Profile», можна оцінити профіль радіолінії між МС та сектором БС, що її обслуговує. У вкладці «Interference» показано рівень завад, що створюється сусідніми передавачами даному сектору БС. Узагальнені результати щодо завадової ситуації наведено у вкладці «Results».

6.3. Завдання на лабораторну роботу

Використовуючи проект з лабораторної роботи №4, дослідити особливості розподілення робочих частот базових станцій системи GSM в програмі Atoll.

Призначити область BSIC та обрати з неї значення ідентифікатора BSIC для кожного передавача БС у проекті.

Використовуючи початкові дані та результати розрахунків за кроками 1-2 лабораторної роботи №4, виконати розподілення частотних каналів для передавачів БС, дотримуючись рекомендацій, наведених на рис. 6.2.

Врахувати, що одному сектору треба призначити таку кількість TRX, яка відповідає кількості частотних каналів в секторі $n_{чк_с}$. Врахувати також, що частотні канали розподіляють лише в межах кластеру С, тобто у разі необхідності треба застосувати принцип повторного використання частот для передавачів інших кластерів.

Пересвідчитись, що частотні канали, виділені для кожного сектору, належать частотній області, яка відповідає проекту.

Експортувати частотний план у файл формату Excel.

Здійснити точковий аналіз, розташувавши МС на карті покриття посередині між 3-4 БС.

6.4. Порядок виконання роботи

1. Відкрити проект Atoll, створений у лабораторній роботі №4.

2. Призначити область BSIC та обрати з неї значення ідентифікатора BSIC для передавача Site0_1 (див. рис. 6.1).

3. Повторити п.2 для всіх передавачів у проекті.

4. Використовуючи початкові дані та результати розрахунків за кроками 1-2 лабораторної роботи №4, виконати розподілення частотних каналів для передавачів БС, дотримуючись рекомендацій, наведених на рис. 6.2.

Увага! частотні канали розподіляють лише в межах кластеру С, тобто у разі необхідності треба застосувати принцип повторного використання частот для передавачів інших кластерів.

5. Пересвідчитись, що частотні канали, виділені для кожного сектору, належать частотній області, яка відповідає проекту (див. рис. 6.3).

6. Експортувати частотний план у файл формату Excel.

7. Здійснити точковий аналіз, розташувавши МС на карті покриття посередині між трьома-чотирма БС. Оцінити рівень сигналу в даній точці від передавачів різних БС та визначити, яка БС (конкретний сектор) обслуговуватиме МС в даній точці.

8. За результатами виконання точкового аналізу оцінити рівень завад, що створюється сусідніми передавачами даному сектору БС. Зробити висновки про характер завад, їх рівень та вплив на функціонування МС.

6.5. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.

2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.

3. Результати виконання роботи: за п.2-3 та 5 – таблиця значень BSIC, NCC, BCC та Frequency Domain для кожного передавача у проекті (див. табл. 6.1); за п.4 та 6 – частотний план у вигляді таблиці за формою, що відповідає рис. 6.2; за п.7 – скріншоти карти покриття з місцем розташування МС та вікном «Point Analysis Tool» з вкладкою «Reception» за формою, що відповідає рис. 6.7; за п.8 – скріншоти карти

покриття з місцем розташування МС та вікном «Point Analysis Tool» з вкладками «Interference» та «Results». Висновки про характер завад, їх рівень та вплив на функціонування МС.

Таблиця 6.1 – Значення BSIC, NCC, BCC та Frequency Domain

Передавач	BSIC	NCC	BCC	Frequency Domain
Site0_1				
Site0_2				
...				

6.6. Контрольні запитання

1. Що таке BSIC та яке його призначення?
2. З чого складається код BSIC?
3. В чому полягає процедура розподілення частотних каналів для всіх передавачів в програмі Atoll?
4. Як експортувати створений частотний план у файл?
5. Яке призначення точкового аналізу в програмі Atoll?
6. Яку інформацію можна отримати з вкладки «Reception» вікна «Point Analysis Tool»?
7. У чому відмінність між відношеннями C/I та $C/(I+N)$, які можна спостерігати у вкладках «Interference» та «Results» вікна «Point Analysis Tool»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ UMTS НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL

7.1. Мета роботи:

Отримати навички моделювання радіопокриття системи UMTS в програмі Atoll.

7.2. Теоретичні відомості

Система UMTS є системою стільникового зв'язку третього покоління, яка використовує широкосмуговий доступ до ресурсів з кодовим розділенням каналів (WCDMA). На відміну від систем з частотно-часовим розділенням каналів (FDMA/TDMA), до яких належить система GSM, передавачі сусідніх БС системи UMTS можуть працювати на одних і тих же частотах. Кожен передавач системи ідентифікується розширювальною послідовністю (scrambling codes), а канали (або користувачі) розділяють за допомогою ортогональних кодових послідовностей зі змінним коефіцієнтом розширення (OVSF codes). В цілому проектування системи UMTS відрізняється від проектування системи GSM та складається з таких основних кроків:

1. Конфігурування мережі (розташування на БС на карті та налаштування їх параметрів).

2. Моделювання радіопокриття за рівнем сигналу.

3. Планування сусідніх стільників.

4. Моделювання радіопокриття за технологіями HSDPA і/або HSUPA.

5. Точковий аналіз рівнів сигналу від сусідніх БС та активного набору стільників, з якими працює МС в заданій точці.

6. Розподілення розширювальних послідовностей (scrambling codes) для передавачів БС.

Розглянемо деякі кроки докладніше. Налаштування параметрів БС здійснюють у вкладках «General», «Transmitter» та «WCDMA/UMTS» вікна властивостей БС (як викликати

вікно властивостей БС з панелі налаштування параметрів БС див. лабораторну роботу №2).

На вкладці «General» (рис. 7.1) наведені базові параметри БС, такі як кількість секторів (1) та радіус стільника (2), частотний діапазон (3), а також параметри антени (4) (тут також задають висоту підвісу антени БС(5)).

На вкладці «Transmitter» (рис. 7.2) задають параметри передавачів БС, зокрема, величину загальних втрат у передавальному та приймальному пристроях БС (1), які можна отримати, натиснувши на кнопку «Equipment» (2) та обравши відповідне обладнання (дуплексний фільтр ТМА, типи фідеру та БС) і вказавши довжину фідерного тракту (feeder length).

На вкладці «WCDMA/UMTS» (рис. 7.3) є можливість задати параметри, які будуть братися до уваги під час моделювання системи UMTS. Це кількість носійних частот для передавача БС (1) (носійні з номерами 0, 1, 2), рівень випромінюваної потужності (2) у пілотному каналі, каналі синхронізації та інших каналах (особливо треба звернути увагу на параметр AS Threshold (3), який описує максимальну різницю між якістю пілотного каналу БС, що обслуговує МС, та якістю пілотних каналів БС, що входять до так званого активного набору (active set), з якими також взаємодіє МС). В цій вкладці також можна накласти обмеження на максимальну потужність (4), що може випромінюватися у каналах, вказати максимальний коефіцієнт навантаження на лінії вгору (5), а також обмежити пікову швидкість на одного користувача на лінії вниз (6) та лінії вгору (7). Всі ці параметри будуть враховані програмою в процесі регулювання потужності, яке є невід'ємною частиною функціонування систем CDMA та визначає абонентську ємність таких систем.

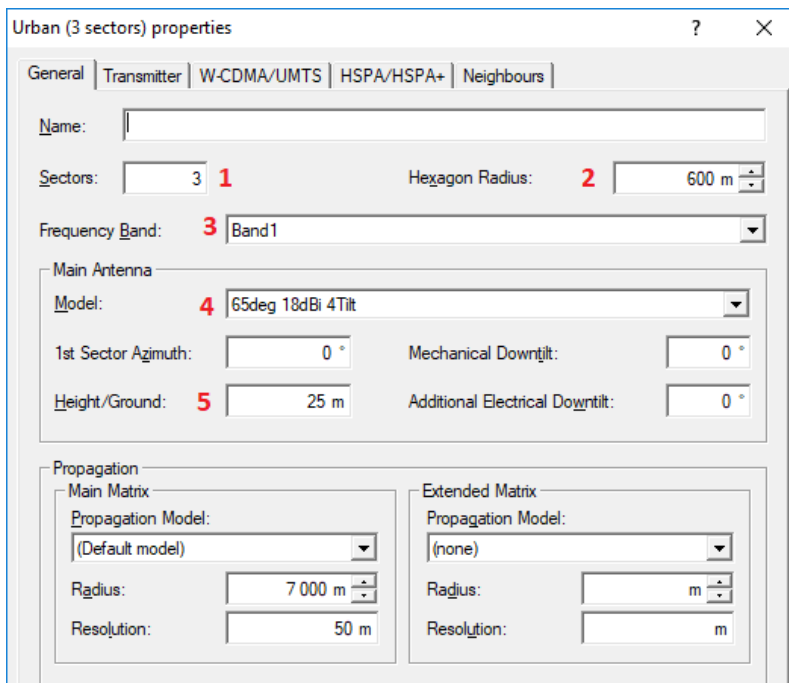


Рисунок 7.1 – Вкладка «General» вікна властивостей БС

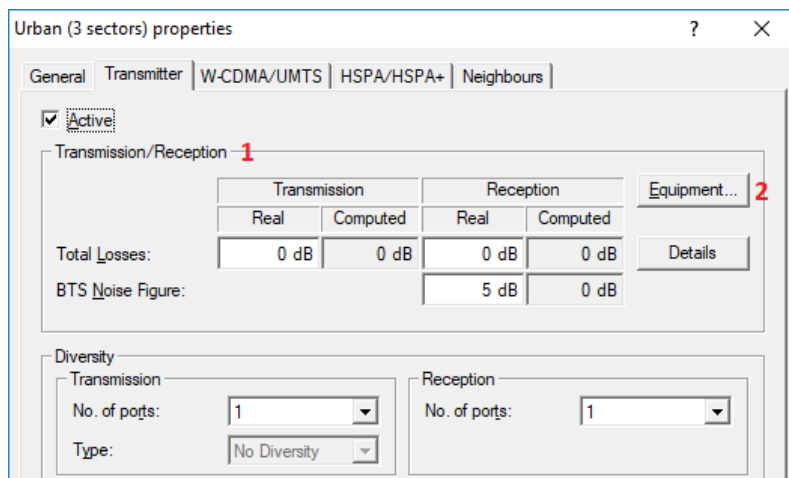


Рисунок 7.2 – Вкладка «Transmitter» вікна властивостей

General | Transmitter | **W-CDMA/UMTS** | HSPA/HSPA+ | Neighbours

Carriers: **1** 0

Power

Pilot: **2** 33 dBm SCH: 21 dBm

Other CCH: 30 dBm AS Threshold: **3** 5

Simulation Constraints

Max Power: **4** 43 dBm

Max DL Load (% Pmax): 75 % Max UL Load Factor: **5** 50 %

DL Peak Rate/User: **6** 1 000 kbps UL Peak Rate/User: **7** 1 000 kbps

Рисунок 7.3 – Вкладка «WCDMA/UMTS» вікна властивостей БС

Моделювання радіопокриття за рівнем сигналу та вибір моделі поширення радіохвиль виконують в такий же спосіб, що й для системи GSM (див. лабораторні роботи №№ 3 та 4).

Програма Atoll підтримує такі типи стільників-сусідів:

- внутрішньосистемні стільники-сусіди – це стільники, які також використовують систему UMTS. Вони можуть бути двох типів: стільники-сусіди, в яких хендовер здійснюється на одних і тих же носійних частотах (intra-carrier neighbours) та стільники-сусіди, в яких хендовер здійснюється на різних носійних частотах (inter-carrier neighbours);

- міжсистемні стільники-сусіди – це стільники, які використовують систему, відмінну від UMTS.

В програмі Atoll є можливість автоматичного планування сусідніх стільників системи UMTS. Для цього треба натиснути правою кнопкою миші на папці «Transmitters» та обрати «Cells» → «Neighbours» → «Automatic Allocation». З'явиться вікно «Automatic Neighbour Allocation», в якому є дві вкладки – «Intra-Carrier Neighbours» та «Inter-Carrier Neighbours». За

необхідності задавши параметри планування внутрішньосистемних стільників-сусідів двох типів, по чергово треба виконати планування стільників-сусідів типу intra-carrier neighbours та типу inter-carrier neighbours, натиснувши кнопку «Run». Результати треба підтвердити натисненням кнопки «Commit» (рис. 7.4).

Моделювання радіопокриття за технологіями HSDPA і/або HSUPA можна здійснити у той же спосіб, що й моделювання за рівнем сигналу. Для цього треба натиснути правою кнопкою миші на папці «Predictions», обрати «New» та обрати «HSDPA Coverage» або «HSUPA Coverage». В результаті на карті місцевості буде показано розподіл швидкості передавання даних у напрямках вниз або вгору (рис. 7.5). При цьому слід зазначити, що зона покриття технологією HSDPA або HSUPA може не співпадати з зоною покриття системи UMTS.

Automatic Neighbour Allocation

Intra-Carrier Neighbours | Inter-Carrier Neighbours

Max Inter-site Distance: 10 000 m Max No. of Neighbours: 16

Coverage Conditions

Signal Level (Pilot) > -105 dBm
Ec/Io > -14 dB
Ec/Io Margin: 5 dB

Resolution: 50 m % min Covered Area: 10 %

Carriers: 0, 1, 2

Force co-site cells as neighbours
 Force adjacent cells as neighbours
 Force symmetry
 Force exceptional gains
 Delete existing neighbours

Importance Weighting...

Results:

Cell	Number	Maximum number	Neighbour	Importance (%)	Cause	Coverage (%)	Coverage (km?)	Adjacency (%)	Adjacency (km?)	Commit
Site0_1(0)	3	16	Site0_3(0)	62,18	Co-Site	5,45	0,0075	5,45	0,0075	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site0_2(0)	60,73	Co-Site	1,82	0,0025	1,82	0,0025	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site2_1(0)	40,53	Adjacent	36,36	0,05	34,55	0,0475	<input checked="" type="checkbox"/>
Site0_2(0)	4		Site0_1(0)	62,19	Co-Site	7,14	0,0075	4,76	0,005	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site0_3(0)	61,24	Co-Site	4,76	0,005	2,38	0,0025	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site2_1(0)	35,64	Adjacent	23,81	0,025	16,67	0,0175	<input checked="" type="checkbox"/>
Site0_3(0)			Site2_3(0)	32,36	Adjacent	9,52	0,01	7,14	0,0075	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site0_2(0)	62,05	Co-Site	5,95	0,0125	4,76	0,01	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site0_1(0)	61,43	Co-Site	3,57	0,0075	3,57	0,0075	<input checked="" type="checkbox"/>
Site1_1(0)	3		Site2_3(0)	37,96	Adjacent	27,38	0,0575	26,19	0,055	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site2_1(0)	31,54	Adjacent	5,95	0,0125	4,76	0,01	<input checked="" type="checkbox"/>
			Site1_2(0)	62,59	Co-Site	7,84	0,01	5,88	0,0075	<input checked="" type="checkbox"/>
Site1_3(0)	60,78	Co-Site	1,96	0,0025	1,96	0,0025	<input checked="" type="checkbox"/>			

Run Commit

Close

Рисунок 7.4 – Вікно результатів планування сусідніх стільників



Рисунок 7.5 – Результат моделювання покриття технологією HSDPA

Щоб перейти в режим точкового аналізу, треба на панелі інструментів натиснути кнопку «Point Analysis Tool». Клацнувши мишкою в довільній точці карти покриття, відкриється вікно «Point Analysis Tool» у вкладці «Reception».

Тут можна оцінити рівень сигналу в даній точці від передавачів різних БС та визначити, яка БС (конкретний сектор) обслуговуватиме МС в даній точці.

Перейшовши у вкладку «Profile», можна оцінити профіль радіолінії між МС та сектором БС, що її обслуговує. У вкладці «AS Analysis» на основі інформації про рівень прийнятого

пілот-сигналу від різних передавачів БС на заданій носійній частоті можна визначити, який тип сервісу (голос, відео конференції, мобільний доступ до Інтернету тощо) буде підтримуватись тим чи іншим типом мобільного терміналу в даній точці (рис. 7.6). Вкладка «SC Interference» дає можливість проаналізувати завади, що можуть створюватися передавачами БС з однаковими розширювальними кодами (scrambling codes), якщо такі передавачі розташовані поблизу один одного.

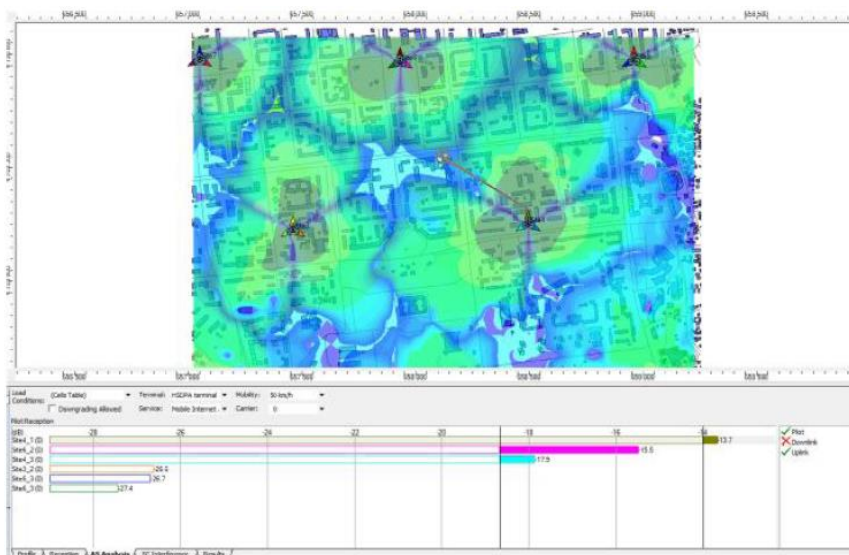


Рисунок 7.6 – Вікно «Point Analysis Tool» з вкладкою «AS Analysis»: видно, що для HSDPA терміналу послуга «Мобільний доступ до Інтернету» є недоступною на лінії вниз в даній точці покриття

В програмі Atoll є можливість автоматичного розподілення розширювальних послідовностей (scrambling codes), що ідентифікують передавачі БС. Для цього треба натиснути правою кнопкою миші на папці «Transmitters» та обрати «Cells» → «Primary Scrambling Codes» → «Automatic

Allocation». З'явиться вікно «Primary Scrambling Codes». За необхідності задавши параметри розподілення розширювальних послідовностей та обравши стратегію розподілення, необхідно натиснути кнопку «Run». Результати треба підтвердити натисненням кнопки «Commit» (рис. 7.7).

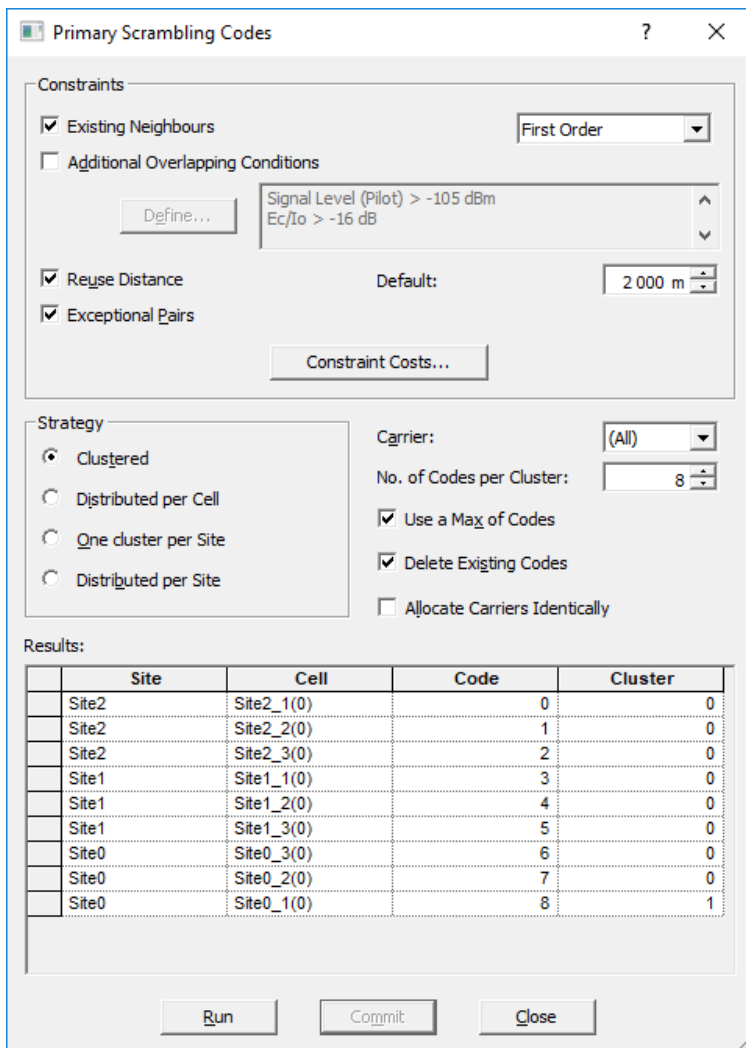


Рисунок 7.7 – Розподілення розширювальних

послідовностей (scrambling codes)

Відобразити результати розподілення у вигляді легенди можна, натиснувши на папці «Transmitters» правою кнопкою миші та обравши «Properties» (рис. 7.8).

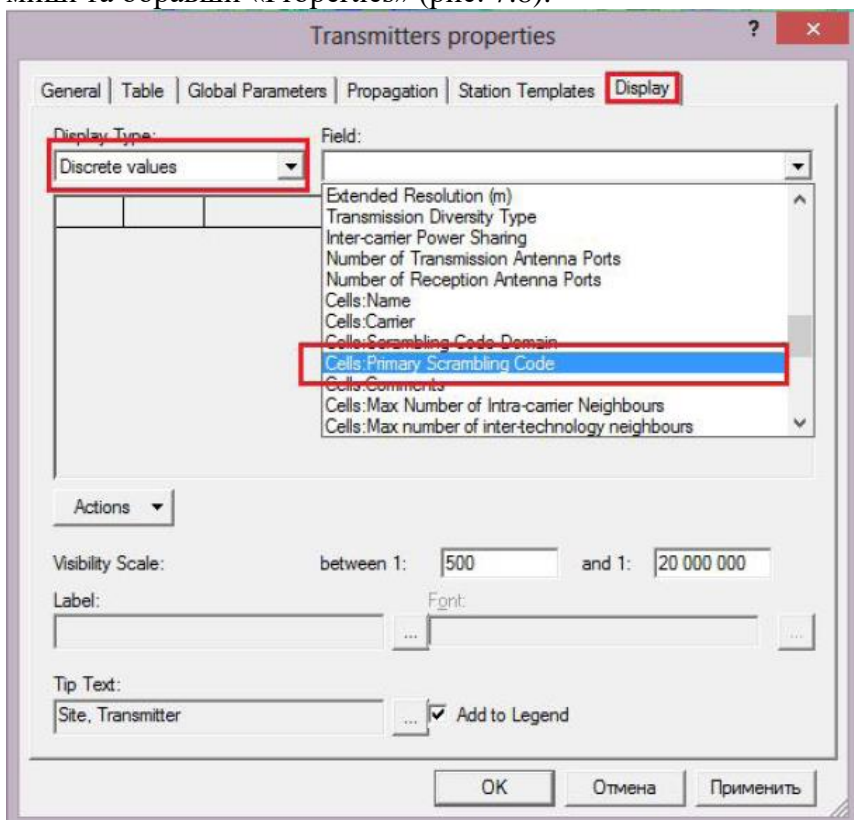


Рисунок 7.8 – Налаштування вигляду передавачів для відображення розширювальних послідовностей у вікні легенди

7.3. Завдання на лабораторну роботу

Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіо покриття UMTS HSPA. Завантажити в нього

цифрові карти місцевості відповідно до варіанту завдання. Використовуючи початкові дані до лабораторної роботи (табл. 7.1), розташувати базові станції на цифровій карті місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури. Налаштувати параметри БС відповідно до варіанту завдання.

Таблиця 7.1 – Початкові дані до лабораторної роботи

Бригада №	Місто	Радіус стільника, м	Технологія HSPA	Кількість носійних (їх номери)	Max UL load factor
1	Торонто	300	HSDPA	1 (№ 0)	50%
2	Нью-Йорк	300	HSUPA	2 (№ 0; 1)	60%
3	Торонто	400	HSPA+	3 (№ 0; 1; 2)	70%
4	Нью-Йорк	500	HSDPA	3 (№ 0; 1; 2)	50%
5	Торонто	500	HSUPA	1 (№ 0)	60%
6	Нью-Йорк	400	HSPA+	2 (№ 0; 1)	70%

Виконати моделювання радіопокриття системи UMTS за рівнем сигналу на заданій території. Виконати планування стільників-сусідів та змоделювати радіопокриття за технологіями HSDPA і/або HSUPA (в залежності від варіанту завдання).

Виконати розподілення розширювальних послідовностей (scrambling codes) для передавачів БС.

7.4. Порядок виконання роботи

1. Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіопокриття UMTS HSPA.

2. Імпортувати в проект цифрові карти місцевості – карти

висот рельєфу та забудови (height.grd та build(ings).grd), векторні карти місцевості (buildings.TAB, highway.TAB, inlandwater.TAB, majorroad.TAB, streets.TAB, freeway.TAB та ін.) і карту завад (clutter.grc).

3. Налаштувати параметри БС відповідно до варіанту завдання (див. рис. 7.1 – 7.2).

4. Розташувати базові станції на цифровій карті місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури та використовуючи інформацію про радіус стільника. Встановити значення висоти підвісу антени БС рівним (2...3) м.

5. Виконати моделювання радіопокриття системи UMTS за рівнем сигналу на заданій території (Coverage by signal level).

6. Проаналізувати радіопокриття за рівнем сигналу та визначити доцільність подальшої зміни розташування окремих БС чи значення висоти підвісу антени для певних БС.

7. Виконати автоматичне планування внутрішньосистемних стільників-сусідів (див. рис. 7.4).

8. Змоделювати радіопокриття за технологіями HSDPA і/або HSUPA (в залежності від варіанту завдання) (HSDPA Coverage – для варіантів 1 і 3, HSDPA Coverage + HSUPA Coverage – для інших варіантів).

9. Розташувавши МС на границі покриття HSDPA між 3-4 БС, здійснити точковий аналіз рівнів сигналу від сусідніх БС. Визначити, який тип сервісу (голос, відео конференції, мобільний доступ до Інтернету тощо) буде підтримуватись тим чи іншим типом мобільного терміналу в даній точці (див. рис. 7.6).

10. Виконати розподілення розширювальних послідовностей (scrambling codes) для передавачів БС (див. рис. 7.7).

7.5. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.

2. Мета роботи та порядок виконання роботи на

наступному аркуші.

3. Результати виконання роботи: за п.5-6 – результати моделювання радіопокриття системи UMTS за рівнем сигналу на заданій території (Coverage by signal level); за п.7 – скріншоти, що ілюструють результати автоматичного планування внутрішньосистемних стільників-сусідів – Intra-Carrier Neighbours та Inter-Carrier Neighbours; за п.8 – результати моделювання радіо покриття системи UMTS за технологіями HSDPA і/або HSUPA, висновки про характер покриття; за п.9 – скріншоти карти покриття з місцем розташування МС та вікном «Point Analysis Tool» з вкладками «Reception» і «AS Analysis», висновки про умови функціонування МС та можливість отримання тих чи інших послуг (сервісів); за п.10 – вікно легенди з розподіленими розширювальними послідовностями для передавачів БС.

7.6. Контрольні запитання

1. У чому полягають відмінності систем зв'язку з кодовим розділенням каналів від систем з частотно-часовим розділенням каналів?

2. Розкрийте алгоритм проектування системи UMTS в програмі Atoll.

3. Поясніть призначення параметрів у вкладці «Transmitter» вікна властивостей БС.

4. Яке призначення параметрів у вкладці «WCDMA/UMTS» вікна властивостей БС?

5. Які типи стільників-сусідів реалізовано в програмі Atoll? В чому полягає відмінність між ними?

6. Які можливості дає використання технологій HSDPA і HSUPA?

7. Проаналізуйте результати виконання точкового аналізу у вкладці «AS Analysis» свого варіанту завдання.

8. Яке призначення розширювальних послідовностей (scrambling codes)?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8. МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ СИСТЕМИ LTE НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ В ATOLL

8.1. Мета роботи.

Отримати навички моделювання радіопокриття системи LTE в програмі Atoll.

8.2. Теоретичні відомості

Система LTE є системою безпроводового зв'язку четвертого покоління, яка використовує широкопasmовий доступ до ресурсів на основі технології OFDMA. На відміну від систем з частотно-часовим розділенням каналів (FDMA/TDMA), до яких належить система GSM, передавачі сусідніх БС системи можуть працювати на одних і тих же частотах. В цілому проектування системи LTE відрізняється від проектування системи GSM та UMTS і складається з таких основних кроків:

1. Конфігурування мережі (розташування на БС на карті та налаштування їх параметрів).
2. Моделювання радіопокриття за рівнем сигналу.
3. Планування сусідніх стільників.
4. Розподілення частот між передавачами БС.
5. Розподілення ідентифікаторів стільників (physical cell IDs).
6. Моделювання радіопокриття за параметрами, специфічними для системи LTE (наприклад, за ефективним рівнем сигналу на лінії вниз та вгору, за пропускнуою здатністю на лінії вниз та вгору тощо).
7. Точковий аналіз рівнів сигналу від сусідніх БС.
8. Коригування частотного плану у разі необхідності (тоді п. 6 та 7 мають бути змодельовані повторно).

Розглянемо деякі кроки докладніше. Налаштування параметрів БС здійснюють у вкладках «General», «Transmitter» та «LTE» вікна властивостей БС (як викликати вікно

властивостей БС з панелі налаштування параметрів БС див. лабораторну роботу № 2).

На вкладці «General» (рис. 8.1) наведені базові параметри БС, такі як кількість секторів (1) та радіус стільника (2), а також параметри антени (тут задають висоту підвісу антени БС (3), модель антени та кількість портів антени (4)).

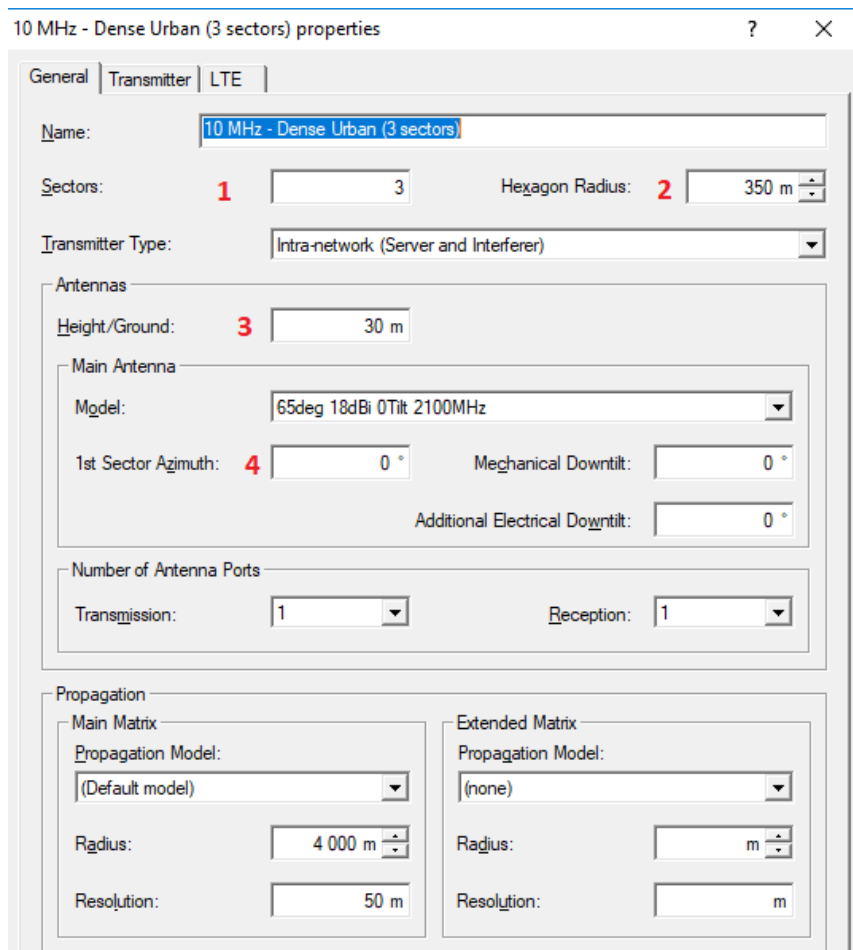


Рисунок 8.1 – Вкладка «General» вікна властивостей БС
На вкладці «Transmitter» (рис. 8.2) задають параметри

передавачів БС, зокрема, величину загальних втрат у передавальному та приймальному пристроях БС (1), які можна отримати, натиснувши на кнопку «Equipment» (2) та обравши відповідне обладнання (дуплексний фільтр ТМА, типи фідеру та БС) і вказавши довжину фідерного тракту (feeder length).

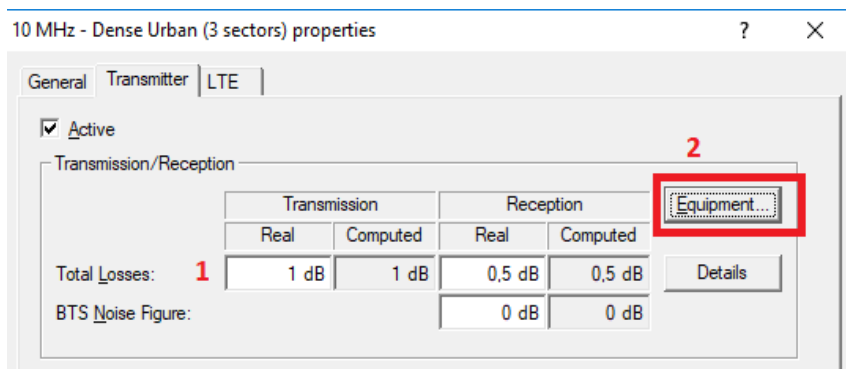


Рисунок 8.2 – Вкладка «Transmitter» вікна властивостей БС

На вкладці «LTE» (рис. 8.3) є можливість задати параметри, які будуть братися до уваги під час моделювання системи LTE. Це максимальна потужність передавача БС (1), частотний діапазон (2), в якому працює БС, номер частотного каналу, на якому працює передавач БС (3). Випадні списки «Channel Allocation Status» (4) та «Physical Cell ID Status» (5) дають можливість виконати розподілення частот передавачів БС та ідентифікаторів стільників уручну (allocated, locked) або автоматично (not allocated). В цій вкладці також можна задати тип схеми MIMO в передавачі та в приймачі (6), а також параметри навантаження на лінії вниз та лінії вгору (7).

Моделювання радіопокриття за рівнем сигналу та вибір моделі поширення радіохвиль виконують в такий же спосіб, що й для системи GSM (див. лабораторні роботи №№ 3 та 4).

В програмі Atoll є можливість автоматичного планування сусідніх стільників системи LTE. Для цього треба натиснути правою кнопкою миші на папці «Transmitters» та обрати «Cells» → «Neighbours» → «Automatic Allocation». З'явиться вікно «Automatic Neighbour Allocation». За необхідності задавши параметри планування стільників-сусідів (зокрема, відстані, на якій буде здійснено пошук сусідніх стільників, максимальної кількості сусідніх стільників та умов покриття із зазначенням діапазону виконання хендовера), треба здійснити планування стільників-сусідів, натиснувши кнопку «Calculate». Результати треба підтвердити натисненням кнопки «Commit» (рис. 8.4).

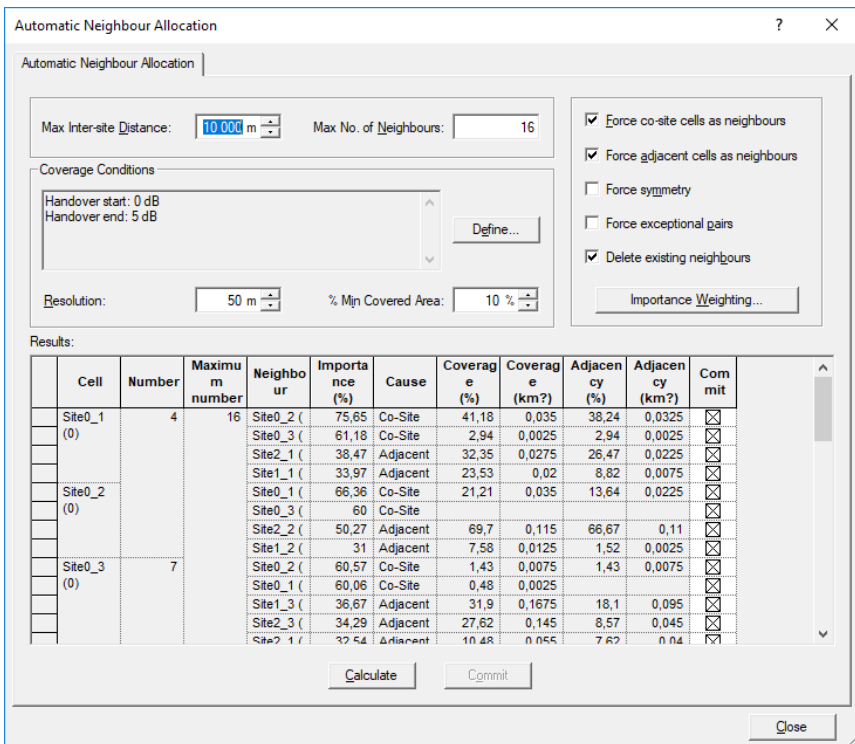


Рисунок 8.4 – Вікно результатів планування сусідніх стільників

Розподілення частот між передавачами БС можна виконати уручну або автоматично. Автоматичне розподілення частот для передавачів БС виконують, натиснувши правою кнопкою миші на папці «Transmitters» та обравши «Cells» → «Frequency Plan» → «Automatic Allocation». З’явиться вікно «Frequency Allocation». За необхідності задавши параметри розподілення частот (що саме треба розподіляти – частоти чи ідентифікатори (1), чи брати до уваги сусідні стільники та на якій мінімальній відстані дозволено повторювати частоти (2)), натиснути кнопку «Calculate». Результати (3) треба підтвердити натисненням кнопки «Commit» (рис. 8.5).

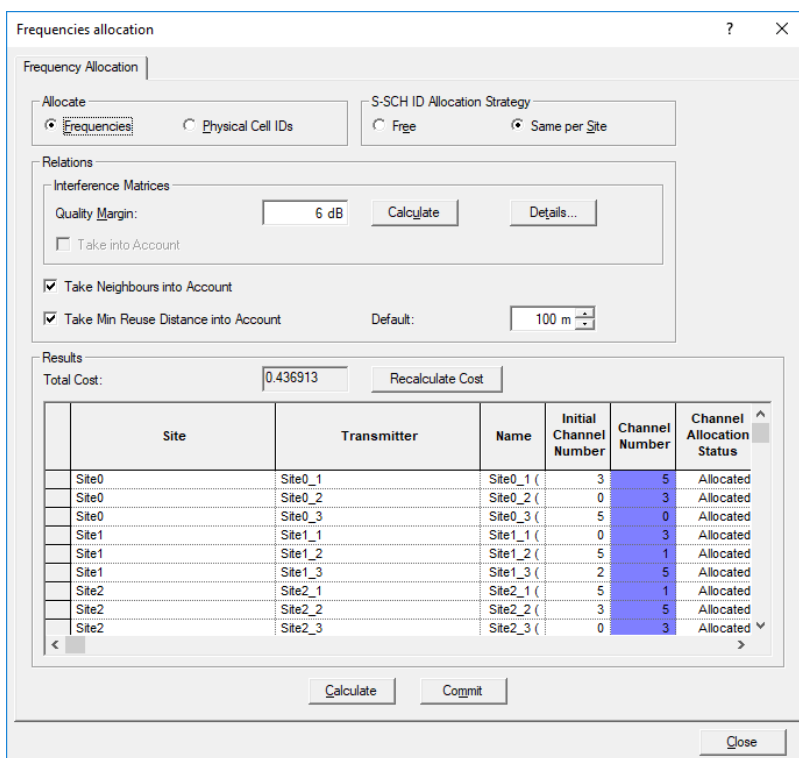


Рисунок 8.5 – Вікно результатів розподілення частот передавачів

Розподілення частот передавачів БС уручну можна здійснити для кожного передавача БС, обравши відповідний передавач в папці «Transmitters» та натиснувши правою кнопкою миші на опції «Properties». У вікні, що з'явиться, знайти параметри «Channel Number» та «Channel Allocation Status», вказавши відповідно номер частотного каналу навпроти першого та поставивши позначку «locked» навпроти іншого.

В системі LTE використовують широкосмуговий доступ на основі технології OFDMA. Сигнал OFDMA має складну структуру і містить окрім корисної інформації, яку передають за допомогою інформаційних підносійних, службові сигнали – так звані пілот-тони, які дозволяють вимірювати параметри каналу зв'язку та однозначно ідентифікувати стільник. Пілот-тони – це псевдовипадкові послідовності (ПВП), які передають на службових підносійних. Для розпізнавання стільника мобільна станція повинна мати інформацію про ПВП, що використовується, та ідентифікатор стільника (physical cell ID). Ідентифікатор стільника може примати значення від 0 до 503 та складається з 168 груп (які називаються ідентифікаторами S-SCH) по 3 унікальних значення в кожній (які називаються ідентифікаторами P-SCH). ПВП тісно пов'язані з ідентифікатором стільника. Таким чином, МС синхронізує передавання та приймання за частотою і часом, отримуючи спочатку ідентифікатор P-SCH, а потім - ідентифікатор S-SCH. Комбінація цих ідентифікаторів дає ідентифікатор стільника (physical cell ID) та поєднану з ним ПВП, що передається від БС.

Розподілення ідентифікаторів стільників (physical cell IDs) відбувається за схожим алгоритмом. Натиснувши правою кнопкою миші на папці «Transmitters» та обравши «Cells» → «Physical Cell IDs» → «Automatic Allocation», з'явиться вікно «Physical Cell ID Allocation». За необхідності задавши параметри розподілення ідентифікаторів стільників, натиснути кнопку «Calculate». Результати треба підтвердити натисненням кнопки «Commit».

Моделювання радіопокриття за параметрами, специфічними для системи LTE, можна здійснити у той же спосіб, що й моделювання за рівнем сигналу.

Для цього треба натиснути правою кнопкою миші на папці «Predictions», обрати «New» та обрати «Effective Signal Analysis DL (UL)» або «Coverage by Throughput DL (UL)». В результаті на карті місцевості буде показано, наприклад, розподіл швидкості передавання даних у напрямках вниз або вгору (рис. 8.6). При цьому слід зазначити, що зону покриття системи LTE слід оцінювати за ефективним рівнем сигналу (effective signal level), а моделювання радіопокриття за рівнем сигналу використовувати лише на початковому етапі проектування системи.

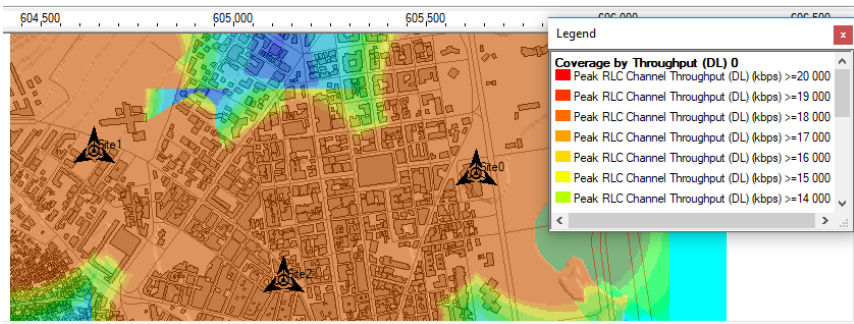


Рисунок 8.6 – Результат моделювання розподілу швидкості передавання даних у напрямку вниз

Щоб перейти в режим точкового аналізу, треба на панелі інструментів натиснути кнопку «Point Analysis Tool». Клацнувши мишкою в довільній точці карти покриття, відкриється вікно «Point Analysis Tool» у вкладці «Reception».

Тут можна оцінити рівень сигналу в даній точці від передавачів різних БС та визначити, яка БС (конкретний сектор) обслуговуватиме МС в даній точці.

Перейшовши у вкладку «Profile», можна оцінити профіль радіолінії між МС та сектором БС, що її обслуговує. У вкладці

«Signal Analysis» на основі інформації про рівень прийнятих пілот-сигналів від різних передавачів БС на заданій носійній частоті можна визначити, який тип сервісу (VoIP, відеоконференції, перегляд веб-сторінок чи завантаження файлів через FTP) буде підтримуватись тим чи іншим типом мобільного терміналу в даній точці (рис. 8.7).

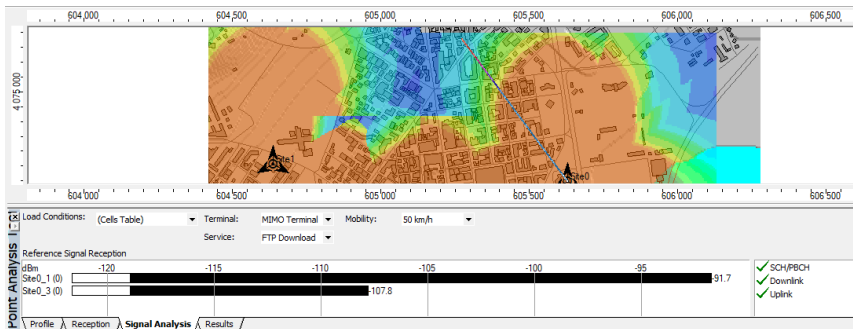


Рисунок 8.7 – Вікно «Point Analysis Tool» з вкладкою «Signal Analysis»

8.3. Завдання на лабораторну роботу

Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіо покриття LTE. Завантажити в нього цифрові карти місцевості відповідно до варіанту завдання. Використовуючи початкові дані до лабораторної роботи (табл. 8.1), розташувати базові станції на цифровій карті місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури. Налаштувати параметри БС відповідно до варіанту завдання.

Виконати моделювання радіопокриття системи LTE за рівнем сигналу на заданій території. Виконати планування стільників-сусідів, розподілення частот між передавачами БС та розподілення ідентифікаторів стільників (physical cell IDs). Змодельовати радіопокриття за ефективним рівнем сигналу на лінії вниз та вгору, за пропускною здатністю на лінії вниз та вгору. Виконати точковий аналіз рівнів сигналу від сусідніх БС.

Таблиця 8.1 – Початкові дані до лабораторної роботи №8

Бригада №	Місто	Радіус стільника, м	Технологія МІМО (вниз/вгору)	Розподілення частот БС (їх номери)
1	Торонто	300	Transmit Diversity/Receive Diversity	Автоматичне
2	Нью-Йорк	300	нема/нема	Уручну (0; 1; 2)
3	Торонто	400	SU-МІМО/MU-МІМО	Автоматичне
4	Нью-Йорк	500	Transmit Diversity/Receive Diversity	Уручну (0; 1; 2)
5	Торонто	500	нема/нема	Автоматичне
6	Нью-Йорк	400	SU-МІМО/MU-МІМО	Уручну (0; 1; 2)

8.4. Порядок виконання роботи

1. Створити проект в програмі Atoll, вибравши як технологію радіопокриття LTE.

2. Імпортувати в проект цифрові карти місцевості – карти висот рельєфу та забудови (height.grd та build(ings).grd), векторні карти місцевості (buildings.TAB, highway.TAB, inlandwater.TAB, majorroad.TAB, streets.TAB, freeway.TAB та ін.) і карту завод (clutter.grc).

3. Налаштувати параметри БС відповідно до варіанту завдання (див. рис. 8.1 – 8.3).

4. Розташувати базові станції на цифровій карті місцевості, приблизно дотримуючись стільникової структури та використовуючи інформацію про радіус стільника. Встановити значення висоти підвісу антени БС рівним (2...3) м.

5. Виконати моделювання радіопокриття системи LTE за рівнем сигналу на заданій території (Coverage by signal level).

6. Виконати автоматичне планування стільників-сусідів (див. рис. 8.4).

7. Здійснити розподілення частот у спосіб відповідно до варіанту завдання (див. табл. 8.1).

8. Виконати автоматичне розподілення ідентифікаторів стільника.

9. Змоделювати радіопокриття за ефективним рівнем сигналу на лінії вниз та вгору («Effective Signal Analysis DL (UL)»); за пропускнуою здатністю на лінії вниз та вгору («Coverage by Throughput DL (UL)»). Зробити висновки про зв'язок розподілу швидкості передавання даних на лініях вниз та вгору з розподілом ефективного рівня сигналу та заданій території.

10. Розташували МС на границі покриття між 3-4 БС, здійснити точковий аналіз рівнів сигналу від сусідніх БС. Визначити, який тип сервісу (VoIP, відеоконференції, перегляд веб-сторінок чи завантаження файлів через FTP) буде підтримуватись тим чи іншим типом мобільного терміналу в даній точці (див. рис. 8.7).

8.5. Зміст звіту

1. Номер та тема роботи на титульному аркуші.

2. Мета роботи та порядок виконання роботи на наступному аркуші.

3. Результати виконання роботи: за п.5 – результати моделювання радіопокриття системи LTE за рівнем сигналу на заданій території (Coverage by signal level); за п.6 – скріншоти, що ілюструють результати автоматичного планування стільників-сусідів; за п.7-8 – результати розподілення частот та ідентифікаторів стільника у вигляді таблиці («Transmitters» → «Cells» → «Open Table», навести перші 8 стовпчиків); за п.9 – результати моделювання радіопокриття за ефективним рівнем сигналу на лінії вниз та вгору («Effective Signal Analysis DL (UL)»); за пропускнуою здатністю на лінії вниз та вгору («Coverage by Throughput DL (UL)») (всього 4 зображення), висновки про характер покриття; за п.10 – скріншоти карти

покриття з місцем розташування МС та вікном «Point Analysis Tool» з вкладками «Reception» і «Signal Analysis», висновки про умови функціонування МС та можливість отримання тих чи інших послуг (сервісів).

Контрольні запитання

1. Розкрийте алгоритм проектування системи LTE в програмі Atoll.

2. Поясніть призначення параметрів у вкладці «Transmitter» вікна властивостей БС.

3. Яке призначення параметрів у вкладці «LTE» вікна властивостей БС?

4. Як здійснити автоматичне планування сусідніх стільників в програмі Atoll?

5. Як здійснити розподілення частот передавачів БС для системи LTE уручну?

6. З чого складається та яке призначення ідентифікатора стільника (physical cell ID)?

7. Проаналізуйте результати виконання точкового аналізу у вкладці «Signal Analysis» свого варіанту завдання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Навчальний практикум з кредитного модуля “Безпроводові телекомунікаційні системи – 2. Системи та засоби зв’язку з рухомими об’єктами“. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та виконання лабораторних робіт для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 “Телекомунікації” / Укл. В.Г. Абакумов, П.В. Попович, К.О. Трапезон. – К.: Аверс, 2013. – 146 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
із дисципліни «Системи мобільного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка
денної форми навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор А. С. Опанасюк
Комп'ютерне верстання В. В. Гриненка

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 3,26 Обл.-вид. арк. 3,14

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.