



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни
«Системи мобільного зв'язку»
для студентів спеціальності
172 Телекомунікації та радіотехніка
денної форми навчання

Суми
Сумський державний університет
2022

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Системи мобільного зв'язку». / укладач: В. В. Гриненко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 48 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЗМІСТ

	С.
МЕТА РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ (РР)	4
ЗАВДАННЯ 1	5
ЗАВДАННЯ 2	19
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	45

Мета розрахункової роботи (РР) – поглиблення і закріплення теоретичних знань із курсу «Системи мобільного зв'язку»; розрахунок ділянки мережі стільникового зв'язку стандарту GSM; вивчення ітераційного алгоритму проектування мережі стільникового зв'язку з кодовим поділом каналів на основі європейського широкосмугового стандарту WCDMA.

Виконання, оформлення та захист розрахункової роботи

По завершенню виконання розрахункової роботи студент виконує звіт, який повинен містити:

1. Титульний аркуш.
2. Номер варіанту і зміст індивідуального завдання;
3. Проведені розрахунки та висновки по отриманим результатам.
4. Список літератури, який використовується для написання розрахункової роботи.

На перевірку викладачу надається оформлений звіт. Під час захисту роботи студенти повинні дати правильні відповіді на додаткові запитання за матеріалами цієї розрахункової роботи. Зверніть увагу на те, що студент повинен володіти всім теоретичним і практичним матеріалом, а не тільки тією його частиною, яка безпосередньо входила до індивідуального завдання.

Завдання 1

Потрібно спланувати міську мережу стільникового зв'язку GSM при вихідних даних:

Площа міста – $S_{\text{мер}}$, км²;

Кількість абонентів в зоні обслуговування - $M_{\text{мер}}$, тис. чол.;

Діапазон частот GSM900 – непарні варіанти, GSM1800 – парні варіанти.

Ймовірність блокування виклику - $P_{\text{бл}}$.

Середня інтенсивність трафіку одного користувача А1.

Необхідна надійність зв'язку $S_{3в}$

Вихідна потужність передавача базової станції (БС) - $P_{\text{БСвих}}$,

Потужність на вході приймача абонентської станції (АС)– $P_{\text{АСвх}}$;

Ефективна висота підйому антени базової станції - $H_{\text{БС}}$, м;

Висота антени мобільної станції над рівнем землі - $H_{\text{АС}}$, м;

Коефіцієнти передачі антенно-фідерних пристроїв (АФП) передавача – $G_{\text{БС}}$; та приймача – $G_{\text{АС}}$;

Кількість стільників, що утворюють кластер – C ;

Кількість секторів з різними частотами – $N_{\text{сект}}$.

Додаткові втрати в будівлі $L_{\text{од}} = 12$ дБ.

Прийняті припущення і додаткові дані.

1. Стільники мають гексагональну форму.
2. Радіус стільника однаковий.
3. Кількість часових інтервалів (незалежних фізичних каналів) в одному частотному каналі в системі GSM - 8. Але число каналів трафіку менше, тому що частина часових інтервалів використовується для каналів управління.

Варіанти завдань наведені в таблиці 1.

Таблиця 2 – Варіанти для першого завдання

Вар.	$S_{\text{мер}}$, км ²	$M_{\text{мер.}}$, тис. чол.	Кластер ($C \times N_{\text{сект}}$)	Кількість. Частот N_f	$P_{\text{бл}}$	A1	Sзв	Н _{БС} /Н _{АС} , м	ГБС / ГАС, дБ	РБС ^{вих.} , Вт	Тип місцевості
1	175	555	3x9	27	0,01	0,02	70%	35/1,5	21/0	7	Вел. місто
2	45	135	4x12	24	0,02	0,03	80%	30/1,5	22/0	10	Мале місто
3	65	165	3x9	36	0,03	0,025	90%	40/1,5	19/0	12	Мале місто
4	105	355	4x12	48	0,01	0,02	70%	55/1,5	18/0	11	Серед .місто
5	155	455	3x9	36	0,02	0,03	80%	35/1,5	18/0	8	Серед .місто
6	85	275	3x9	27	0,03	0,025	90%	35/1,5	19/0	9	Серед .місто
7	125	485	3x9	36	0,01	0,02	70%	40/1,5	22/0	15	Мале місто
8	35	95	4x12	24	0,02	0,03	80%	45/1,5	20/0	13	Мале місто
9	225	625	4x12	36	0,03	0,025	90%	50/1,5	19/0	14	Вел. місто
10	65	485	3x9	36	0,01	0,02	70%	60/1,5	21/0	17	Вел. місто
11	70	245	4x12	48	0,02	0,03	80%	40/1,5	16/0	20	Мале місто
12	110	290	4x12	48	0,03	0,025	90%	50/1,5	17/0	16	Серед .місто
13	305	855	3x9	27	0,01	0,03	70%	40/1,5	21/0	22	Вел. місто
14	55	215	4x12	24	0,02	0,025	80%	45/1,5	16/0	18	Серед .місто
15	235	775	3x9	36	0,03	0,02	90%	35/1,5	17/0	21	Вел. місто

1.1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

В основу технології стільникових мереж покладені три основних принципи:

- повторне використання частот (кодів) в стільниках;
- безперервність зв'язку при переміщенні мобільного абонента зі стільника в стільник (handover);
- визначення місця розташування мобільного абонента в зоні стільникового зв'язку.

Стільникові технології при обмеженому виділеному частотному ресурсі дозволяють обслуговувати в мережі сотні тисяч і навіть мільйони абонентів.

В основі стільникової структури прийнятий кластер - група стільників з частотами, що не повторюються. Вся територія, яка обслуговується системою стільникового зв'язку, покривається кластерами такого ж розміру тобто у всій мережі використовуються ті ж частоти, що і в кластері. Розмірність кластера вибирається виходячи з наявності частотних каналів і необхідного співвідношення сигнал/завада на вході приймача (S/I). На практиці для стандарту GSM застосовується модель повторення частот 3 x 9 або 4 x 12, де цифри 3 або 4 означають кількість стільників в кластері (C), а цифри 9 або 12 - кількість секторів ($N_{\text{сект}}$). Це дозволяє отримати на межі стільників відношення S/I не гірше за необхідного для цифрових систем величини 9dB з ймовірністю близько 80%.

Розподіл частотного ресурсу для кластера 3x9 показано на рис.1 і в табл.3, а для кластера 4x12 на рис. 2 і в табл. 4.

Частотні канали в системи GSM будемо вважати розподіленими рівномірно між окремими секторами. На кожному частотному каналі є 8 часових фізичних каналів. Частина цих каналів використовується як канали трафіку, а частина як канали управління. Розподіл фізичних каналів на канали трафіка та канали управління наведено в таблиці 4.

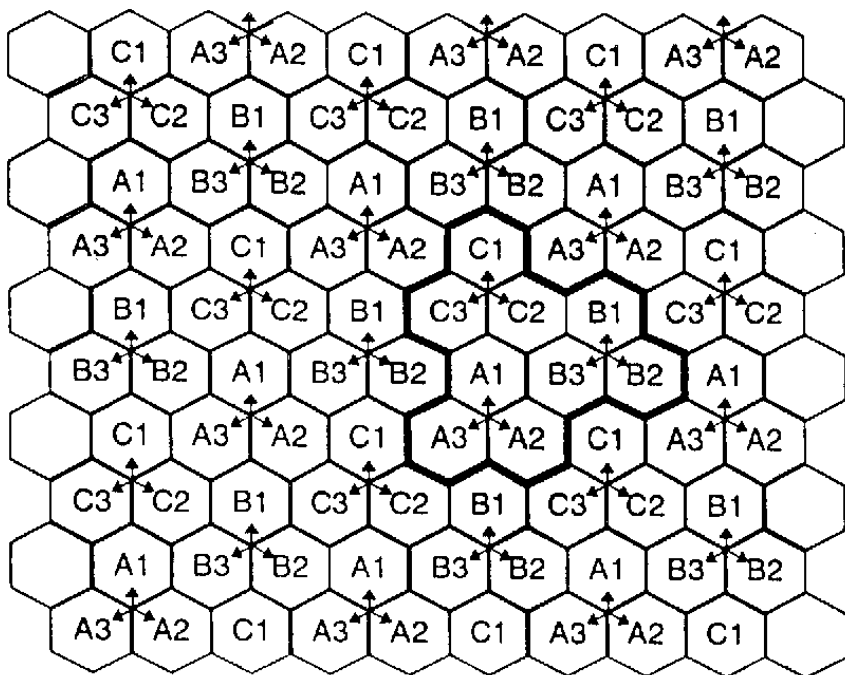


Рисунок 1 – Мережа на основі кластера 3/9.

На рисунку 2 буквами А, В, С і D позначені стільники чотирьох кластера. А1, А2, А3 - сектори стільники А. В1, В2, В3 - сектори стільники В. С1, С2, С3 - сектори стільники С. D1, D2, D3, D4 - сектори стільники D.

Кожному сектору виділено по 4 частотних канали, відповідно в кожному стільнику матимемо по 12 частотних каналів. Так як кластер складається з 4 стільників, загальна кількість частотних каналів в кластері - 48.

Таблиця 2 - Розподіл 36 частот в кластері 3x9 при планування по 4 канали в одному секторі

Частотні групи	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
Номера каналів	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31	32	33	34	35	36

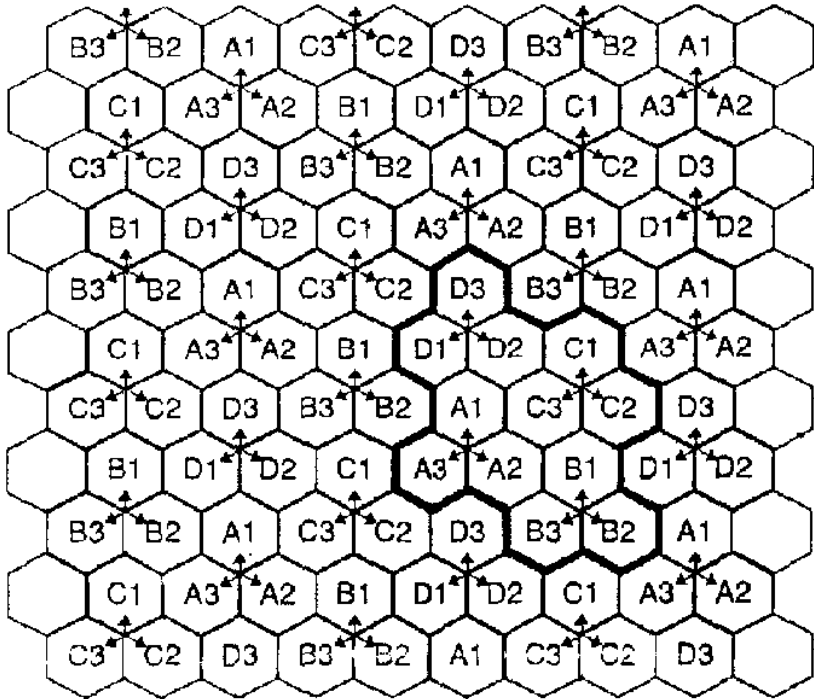


Рисунок 2 - Мережа на основі кластера 4/12

Таблиця 3 - Розподіл 48 частот в кластері 4x12 при планування по 4 канали в одному секторі

Частотні групи	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
Номера каналів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Таблиця 4 – Розподіл фізичних каналів на канали трафіка та канали управління всистемі GSM

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

1.1.1. РОЗРОБЛЕННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

АРХІТЕКТУРИ

1. Кількість частотних каналів в секторі:

$$m_{\text{сек}} = \frac{N_f}{N_{\text{сект.}}}$$

2. Допустимий трафік в соті. По таблиці 4 знаходимо кількість каналів трафіку в секторі, що відповідає кількості частотних каналів. Згідно таблиці Ерлангів та ймовірності блокування виклику Рбл знаходимо навантаження в Ерлангах ($A_{\text{сект.}}$) на один сектор.

3. Допустима кількість абонентів в секторі:

$$M_{\text{сект.}} = \frac{A_{\text{сект.}}}{A_1}$$

4. Допустима кількість абонентів в стільнику:

$$M_{\text{стільн.}} = 3M_{\text{сект.}}$$

5. Число стільників в мережі:

$$N_{\text{стільн.}} = \frac{M_{\text{мер}}}{M_{\text{стільн.}}}$$

6. Площа стільника:

$$S_{\text{стільн.}} \text{ км}^2 = \frac{S_{\text{мер}}}{N_{\text{стільн.}}}$$

7. Знаходимо радіус стільника r та максимальне віддалення мобільної станції від базової – R виходячи з умови розташування антен наведених на рисунках 1 та 2.

$$r = \sqrt{\frac{2S_{\text{стільн.}}}{3\sqrt{3}}}, \quad R = 2r.$$

8. Розподіл виділених за завданням частот по стільниках заданого кластера приведено в таблицях 2 або 3.

Проведіть аналіз отриманих результатів. Мінімальний розмір стільники зазвичай визначає число допустимих хендоверів, виходячи з чого для мереж GSM-900 радіус стільника не менше 1,1 - 1,4 км, а для GSM-1800 радіус стільника не менше 0,6 - 0,8 км. За результатами розрахунку першого етапу привести таблицю розподілу виділених частот N_f і заповнити таблицю 5:

Таблиця 5 – Результати розрахунку 1-го етапу

Кількість частот в стільнику	
Трафік в секторі $A_{\text{сект.}}$	
Кількість абонентів в стільнику $M_{\text{стільн.т}}$	
Кількість стільників в мережі $N_{\text{стільн.}}$	
Площа стільника $S_{\text{стільн.км}^2}$	
Радіус стільника $R, \text{км}$	

1. Розрахунок енергетичних характеристик

На другому етапі потрібно:

- розрахувати втрати на трасі;
- визначити потужність передавачів базової станції;
- провести розрахунок балансу потужності на трасі «вгору»

і «вниз»;

- при необхідності провести коректування заданої висоти підвісу антени базової станції $H_{\text{БС}}$.

Потрібно забезпечити баланс потужності в секторі стільника радіуса R для мережі стільникового зв'язку, обраної на першому етапі. Потужність корисного сигналу на вході приймача $P_{A_{\text{Свх}}}$, мінімально необхідна для забезпечення задовільної якості прийому (його реальна чутливість $P_{\text{реал.}}$) повинна перевищувати потужність власних і зовнішніх шумів на 12-20 дБ. Величина $P_{\text{реал.}}$ як правило наводиться в паспорті, отже предметом для

оцінок ефективності є визначення теоретичної зони навколо кожної базової станції, в межах якої буде виконуватися умова $P_{AC_{ex}} > P_{real}$. Головним елементом таких оцінок є розрахунки енергетики окремих радіоліній між базовими та абонентськими станціями.

Еквівалентна схема зразкової радіолінії:

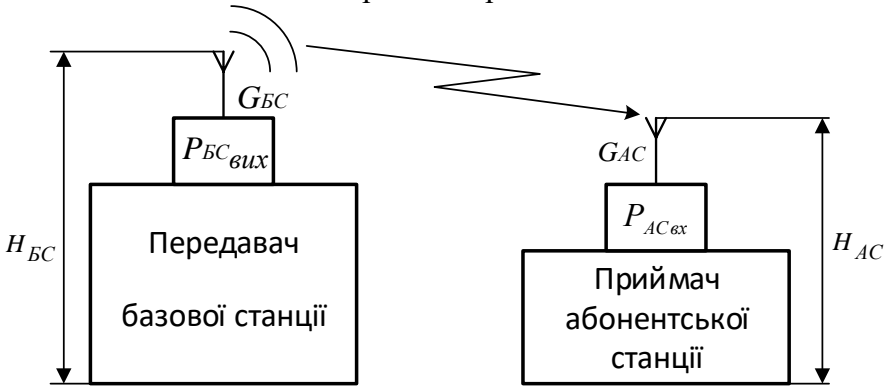


Рисунок 3 - Еквівалентна схема радіолінії

На рисунку позначені:

$P_{BC_{вих}}$ - вихідна потужність передавача БС,

$P_{AC_{вх}}$ - потужність на вході приймача;

H_{BC} , H_{AC} - висоти передавальної і приймальної антен,

G_{BC} , G_{AC} - коефіцієнти передачі антенно-фідерних пристроїв (включають втрати в суматорах передавачів, втрати в фідерах і приймачах-розподільниках, посилення в антенах).

Рівняння балансу потужностей в прямому напрямку (вниз) БС → АС:

$$P_{AC_{вх}} = P_{BC_{вих}} + G_{BC} + G_{AC} - LP \quad (1)$$

Рівняння балансу потужностей в зворотному напрямку (вгору) АС → БС

$$P_{BC_{вх}} = P_{AC_{вих}} + G_{AC} + G_{BC} - LP \quad (2)$$

де:

$P_{BC\text{вих}}$, $P_{AC\text{вих}}$ - потужності на виході передавачів базової і абонентської станцій;

$P_{BC\text{вх}}$, $P_{AC\text{вх}}$ - потужності на вході приймачів базової і абонентської станцій;

LP - втрати на трасі поширення;

При варіанті виконанні абонентської станції МТ0 (стілниковий телефон) $G_{AC} = 0$. У рівняннях (1) і (2) усі коефіцієнти підсилення і послаблення виражені в дБ, а потужності - в дБм. При розрахунках можна використовувати такі параметри абонентських і базових GSM станцій. В абонентських станціях GSM 900/1800 класу 4/1 максимальна вихідна потужність передавачів на 900 МГц $P_{AC\text{вих}} = 2$ Вт і 1 Вт на частоті 1800 МГц. Чутливість приймачів в абонентських станція, тобто мінімальна $P_{AC\text{вх}} = -104$ дБм в обох діапазонах.

Чутливість приймачів базових станцій перевищує чутливість абонентських станцій за рахунок застосування додаткового підсилювача з малим шумом і становить $P_{BC\text{вх}} = -111$ дБм.

При розрахунку траси вниз можна задатися потужністю передавачів базової станції і вирішити рівняння (1). Або необхідну потужність передавачів базової станції визначити з рівняння балансу потужностей (3), як необхідно в даній роботі:

$$P_{BC\text{вих}} = P_{AC\text{вх}} - G_{BC} - G_{AC} + LP \quad (3)$$

Потужність передавачів базових станцій $P_{BC\text{вих}}$ знаходиться в межах від 2 Вт до 50 Вт і залежить від варіанту виконання.

1.1.2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВТРАТ НА ТРАСІ

Втрати на трасі L_R визначаємо за моделлю Окумура-Хата. Модель є аналітичною апроксимацією графіків Окамура, побудованих за результатами практичних вимірювань і дозволяє розрахувати середні втрати для різних типів місцевості (великих середніх і малих міст, передмістя та сільській місцевості).

Розрахунок втрат в діапазоні 900МГц

В діапазоні 900 МГц використовуються рекомендації Р. 529-2 Міжнародного Союзу електрозв'язку МСЕ (ITU-R).

Умови застосовності моделі: частотний діапазон $F=150-1500$ МГц; $H_{BC} = 30-200$ м; $H_{AC} = 1-10$ м.

Втрати потужності сигналу в умовах міста:

$$L_R = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{BC} - a(H_{AC}) + \\ + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R$$

Втрати потужності сигналу в умовах приміської забудови:

$$L_R = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{BC} - a(H_{AC}) + \\ + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R - 2 \left(\lg \left(\frac{F}{28} \right) \right)^2 - 5,4$$

Втрати потужності сигналу в умовах сільської місцевості:

$$L_R = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg H_{BC} - a(H_{AC}) + \\ + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R - 4,78 (\lg F)^2 + 18,33 \lg F - 40,94$$

де:

H_{BC} - ефективна висота підйому антени базової станції, м;

H_{AC} - висота антени мобільної станції над рівнем землі, м;

R - відстань між передавачем і приймачем, км;

F - частота сигналу, МГц;

$a(H_{AC})$ - коригувальний фактор. Для малих і середніх міст

$$a(H_{AC}) = (1,1 \lg F - 0,7) H_{AC} - (1,56 \lg F - 0,8),$$

для великих міст -

$$a(H_{AC}) = 3,2 (\lg(11,75 H_{AC}))^2 - 4,97$$

Розрахунок втрат в діапазоні 1800 МГц

В діапазоні 1800 МГц розрахунки ведуть за моделлю COST 231 Хата [COST 231 TD (90) 119].

Умови застосовності моделі: частотний діапазон $F = 1500-2000$ МГц;

$H_{BC} = 30-200$ м; $H_{AC} = 1-10$ м.

Середній місто і приміський центр:

$$L_R = 46,33 + 33,9 \lg F - 13,82 \lg H_{BC} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R - a(H_{AC}) + C_S,$$

де:

$a(H_{AC})$ - коригувальний фактор.

Для малих і середніх міст -

$$a(H_{AC}) = (1,1 \lg F - 0,7) H_{AC} - (1,56 \lg F - 0,8),$$

для великих міст -

$$a(H_{AC}) = 3,2 (\lg(11,75 H_{AC}))^2 - 4,97;$$

C_S - константа, яка дорівнює 3 дБ для центрів великих міст і 0 дБ - для середніх міст та приміських районів і сільської місцевості.

При розробці проекту мережі, конкретні частотні канали можуть бути невідомі, тому при розрахунках мереж слід орієнтуватися на середню частоту F_{cp} діапазонів (таблиця 6).

Таблиця 6 – Частотні діапазони стандартів GSM

Стандарт	БС→АС вниз, МГц	АС→БС вгору, МГц
GSM-900	935-960 ↔947	890-915↔902
GSM-1800	1805-1880↔1842	1710-1785↔1747

Сумарні втрати $Lp = L_R + \Delta P\sigma + L_{\text{дод}}$,

де $\Delta P\sigma$ – запас потужності для забезпечення зв'язку з ймовірністю $S_{3\sigma}$.

Додатковий запас рівня сигналу

$$\Delta P\sigma = k_{mp} \sigma,$$

де k_{mp} — коефіцієнт логнормального розподілу, що забезпечує необхідну надійність зв'язку, визначається як аргумент нормальної функції розподілу:

$$S_{3\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{k_{mp}} \exp(-t^2/2) dt \quad (4)$$

значення якої дорівнює ймовірності забезпечення зв'язку і може бути знайдено шляхом вирішення рівняння (4). Деякі значення k_{mp} і $S_{3\sigma}$ наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Значення величин k_{mp} та $S_{3\sigma}$

$S_{3\sigma}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
k_{mp}	0	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	2,326

Експериментальні дослідження, проведені для багатьох районів, показують, що для відстаней понад 10 км стандартне відхилення, дБ, для діапазону частот 300 ... 3000 МГц можна визначити за формулою

$$\sigma_d = 9,5 \lg(\Delta h/50) + 9.$$

На відстанях менше 10 км стандартне відхилення залежить від дальності зв'язку R, км.

Для практичних обчислень ці дані в діапазоні 300 ... 3000 МГц з високим ступенем точності апроксимуються формулою

$$\sigma_d = 4,1 \lg(R) + 5.$$

Стандартне відхилення сигналу за часом σ_t залежить від дальності зв'язку і для точок прийому, розташованих на відстані менше 100 км від передавачів,

$$\sigma_t = 6,5[1 - \exp(-0,036R)].$$

Узагальнене значення стандартного відхилення сигналу за місцем і за часом

$$\sigma = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_t^2}.$$

Якщо сигнал на вході приймача базової станції виявився менше мінімально допустимого значення - (мінус 111дБм). Для виконання балансу потужностей необхідно зменшити втрати на трасі за рахунок збільшення H_{BC} .

2.2. Розрахунок балансу потужностей

Розрахунок балансу потужностей необхідно проводити на трасі вниз по формулі (3) і на трасі вгору по формулі (2).

У звіті слід привести формули, за якими проводився розрахунок втрат на трасі L_R , і заповнити підсумкову табл.8.

Таблиця 8.- Підсумкова таблиця

Траса вниз BC → AC								
F _{ср} , МГц	H _{BC} , м	H _{AC} , м	R, км	L _R , дБ	ΔP _σ , дБ	L _{доо} , дБ	P _{BCвих} , дБм	P _{ACвх} , дБ
Траса вверх AC → BC								
F _{ср} , МГц	H _{BC} , м	H _{AC} , м	R, км	L _R , дБ	ΔP _σ , дБ	L _{доо} , дБ	P _{ACвих} , дБм	P _{BCвх} , дБ

Завдання 2

Метою завдання є вивчення ітераційного алгоритму проектування мережі стільникового зв'язку з кодовим поділом каналів на основі європейського широкосмугового стандарту WCDMA.

Загальні дані:

Площа території покриття мережі, S .

Висота підйому антени базової станції, $H_b = 30$ м.

Висота підйому антени мобільної станції $H_m = 1,5$ м

Максимальна потужність мобільного терміналу, P_{UE} .

Номинальна потужність базової станції (radio base station (RBS)), $P_{NOM, RBS}$.

Максимальне навантаження в UL < 70 % (рекомендація Ericsson).

Максимальне навантаження в DL < 76 % (рекомендація Ericsson).

Характер забудови території:

- міська (urban);
- щільна міська (dense urban);
- приміська (suburban),
- сільська (rural).

Відсоток місця розташування абонентів (на вулиці або в будівлях).

Втрати в фідері базової станції, $L_F = 0$.

Коефіцієнт підсилення антен базової та мобільної станцій, $G_a = 18,5$ дБі.

Кількість абонентів мережі задається загальною кількістю, N , а також кількістю абонентів, що працюють в голосовому режимі (voice subscribers) N_V та тими, що працюють в режимі передачі даних з комутацією каналів (circuit switched data subscribers) N_{CS} і в режимі з комутацією пакетів (packet switched data subscribers) N_{PS} . Зазвичай N_V дорівнює N , а N_{CS} і N_{PS} помітно менше N . У даній роботі $N_{CS} = 0$

Параметри навантаження:

Імовірність втрат виклику, GoS .

Кількість викликів в годину в період найбільшого завантаження

для голосового режиму, K_V .

Середня тривалість розмови, T_V .

Співвідношення трафіку UL/DL $r/(1-r)$.

Обсяг даних, що передаються в пакетному режимі, кілобіт V_{PSKbit} .

Типи трас для проведення розрахунків:

1. Абонент знаходиться в приміщенні.
2. Абонент знаходиться поза межами приміщення та рухається зі швидкістю 3 км./год.
3. Абонент рухається в автомобілі зі швидкістю 50 км./год.
4. Абонент рухається в автомобілі зі швидкістю 120 км./год.

Таблиця 9 – Варіанти для другого завдання

Параметр	Номер варіанту														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S, км2	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (тис. чол.)	30	35	36	35	42	51	40	30	31	33	31	34	35	32	37
N _v (тис. чол.)	35	39	40	38	45	41	43	32	33	30	32	36	37	35	39
N _{PS} (тис. чол.)	6,5	6	6,2	5	6,5	7,3	6,8	5,7	5,5	6	7,2	5,1	5	5,3	6,5
P _{UE} , ВТ	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,25
P _{НОМ, RBS} , ВТ	18	17	17,5	18	17	17,5	18	17	17,5	18	17	17,5	18	17	17,5
Тип забудови	suburban	rural	urban	dense urban	suburban	rural	urban	dense urban	suburban	rural	urban	dense urban	suburban	suburban	rural
Відсоток місця розташування абонентів	85 %	95 %	90 %	85 %	95 %	90 %	85 %	95 %	90 %	85 %	95 %	90 %	85 %	90 %	85 %
Ga, ДБі	17,5	18,5	19	18	19,5	17,5	18,5	19	18	19,5	17,5	17,5	18,5	19	18

Продовження таблиці 9

Параметр	Номер варіанту															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
GoS, %	2	3	1	2	3	2	1	3	2	3	1	2	2	3	1	
K_V	0,4	0,42	0,25	0,6	0,3	0,8	0,5	0,35	0,55	0,7	0,25	0,45	0,29	0,65	0,38	
r	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	
V_{PSKbit}	2400	3600	3000	2400	3600	3000	2400	3600	3000	2400	3600	3000	2400	2400	3600	
T_V , ХВИЛИН	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
Тип фідера	7/8	1-1/4	1-5/18	1/2	7/8	1-1/4	1-5/18	1/2	7/8	1-1/4	1-5/18	1/2	7/8	1-1/4	7/8	
Траса (послуга voice subscribers)	1	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3
Траса (послуга packet switched data subscribers)	2	2	3	2	1	4	2	4	1	4	2	2	1	2	3	2

Загальна послідовність виконання завдання

Основна особливість проектування стільникових мереж з кодовою розділенням каналів полягає у врахуванні складного взаємозв'язку параметрів каналу передачі від базової станції до мобільних станцій (так звані Down Link, DL) і каналів передачі від мобільних станцій до базової (так звані Up Link, UL). Крім цього, необхідно враховувати їх взаємозв'язок з ємкістю (кількістю абонентів) і навантаженням (точніше - завантаженістю) стільники. На рис.4 наведені графіки, що пояснюють пошук балансу між кількістю стільників необхідних для забезпечення покриття зв'язком усіх абонентів і пропускну здатністю. Так при збільшенні кількості каналів висхідної лінії зв'язку кількість стільників необхідних для забезпечення пропускну здатності зменшується. Однак, оскільки запас потужності на втрати за рахунок інтерференції сигналів V_{IUL} збільшується зі збільшенням навантаження, кількість стільників для забезпечення пропускну здатності також збільшується. В результаті можна говорити про оптимум розміру стільники, оптимум кількості абонентів і створюваної ними навантаження в стільнику.

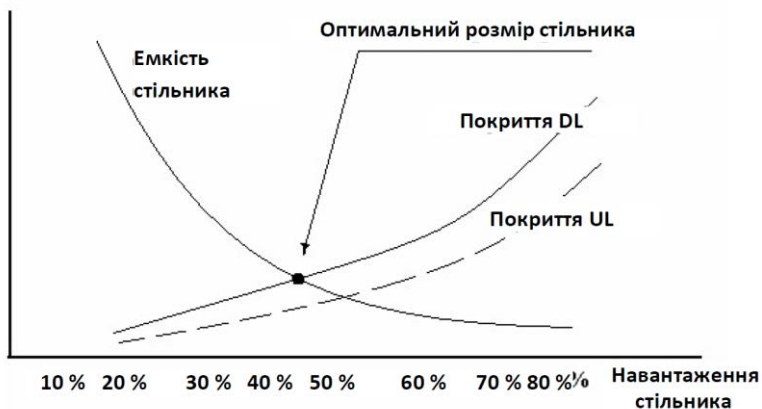


Рисунок 4 – До пояснення оптимального вибору кількості стільників мережі

При телефонізації території із заданою площею стоїть завдання визначення кількості стільників, за умови мінімізації взаємних перешкод між стільниками.

Алгоритм розрахунку кількості стільників в мережі представлений наступними кроками (рисунок 5).

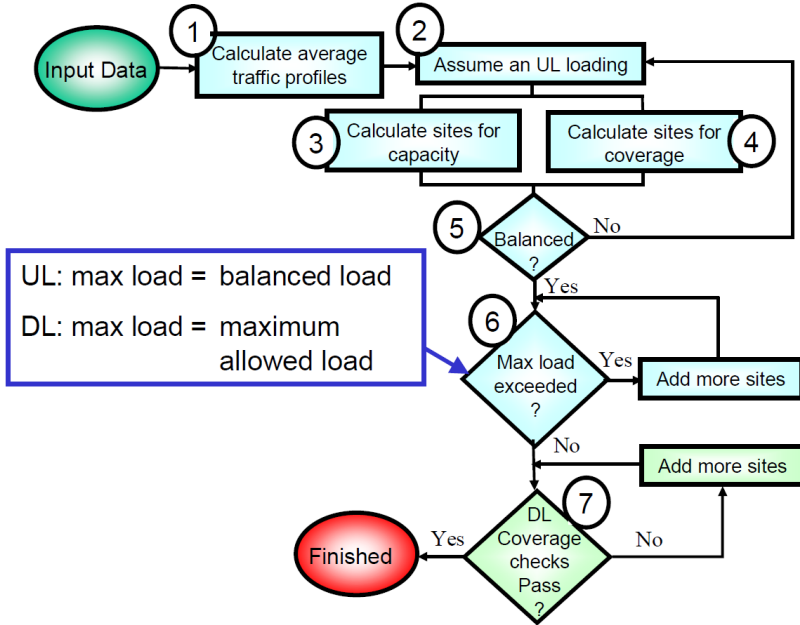


Рисунок 5 – Алгоритм розрахунку кількості стільників в мережі

Крок 1. Обчислення середнього трафіку за профілями обслуговування (Calculate average traffic profiles).

Крок 2. Вибір навантаження UL для балансу (Assume an UL loading).

Крок 3. Визначення кількості стільників по ємності для UL (Calculate sites for saracity).

Крок 4. Визначення кількості стільників по покриттю для UL (Calculate sites for coverage).

Крок 5. Перевірка балансу ємність/покриття для UL (Balanced). Якщо баланс досягнуто, перехід на крок 6; якщо немає - повернення на крок 2.

Крок 6. Перевірка максимального навантаження для UL і DL каналів (Max load exceeded). Якщо навантаження не перевищує максимальні значення, то переходимо до кроку 7; якщо перевищення є, то необхідно збільшити кількість стільників на одиницю і повернутися на крок 6.

Крок 7. Виконання перевірки максимальних потужностей для логічних каналів на лінії вниз (Coverage checks Pass). Якщо покриття є, закінчення розрахунку; якщо немає - збільшення кількості стільників на одиницю і повернення на крок 7.

Можливу конфігурацію антенно-фідерного тракту з елементами, що вносять втрати, ілюструє рис. 6. Якщо ASC не застосовується, то відсутній і антенний джампер.

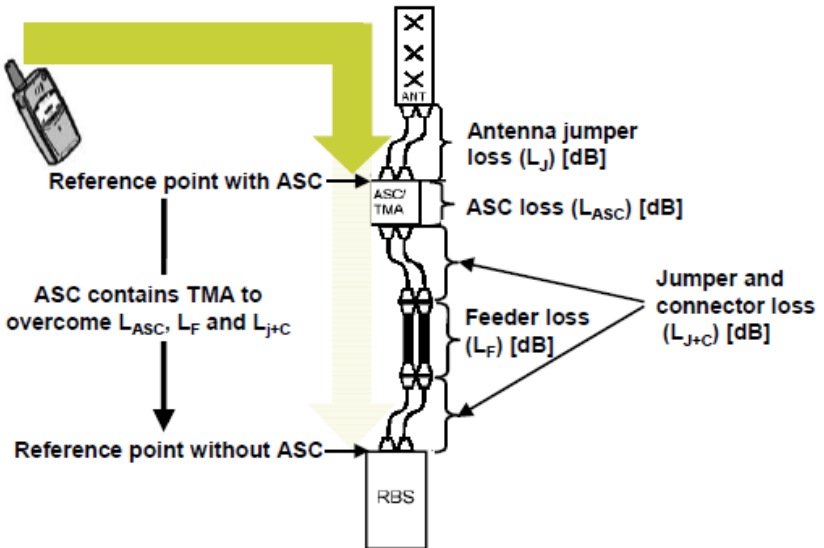


Рисунок 6 – Конфігурація антенно-фідерного тракту UL каналу

Крок 1. Обчислення середнього трафіку за профілями обслуговування

Для передачі голосової інформації використовується співвідношення

$$Y_S = K_V \frac{T_V}{60}. \quad (5)$$

Після підстановки отримуємо значення необхідного абонентського навантаження в Ерлангах.

Для передачі пакетної інформації V_{PS} переводять в кілобайти (кб)

$$V_{PS} = V_{PS,kbit} / 8.$$

Далі обсяг переданих даних розбивають за напрямками UL і DL з урахуванням частки передавальних пакетів абонентів в мережі:

$$V_{PS,UL} = r * V_{PS} \left(\frac{N_{PS}}{N} \right) \quad (6)$$

$$V_{PS,DL} = (1 - r) * V_{PS} \left(\frac{N_{PS}}{N} \right) \quad (7)$$

Крок 2. Вибір навантаження UL для балансу

За рекомендаціями ETSI і виробників апаратури WCDMA навантаження в проєктованих мережах не повинно бути менше 20%, а з іншого боку, не повинно перевищувати 70% для UL і 76% для DL. Виберемо в якості стартового значення для UL навантаження 40% $Q=0,4$. За цим значенням визначається рівень запасу потужності на втрати за рахунок інтерференції сигналів B_{IUL} в UL каналі.

$$B_{IUL} = 10 \log \left(\frac{1}{1-Q} \right) [dB]. \quad (8)$$

Якщо при такому навантаженні баланс ємності та покриття мережі не буде дотриманий, навантаження слід підвищити до 45%, 50% і т.д. до досягнення балансу.

Крок 3. Визначення кількості стільників по ємності для UL

Для визначеного навантаження Q кількість трафік-каналів в одному секторі стільника визначається виразом

$$M = Q * M_{POLE, UL CS}. \quad (9)$$

де $M_{POLE, UL CS}$ - гранична кількість каналів в секторі для передачі голосової інформації. Для трисекторного стільника при передачі голосу (Conversational) в UL рекомендується $M_{POLE, UL CS} = 70$, а для передачі даних з комутацією пакетів Packet Switched (PS) $M_{POLE, UL PS} = 16$. Для сервісів в DL канали $M_{POLE, DL CS} = 60$ та $M_{POLE, DL PS} = 8.9$ для передачі голосових даних та з комутацією пакетів відповідно.

Для заданої норми втрат GoS з таблиці розподілу Ерланга знаходимо сумарне навантаження сектора Y , яке може забезпечити M каналів-трафіку. Кількість абонентів в одному секторі стільника дорівнюватиме відношенню Y до Y_S , з округленням в меншу сторону

$$N_{CELL} = Y / Y_S. \quad (10)$$

Кількість абонентів в трисекторному стільнику дорівнюватиме

$$N_{SITE} = 3 * N_{CELL}. \quad (11)$$

Всього в мережі для обслуговування навантаження від N абонентів потрібно M_{SITE} стільників (з округленням до меншого цілого)

$$M_{SITE1} = N / N_{SITE}. \quad (12)$$

Крок 4. Визначення кількості стільників для покриття UL

На даному етапі проводиться обчислення рівня втрат для передачі голосової інформації і передачі даних в напрямку UL з метою знаходження радіусу R стільника, при якому зв'язок можливий. Знаючи радіус, можна знайти кількість стільників M_{SITE} , сумарна площа яких буде не менше заданої площі телефонізації S .

Для оцінки загасання сигналу L при поширенні на відстані R використовується модель Окамури-Хата вигляду:

$$L_{path} = A - 13.82 \lg H_b + (44.9 - 6.55 \lg H_b) \lg R - a(H_m) \text{ [dB]}. \quad (13)$$

де $A = 155.1$ для міської та щільної міської забудови;

$A = 147.9$ для приміської забудови;

$A = 135.8$ для сільської місцевості;

$A = 125.4$ для відкритого простору;

H_b - висота підйому антени базової станції;

H_m - висота підйому антени мобільної станції;

R - відстань до передавача;

$a(H_m) = 3.2(\lg(11.75H_m))^2 - 4.97$ або для висоти антени 1.5м $a(1.5) = 0$.

Якщо $H_b = 30\text{m}$ та $H_m = 1.5\text{m}$ модель Окамури-Хата має такий вигляд:

$$L_{path} = a + b * \lg R \text{ [dB]}. \quad (14)$$

де

$a = 155.1 - 20.41 = 134.69$ для міської та щільної міської забудови;

$a = 147.9 - 20.41 = 127.49$ для приміської забудови;

$a = 135.8 - 20.41 = 115.39$ для сільської місцевості;

$a = 125.4 - 20.41 = 104.99$ для відкритого простору;

$b = 35.22$.

Максимально можливий рівень втрат (L_{pmax}) сигналу при поширенні між мобільною станцією (UE) та базовою станцією (RBS) це різниця між максимальною вихідною потужністю (P_{UE}) передавача UE (потужність подається в dBm) та чутливості приймача базової станції (S_{UL}) з врахуванням підсилення антен та запасів потужності сигналу для врахування втрат при поширенні сигналу:

$$L_{pmax} = P_{UE} - S_{UL} - Bx - Lx + Ga, [dB]$$

де:

Bx –запаси потужності сигналу для UL каналу [dB];

Lx – втрати сигналу в UL каналі [dB];

Ga сума коефіцієнтів підсилення антени базової RBS та мобільної UE станцій (Ga) [dB].

В системі WCDMA застосовуються наступні коефіцієнти запасу по потужності:

- запасу потужності на втрати за рахунок інтерференції в UL каналі (B_{IUL}) [dB];

- запасу потужності на втрати за рахунок інтерференції в DL каналі (B_{IDL}) [dB];

- запасу потужності для врахування логнормального розподілу сигналу (B_{LNF}) [dB];

- запасу потужності для врахування управління потужністю сигналу (B_{PC}) [dB].

Розрахунок параметра B_{LNF} виконується в залежності від розташування абонента враховує стандартне відхилення сигналу за місцем в приміщенні $\sigma_{LNF(i)}$ та поза ним $\sigma_{LNF(o)}$, що наведено на рис. 7.

Узагальнений параметр стандартного відхилення сигналу за місцем

$$\sigma_{LNF(o+i)} = \sqrt{\sigma_{LNF(o)}^2 + \sigma_{LNF(i)}^2}$$

Значення коефіцієнтів відхилення сигналу в залежності від типу місцевості наведено в таблиці 10.

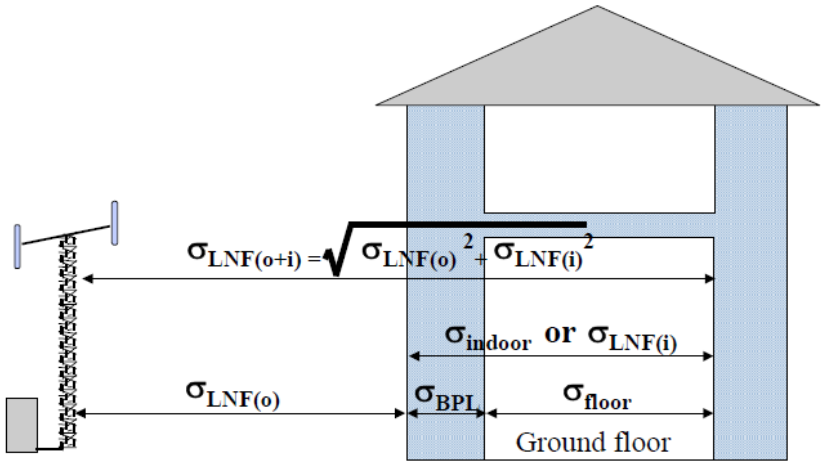


Рисунок 7 – Запаси на стандартні відхилення

Таблиця 10 – Значення параметра B_{LNF} для різних типів місцевості

Тип місцевості	$\sigma_{LNF(o)}$	$\sigma_{LNF(i)}$	$\sigma_{LNF(o+i)}$
Dense urban	10	9	14
Urban	8	9	12
Suburban	6	8	10

Приклад визначення параметра B_{LNF} для міської місцевості наведено на рисунку 8. Обчислення виконується за відомими значеннями відхилення сигналу σ_{LNF} та відсотком місця розташування абонентів.

Визначення параметра B_{LNF} для трисекторного стільника з м'яким хендвером можна проводити за таблицею 11.

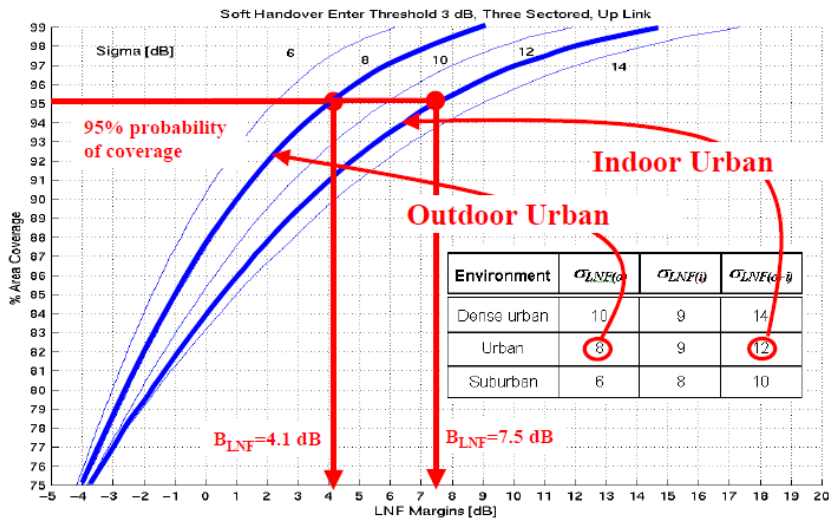


Рисунок 8 – Визначення параметра B_{LNF}

Таблиця 11 – Рекомендований запас потужності для врахування логнормального розподілу сигналу (B_{LNF}) при розрахунку висхідної лінії зв'язку

Тип місцевості	$\sigma_{LNF(o)}$ [dB]	Відсоток місця розташування абонентів				
		75%	85%	90%	95%	98%
Rural, suburban	6	-4,1	-1,7	0,0	2,3	4,6
Urban	8	-3,9	-0,9	1,1	4,1	7,2
Dense Urban, suburban indoor	10	-3,8	-0,1	2,3	5,9	9,6
Urban indoor	12	-3,8	0,6	3,4	7,5	12,1
Dense urban indoor	14	-3,8	1,1	4,3	9,0	14,3

Коли абонент наближається до межі комірки, втрата потужності сигналу збільшується. Контур управління потужністю реагує збільшенням потужності абонентської станції, поки цикл не насичується, і базова станція працює на повну потужність. Отже, управління потужністю більше не працює. Це призведе до зниження чутливості системи висхідної лінії зв'язку. Для врахування цього ефекту в розрахунок втрат сигналу висхідної лінії зв'язку включається запас, який називається запасом на управління потужністю сигналу (B_{PC}). Зазначений коефіцієнт залежить від швидкості пересування та місцевості (можливі варіанти наведені в таблиці 12) та визначається за таблицею 13

Таблиця 12 – Класифікація моделей каналу зв'язку для визначення коефіцієнту запасу на управління потужністю сигналу (B_{PC}).

Модель каналу	Швидкість абонента
Typical Urban (TU)	3 km/h, 50 km/h
Rural Area (RA)	3 km/h, 50 km/h, 120 km/h

Таблиця 13 – Рекомендований запас на управління потужністю сигналу (B_{PC})

	Модель каналу та швидкість руху абонента				
	TU, 3 km/h	TU, 50 km/h	RA, 3 km/h	RA, 50 km/h	RA, 120 km/h
B_{PC} [dB]	0,7	0,0	4,5	1,0	0,0

В каналі зв'язку виникають втрати сигналу пов'язані з наступними чинниками:

- втрати в тілі людини L_{BL} (Body Loss) [dB];
- втрати в автомобілі L_{CPL} (Car Penetration Loss) [dB];

–втрати в приміщенні L_{BPL} (Building Penetration Loss) [dB];

–втрати в антенному контролері L_{ASC} (Antenna System Controller Loss) [dB];

–втрати у з'єднувачі та фідері L_{J+C} (Jumper and Connector Loss) [dB];

–втрати у з'єднувачі L_J (Jumper Loss) [dB];

–втрати у фідері L_F (Feeder Loss) [dB].

Зазначені втрати визначаються за таблицею 14.

Максимальні втрати в UL канали визначаються співвідношенням

$$L_{pmax} = P_{UE} - S_{UL} - B_{IUL} - B_{LNF} - B_{PC} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} - L_J + G_a \text{ [dB]}.$$

Чутливість приймача визначається співвідношенням

$$S_{UL} = N_t + N_f + 10 \lg R_{info} + E_b/N_o + L_F \text{ [dBm]},$$

де

N_t – рівень теплових шумів (-174 dBm/Hz);

N_f – рівень шумів антени (2.3 dB з ASC або 3.3 dB без ASC);

R_{info} – швидкість передачі інформації (bit rate) [bps];

E_b/N_o – відношення сигнал/шум для послуги [dB];

L_F – втрати у фідері (0 dB з ASC) [dB]. Залежать від висоти розташування передавача базової станції H_b і визначаються з наступного співвідношення

$$L_F = L_F^{100} \left(\frac{H_b}{100} \right)$$

Обчислення чутливості приймача для різних послуг наведено в таблиці 15.

Таблиця 14 – Рівні втрати сигналу

Тип втрат	Опис	Позначення	Рівень [dB]
Втрати в тілі людини	Для послуги передачі мови	L_{BL}	3
	Для послуги передачі даних	$L_{BL, data}$	0
Втрати в автомобілі	Закритий автомобіль без зовнішньої антени	L_{CPL}	6
Втрати в приміщенні	Urban and dense urban	L_{BPL}	18
	Suburban		12
Втрати в антенному контролері	Втрати в ASC в DL каналі	L_{ASC}	0,2
Втрати у з'єднувачі та фідері	Втрати в з'єднанні між ASC та RBS	L_{J+C}	1
Втрати у з'єднувачі	Втрати в з'єднувачі між ASC та антеною	L_J	0,2
Втрати фідері	Тип фідера LCF 1/2"	L_F^{100}	11
	Тип фідера LCF 7/8"		6,3
	Тип фідера LCF 1-1/4"		4,6
	Тип фідера LCF 1-5/8"		3,8

Таблиця 15 – Чутливість системи для різних типів сервісів в UL каналі

Тип сервісу	TU, 3 km/h	Rinfo	S _{UL} (dBm)
Speech 12.2 kbps RB+ 3.4 kbps SRBs	5.3	15600	
64 kbps PS RB + 3.4 kbps SRBs	3.3	67400	

Для послуги передачі голосової інформації

$$N_t = -174 \text{ dBm/Hz}$$

$$N_f = 2.3 \text{ dB (with ASC)}$$

$$R_{info} = 15600 \text{ bps}$$

$$L_F = 0 \text{ dB}$$

$E_b/N_o = 5.3$ dB при швидкості пересування абонента 3 км./год. та $E_b/N_o = 6.0$ dB при швидкості пересування абонента 50 км./год визначається за рисунком 9.

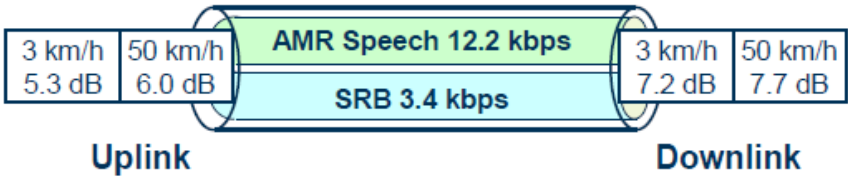


Рисунок 9 – Чутливість приймача E_b/N_o для послуги передачі голосової інформації в UL та DL каналах для різних швидкостей руху абонента

Для передачі пакетної інформації

$$N_t = -174 \text{ dBm/Hz}$$

$$N_f = 2.3 \text{ dB (with ASC)}$$

$$R_{info} = 67400 \text{ bps}$$

$$L_F = 0 \text{ dB.}$$

$E_b/N_o = 3.3$ dB при швидкості пересування абонента 3 км./год. та $E_b/N_o = 4.0$ dB при швидкості пересування абонента 50 км./год визначається за рисунком 10.

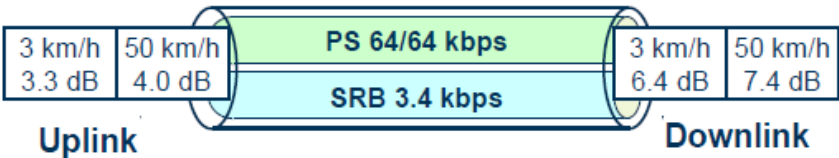


Рисунок 10 – Чутливість приймача E_b/N_o для послуги передачі даних в UL та DL каналах для різних швидкостей руху абонента

Втрати сигналу при передачі голосової та пакетної інформації поза приміщенням для відповідних типів трас

$$L_{pmax} = P_{UE} - S_{UL} - B_{IUL} - B_{LNF} - B_{PC} - L_{BL} - L_J + G_a \text{ [dB]},$$

в автомобілі

$$L_{pmax} = P_{UE} - S_{UL} - BI_{UL} - B_{LNF} - B_{PC} - L_{BL} - L_{CPL} - L_J + Ga [dB],$$

та в приміщенні

$$L_{pmax} = P_{UE} - S_{UL} - BI_{UL} - B_{LNF} - B_{PC} - L_{BL} - L_{BPL} - L_J + Ga [dB].$$

Знаходимо радіус стільника R за найменшим значенням L_{pmax} :

$$R_{pmax} = 10^\gamma, \text{ де } \gamma = \frac{L_{pmax} - a}{b}. \quad (15)$$

Тоді площа трисекторного стільника (рисунок 11) визначається за формулою

$$S_{SITE} = \frac{9}{8} \sqrt{3} R_{pmax}^2$$

А кількість стільників $M_{SITE2} = S / S_{SITE}$

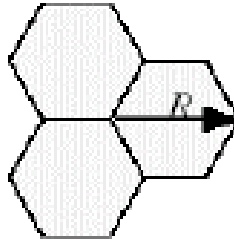


Рисунок 11 – Трисекторний стільник

Крок 5. Перевірка балансу ємність / покриття для UL

Якщо отримана на кроці 4 кількість стільників (M_{SITE2}) не збігається з кількістю стільників, знайденому на кроці 3 (M_{SITE1}) $M_{SITE1} \neq M_{SITE2}$, то при 40% навантаження баланс не досягається. Якщо $M_{SITE1} > M_{SITE2}$, то необхідно повторити крок 3 і крок 4 з навантаженнями 50%, 60%, 70%. Якщо $M_{SITE1} < M_{SITE2}$, то необхідно повторити крок 3 і крок 4 з навантаженнями 30%, 20%. Результатом виконання

зазначеного кроку буде визначення кількості стільників $M_{SITE1} = M_{SITE2} = M_{SITE}$. Якщо в системі при навантаженні UL каналу на рівні 20% спостерігається $M_{SITE1} < M_{SITE2}$, то це свідчить про те, що кількість абонентів невелика і кількість стільників визначаємо виключно за умови забезпечення зв'язком з необхідною якістю сигналу $M_{SITE} = M_{SITE2}$. Якщо в системі при навантаженні UL каналу на рівні 70% спостерігається $M_{SITE1} > M_{SITE2}$, то це свідчить про те, що велика кількість абонентів і кількість стільників визначаємо виключно за умови забезпечення зв'язком усіх абонентів $M_{SITE} = M_{SITE1}$. В такому випадку варіантом вирішення може бути застосування локально мікро- та піко- сот.

Крок 6. Перевірка максимального навантаження для UL і DL каналів

Максимальне навантаження Q_{MAX} визначається як сума навантажень на голосові послуги та послугу передачі даних. Максимальне навантаження Q_{MAX} для сектору у висхідному напрямку UL визначається виразом

$$Q_{MAX} = N_{CELL} \left(\frac{Y_S}{M_{POLE, ULCS}} + \frac{V_{PS, UL} * 1024 * 8 * P_F}{3600 * 64 * 10^3 * M_{POLE, ULPS}} \right) \quad (16)$$

де N_{CELL} - кількість абонентів в секторі з урахуванням знайденої кількості стільників M_{SITE} на 5-му кроці ;
 $P_F = 1,4$ - рекомендоване значення пік-фактору для передачі з комутацією пакетів.

Максимальне навантаження Q_{MAX} для сектора в напрямку DL також обчислюється за виразом (16). Однак для цього напрямку приймають інші значення наступних параметрів:

$$M_{POLE, DLCS} = 60; M_{POLE, DLPS} = 8,9.$$

Крім того, замість $V_{PS, UL}$ в (10) підставляється $V_{PS, DL}$.

Отримані значення Q_{MAX} в напрямках UL та DL не повинні перевищувати 70% для UL і 76% для DL. Якщо

вказане правило не виконується, то необхідно збільшити кількість стільників M_{SITE} на одиницю та провести повторну перевірку максимального навантаження до тих пір поки не виконається вимога стосовно максимальних навантажень (70% для UL і 76% для DL).

Крок 7. Виконання перевірки покриття для DL каналу

Після визначення кількості стільників для UL каналу необхідно виконати перевірки для DL каналу, щоб переконатися, що відповідні потужності сигналів не перевищують рекомендовані значення, як показано нижче. Конфігурація антенно-фідерного тракту DL каналу показана на рисунку 12.

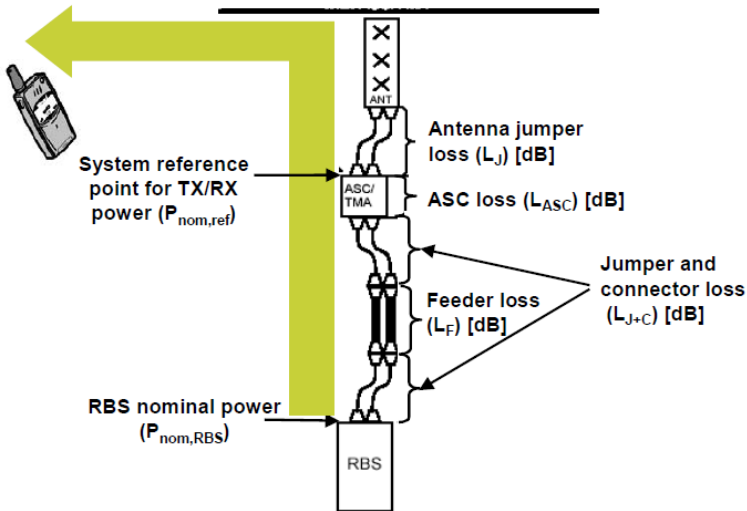


Рисунок 12 – Конфігурація антенно-фідерного тракту DL каналу

Необхідно виконати перевірки трьох рекомендованих співвідношень для потужностей сигналів, випромінюваних базовою станцією в напрямку DL, а саме

$$P_{CPICH,ref} \leq 0,1 P_{NOM,ref}, \quad (17)$$

$$P_{TOT,ref} \leq 0,75 P_{NOM,ref}, \quad (18)$$

$$P_{DCH,ref} \leq 0,3 P_{NOM,ref}, \quad (19)$$

де $P_{NOM,ref}$ - номінальна потужність базової станції в так званій «системній контрольній точці» якою є вихід ASC, як показано на рис.12;

$P_{CPICH,ref}$ - потужність загального пілотного каналу в контрольній точці (CPICH - Common Pilot Channel);

$P_{TOT,ref}$ - повна потужність в контрольній точці;

$P_{DCH,ref}$ - потужність виділеного каналу в контрольній точці (DCH - Dedicated Channel).

Значення P_{NOM} (dB) перераховується з наявного у вихідних даних значення потужності на виході базової станції $P_{NOM,RBS}$ (W) за наступним виразом:

$$P_{NOM,ref} = (10 \log(P_{NOM,RBS}) + 30) - L_{JC} - L_F - L_{ASC} [dB]. \quad (20)$$

Загасання фідера L_F розраховується в залежності від висоти щогли базової станції H_b згідно даних в таблиці 3.

Зі співвідношення (20) після підстановки отримуємо $P_{NOM,ref}$ та знаходимо цей параметр в ватах $P_{NOM,ref}$ [W].

По знайденому на кроці 6 кількості сайтів M_{SITE} і заданої площі мережі S визначається радіус стільника:

$$S_{SITE} = \frac{9}{8} \sqrt{3} R_{pmax}^2 \text{ звідси } R = \sqrt{\frac{8S_{SITE}}{9\sqrt{3}}}. \quad (21)$$

Визначається кількість абонентів в секторі:

$$N_{CELL} = N / (M_{SITE} * 3).$$

По співвідношенню (16) визначається максимальне навантаження Q_{MAX} для сектора в напрямку DL.

Перевірка потужності пілотного каналу ($P_{CPICH,ref} \leq 0,1 P_{NOM,ref}$) в контрольній точці.

Чутливість абонентської станції (UE) по CPICH каналу

$$S_{UE,CPICH} = N_t + N_f + 10 \log R_{chip} + E_c/N_o [dBm]. \quad (22)$$

де N_t – інтенсивність теплового шуму ($N_t = -174$ dBm/Hz);

N_f - показник шуму UE (для планування припускається $N_f = 7$ dB);

R_{chip} - чіпова швидкість ($R_{chip} = 3,84 * 10^6$ bit/c);

E_c/N_o – це енергія CPICH каналу на чіп ($E_c/N_o = -16$ dB).

Для заданої в умові території використовуючи модель Окамури-Хата по отриманій за формулою (21) відстані знаходиться рівень втрат:

$$L_{path} = a + b * lgR$$

Для траси з найбільшим рівнем втрат на 4-му кроці обчислюється загасання сигналу (L_{sa})

$$L_{sa} = L_{path} + B_{LNF} + B_{PC} + L_{BL} + L_{CPL} + L_{BPL} + L_J - G_a [dB]$$

Визначення параметра B_{LNF} для трисекторного стільника з м'яким хендовером для загальних DL каналів можна проводити за таблицею 16.

Таблиця 16 – Рекомендований запас потужності для врахування логнормального розподілу сигналу (B_{LNF}) при розрахунку спільних каналів низхідної лінії зв'язку

Тип місцевості	$\sigma_{LNF(o)}$ [dB]	Відсоток місця розташування абонентів				
		75%	85%	90%	95%	98%
Rural, suburban	6	-3,7	-1,2	0,5	2,9	5,5
Urban	8	-3,4	-0,2	1,8	4,9	8,1
Dense Urban, suburban indoor	10	-3,1	0,6	3,1	6,7	10,6
Urban indoor	12	-3,1	1,3	4,2	8,4	13,1
Dense urban indoor	14	-3,1	1,8	5,1	9,9	15,3

Запас на інтерференційні перешкоди низхідній лінії зв'язку (B_{IDL}) при максимальному навантаженні

$$B_{IDL} = 10 \log \left(1 + \left(\left(\frac{\alpha + F}{N_t N_f R_{chip}} \right) \left(\frac{P_{TOT,ref}}{L_{sa}} \right) \right) \right) [\text{dB}]$$

де $\alpha = 1$ для CPICH -каналу;

$F = 2,1$ для CPICH -каналу;

$P_{TOT,ref}$ розраховується для максимального значення :

$$P_{TOT,ref} = 0,75 * P_{NOM,ref} [W];$$

N_t – інтенсивність теплового шуму ($N_t = -174$ dBm/Hz= $3,98*10^{-21}$ W/Hz);

N_f - показник шуму UE (для планування припускається $N_f = 7$ dB = 5,01);

R_{chip} - чіпова швидкість чіпа ($R_{chip} = 3,84*10^6$ bit/c);

L_{sa} - згасання сигналу в лінійних одиницях виміру.

Потужність пілотного каналу в точці прийому

$$P_{CPICH,ref} = L_{sa} + S_{UE,CPICH} + B_{IDL} [dBm]. \quad (23)$$

Перевіряємо умову $P_{CPICH,ref} \leq 0,1 P_{NOM,ref}$. Якщо умова не виконується, то необхідно збільшити кількість стільників M_{SITE} на одиницю та повторити перевірку за формулою (17).

Перевірка потужності пілотного каналу ($P_{TOT,ref} \leq 0,75 P_{NOM,ref}$) в контрольній точці.

Обчисліть потужність загального каналу в контрольній точці ($P_{CCH,ref}$)

$$P_{CCH,ref} = 2.5 P_{CPICH,ref} [W]$$

Для траси з найбільшим рівнем втрат на 4-му кроці обчисліть згасання сигналу (L_{sa})

$$L_{sa} = L_{path} + B_{LNF} + B_{PC} + L_{BL} + L_{CPL} + L_{BPL} + L_J - G_a [dB].$$

Розраховуємо повну потужність в контрольній точці

$$P_{TOT,ref} = \frac{P_{CCH,ref} + H * L_{sa}}{1 - Q} [W];$$

де Q – навантаження в DL каналі, яке було визначено під час балансування на 5-му кроці;

L_{sa} – в розрахунках використовується в лінійних одиницях;

H – фактор, пов'язаним із розподілом втрат на шляху поширення сигналу до UE всередині стільника. Визначається по таблиці 17.

Таблиця 17 – Розподілом втрат на шляху поширення сигналу до UE всередині стільника

Навантаження стільника	Speech H Value	PS64 H Value
40%	$7,4242 * 10^{-15}$	$7,43294 * 10^{-15}$
45%	$8,35224 * 10^{-15}$	$8,36206 * 10^{-15}$
50%	$9,28026 * 10^{-15}$	$9,29118 * 10^{-15}$
55%	$1,02083 * 10^{-14}$	$1,02203 * 10^{-14}$
60%	$1,11363 * 10^{-14}$	$1,11494 * 10^{-14}$
65%	$1,20643 * 10^{-14}$	$1,20785 * 10^{-14}$
70%	$1,29924 * 10^{-14}$	$1,30077 * 10^{-14}$
75%	$1,39204 * 10^{-14}$	$1,39368 * 10^{-14}$

Перевірка потужності пілотного каналу ($P_{DCH,ref} \leq 0,3 P_{NOM,ref}$) в контрольній точці.

Чутливість абонентської станції (UE) по DCH каналу

$$S_{UE,DCH} = N_t + N_f + 10 \log R_{info} + E_c/N_o [dBm]. \quad (24)$$

де N_t – інтенсивність теплового шуму ($N_t = -174$ dBm/Hz);

N_f - показник шуму UE (для планування припускається $N_f = 7$ dB);

R_{info} - швидкість передачі інформації ($R_{info} = 15600$ bps для передачі голосової інформації та $R_{info} = 67400$ bps для передачі пакетної інформації)

E_c/N_o – чутливість приймача, залежить від послуги передачі даних або голосової інформації в UL та DL каналах для різних швидкостей руху абонента (див. рис. 9 та 10).

Для траси з найбільшим рівнем втрат на 4-му кроці обчисліть загасання сигналу (L_{sa})

$$L_{sa} = L_{path} + B_{LNF} + B_{PC} + L_{BL} + L_{CPL} + L_{BPL} + L_J - G_a \text{ [dB]}$$

Визначення параметра B_{LNF} для трисекторного стільника з м'яким хендовером для виділених DL каналів можна проводити за таблицею 18.

Таблиця 18 – Рекомендований запас потужності для врахування логнормального розподілу сигналу (B_{LNF}) при розрахунку виділених каналів низхідної лінії зв'язку

Тип місцевості	$\sigma_{LNF(o)}$ [dB]	Відсоток місця розташування абонентів				
		75%	85%	90%	95%	98%
Rural, suburban	6	-4,7	-2,3	-0,7	1,5	3,8
Urban	8	-4,5	-1,4	0,5	3,4	6,4
Dense Urban, suburban indoor	10	-4,4	-0,6	1,8	5,2	8,9
Urban indoor	12	-4,1	0,2	2,9	7,0	11,6
Dense urban indoor	14	-4,1	0,7	3,9	8,6	13,8

Перевіряємо умову $P_{TOT,ref} \leq 0,75 P_{NOM,ref}$. Якщо умова не виконується, то необхідно збільшити кількість стільників M_{SITE} на одиницю та повторити перевірку за формулою (18).

Обчисліть запас на інтерференційні перешкоди низхідній лінії зв'язку (B_{IDL}) при максимальному навантаженні

$$B_{IDL} = 10 \log \left(1 + \left(\left(\frac{\alpha + F}{N_t N_f R_{chip}} \right) \left(\frac{P_{TOT,ref}}{L_{sa}} \right) \right) \right) [\text{dB}]$$

де $\alpha = 0,64$ для CPICH -каналу;

$F = 0,72$ для CPICH -каналу;

$P_{TOT,ref}$ розраховується при перевірці умови (18);

N_t – інтенсивність теплового шуму ($N_t = -174$ dBm/Hz = $3,98 \cdot 10^{-21}$ W/Hz);

N_f - показник шуму UE (для планування припускається $N_f = 7$ dB = 5,01);

R_{chip} - чіпова швидкість чіпа ($R_{chip} = 3,84 \cdot 10^6$ bit/c);

L_{sa} - згасання сигналу в лінійних одиницях виміру.

Розраховується потужність пілотного каналу в точці прийому

$$P_{DCH,ref} = L_{sa} + S_{UE,DCH} + B_{IDL} [\text{dBm}].$$

Перевіряємо умову $P_{DCH,ref} \leq 0,3 P_{NOM,ref}$. Якщо умова не виконується, то необхідно збільшити кількість стільників M_{SITE} на одиницю та повторити перевірку за формулою (19).

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.

2. WCDMA RAN network design. Student book. LZT 123 7628 R68. Ericsson, 2006.

Таблиця Ерлангів

Кількість каналів	ймовірність блокування у відсотках					
	1%	2%	3%	5%	10%	20%
1	2	3	4	5	6	7
1	0,0101	0,0204	0,0309	0,0526	0,1111	0,2500
2	0,1526	0,2235	0,2816	0,3813	0,5954	1,0000
3	0,4555	0,6022	0,7151	0,8994	1,2708	1,9299
4	0,8694	1,0923	1,2589	1,5246	2,0454	2,9459
5	1,3808	1,6571	1,8752	2,2185	2,8811	4,0104
6	1,9090	2,2790	2,5431	2,9603	3,7584	5,1086
7	2,5009	2,9354	3,2497	3,7378	4,6662	6,2302
8	3,1276	3,6271	3,9865	4,5430	5,5971	7,3692
9	3,78250	4,3447	4,7479	5,3702	6,5464	8,5217
10	4,4612	5,0840	5,5294	6,2157	7,5106	9,6850
11	5,1599	5,8415	6,3280	7,0764	8,4871	10,8570
12	5,8760	6,6147	7,1410	7,9501	9,4740	12,0360
13	6,6072	7,4015	7,9667	8,8349	10,4700	13,2220
14	7,3517	8,2003	8,8035	9,7295	11,4730	14,4130
15	8,1080	9,0096	9,6500	10,6330	12,4840	15,6080
16	8,8750	9,8284	10,5050	11,5440	13,5000	16,8070
17	9,6516	10,6560	11,3880	12,4610	14,5220	18,0100
18	10,4370	11,4910	12,2380	13,3850	15,6480	19,2160
19	11,2300	12,3330	13,1150	14,3150	16,5790	20,4240
20	12,0310	13,1820	13,9970	15,2490	17,6130	21,6350
21	12,8380	14,0360	14,8850	16,1890	18,6510	22,8480
22	13,6510	14,8960	15,7780	17,1320	19,6920	24,0640
23	14,4700	15,7610	16,6750	18,0800	20,7370	25,2810
24	15,2950	16,6310	17,5770	19,0310	21,7840	28,4990
25	16,1250	17,5050	18,4830	19,9850	22,8330	27,7200

1	2	3	4	5	6	7
26	16,9590	18,3830	19,3920	20,9430	23,8850	28,9410
27	17,7970	19,2650	20,3050	21,9040	24,9390	30,1640
28	18,6400	20,1500	21,2210	22,8670	25,9950	31,3880
29	19,4870	21,0390	22,1400	23,8330	27,0530	32,6140
30	20,3370	21,9320	23,0620	24,8020	28,1130	33,8400
31	21,1910	22,8270	23,9870	25,7730	29,1740	35,0670
32	22,0480	23,7250	24,9140	26,7460	30,2370	36,2950
33	22,9090	24,6260	25,8440	27,7210	31,3010	37,5240
34	23,7720	25,5290	26,7760	28,6980	32,3670	38,7540
35	24,6380	26,4350	27,6910	29,7150	33,4650	40,0000
36	25,5070	27,3480	28,6470	30,6570	34,5030	41,2160
37	28,3780	28,2540	29,5850	31,6400	35,5720	42,4480
38	27,2520	29,1660	30,5260	32,6240	36,6430	43,6800
39	28,1290	30,0810	31,4680	33,6090	37,7150	44,9130
40	29,0070	30,9970	32,4120	34,5960	38,7870	46,1470
41	29,8882	31,9158	33,3574	35,5843	39,8612	47,3812
42	30,7712	32,8360	34,3046	36,5739	40,9358	48,6158
43	31,6561	33,7580	35,2533	37,5648	42,0114	49,8509
44	32,5430	34,6817	36,2035	38,5570	43,0878	51,0865
45	33,4317	35,6069	37,1551	39,5503	44,1650	52,3225
46	34,3223	36,5337	38,1081	40,5447	45,2430	53,5589
47	35,2146	37,4619	39,0624	41,5403	46,3217	54,7957
48	36,1086	38,3916	40,0180	42,5369	47,4012	56,0328
49	37,0042	39,3227	40,9748	43,5345	48,4813	57,2703
50	37,9014	40,2551	41,9327	44,5331	49,5621	58,5082

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахунково-графічної роботи з
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.