

УДК 621.396.12

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Ю.О. БАБІЙ, О.П. АЙДАРОВ
Хмельницький національний університет**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗАЛЕЖНО ВІД
ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН БАЗОВИХ СТАНЦІЙ ТА ЯКОСТІ
ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ СТАНДАРТІВ GSM ТА CDMA**

Стаття присвячена ефективності роботи систем мобільного зв'язку залежно від технічних характеристик антенних решіток базових станцій. Розглядаються способи збудження елементарних випромінювачів в панельній антенній решітці і методи розрахунку діаграми спрямованості багатоелементних секторних антен. Представлено елементи проектування стільникових мереж рухомого радіозв'язку з позиції теорії масового обслуговування. Використовуються методи теорії телетрафіку під час розрахунку основних показників стільникових мереж рухомого радіозв'язку, які пов'язані з критеріями якості обслуговування абонентів.

Ключові слова: стільникові мережі рухомого радіозв'язку, коефіцієнт направленої дії антенної решітки, множник антенної решітки, базова станція, інтенсивність сумарного потоку викликів, ймовірність надходження викликів.

V.I. LUZHANSKIY, Y.O. BABIY, O.P. AYDAROV
Khmelnytsky National University**EVALUATION OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS DEPENDING
ON THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ANTENNAS OF BASE STATIONS
AND CUSTOMER SERVICE QUALITY GSM AND CDMA**

The article is devoted to the efficiency of mobile communication systems, depending on the technical characteristics of antenna systems with antenna arrays in which the base station equipment of the network. Use methods of the theory of teletraffic which are used in the calculation of the main indicators of cellular mobile radio which are linked to the criteria of quality customer service. Describes the characteristics of antennas of base stations as a panel antenna arrays. Discusses the methods of excitation of the elementary emitters in the lattice, and the methods of calculation of multi-element radiation pattern of sector antennas. The elements of the design of cellular networks of the mobile radio from the perspective of queuing theory.

Keywords: cellular mobile radio network, the directivity factor of a lattice of base stations, a multiplier of the antenna array, the intensity of the total flux, the probability of admission calls.

Вступ

Як показала практика, ефективність роботи систем мобільного зв'язку в значній степені залежить від технічних характеристик антенних систем, якими обладнані базові станції мережі. Для забезпечення максимального покриття стільника по дальності використовуються лінійні антенні решітки базових станцій з різною кількістю одиночних вібраторів. Крім цього однією із особливостей коміркової мережі рухомого радіозв'язку є те, що її можна розглядати з позиції теорії телетрафіку при розрахунку основних показників ефективності мережі, які пов'язані з критеріями якості обслуговування абонентів. В той же час підвищення ефективності роботи систем мобільного зв'язку потребує подальшого дослідження щодо застосування сучасних економічних антенних пристроїв, які б створювали менший рівень завад на сусідні спільно-каналні комірки відповідного кластеру.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел (наприклад, [1–4] та ін.) показує недостатність проведених досліджень у цьому напрямку.

Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження оцінки ефективності систем мобільного зв'язку залежно від технічних характеристик антенних решіток базових станцій та якості обслуговування абонентів стандартів GSM та CDMA.

Результати дослідження

Підсистема базових станцій (БС) стільникової мережі включає приймально-передавальні БС, число яких визначається кількістю комірок в межах зони обслуговування. Усі базові станції розділені на групи, кожною з яких управляє контролер базових станцій.

Розглянемо особливості антенних систем базових станцій, за допомогою яких здійснюється радіозв'язок з мобільними терміналами в стільнику. Як показала практика, ефективність роботи системи мобільного зв'язку значною мірою залежить від технічних характеристик антенних систем, якими обладнані базові станції мережі. Залежно від ємності і топології стільникової мережі, а також вимог до її якісних показників, застосовуються різні типи антенних систем БС. На БС використовують в основному три варіанти антенних систем.

1. Всенаправлена антенна система, яка забезпечує рівномірне випромінювання електромагнітної енергії в межах стільника.

2. Трьохсекторна антенна система, яка складається з трьох панельних антен. Кожна антенна обслуговує свій сектор, кутовий розмір якого складає 120° .

3. Шестисекторна антенна система, до складу якої входить шість панельних антен. Кожна антенна обслуговує свій сектор, кутовий розмір якого складає 60° .

Для отримання спрямованого випромінювання в панельних антенах використовуються системи слабо направлених випромінювачів, які певним чином розташованих в просторі.

Висока спрямованість панельної антени досягається за рахунок певної орієнтації однакових випромінюючих елементів і збудження їх струмами з необхідним розподілом амплітуд і фаз. Подібні системи випромінювачів називають антенними решітками (АР). Залежно від розташування елементів розрізняють лінійні, поверхневі та об'ємні решітки. У стільникових мережах на БС застосовуються прямолінійні та плоскі АР.

В лінійній АР випромінюючі елементи розташовуються уздовж прямої, яка називається віссю решітки, на рівних відстанях один від одного. Відстань d між фазовими центрами випромінювачів називають кроком решітки. Лінійна решітка може використовуватися як випромінюючий елемент плоскої АР.

Розглянемо лінійну еквідистантну АР, елементи якої розташовані уздовж осі OZ (рис. 1). Струми в усіх елементах рівні по амплітуді, а для зсуву по фазі між струмами сусідніх елементів $\Delta\psi$ виконується умова $\Delta\psi = 0$. В якості елементів використовуються точкові не напрямлені випромінювачі [1].

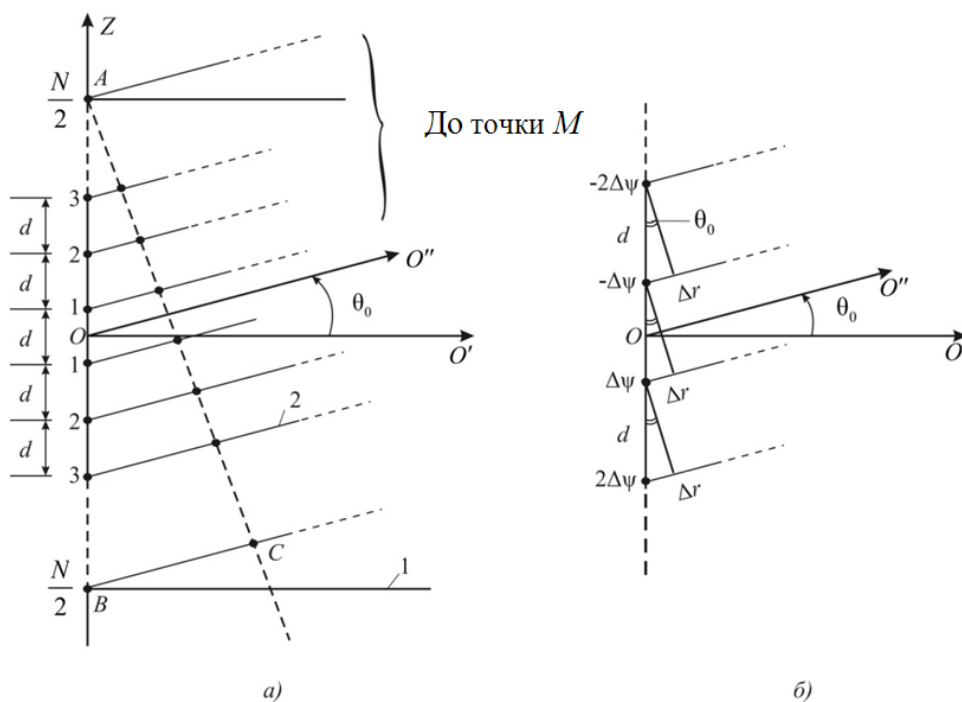


Рис. 1. Лінійні решітки випромінювачів

Функція $f_p(\theta)$ характеризує спрямовані властивості системи з N випромінювачів. Цю функцію називають множником решітки:

$$f_p(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N \cdot k \cdot d}{2} \cdot \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{k \cdot d}{2} \cdot \sin \theta\right)}, \quad (1)$$

де $f_p(\theta)$ – множник решітки; N – кількість випромінюючих елементів; $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ – хвильове число вільного простору; d – відстань між елементами решітки; θ – зенітний кут.

Якщо кожен елемент решітки є точковим не напрямленим випромінювачем, то функція (1) являється діаграмою направленості (ДН) антенної системи.

В лінійних решітках максимум випромінювання відхиляється від нормалі на кут θ_0 , при якому різниця ходу променів від випромінювачів Δr компенсується зсувом фаз між струмами в сусідніх елементах $\Delta\psi$ (рис. 1б).

При цьому справедливо наступне співвідношення:

$$\Delta\psi = k \cdot d \cdot \sin \theta_0. \quad (2)$$

Такий метод збудження елементів решітки називають режимом похилого випромінювання.

Розглянемо лінійні антенні решітки з рівно амплітудним збудженням і лінійною зміною фази. Множник решітки для режиму похилого випромінювання має вигляд:

$$f_p(\theta) = \left| \frac{\sin \left[\frac{N \cdot k \cdot d}{2} (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]}{\sin \left[\frac{k \cdot d}{2} (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]} \right|, \quad (3)$$

де $f_p(\theta)$ – множник решітки похилого випромінювання; θ_0 – кут нахилу максимального випромінювання.

Для дослідження основних властивостей множника решіток складемо в середовищі MATLAB файл-програму **Untitled1.m**, представлений у **Лістингу 1**.

Лістинг 1. Файл-програма **Untitled1.m** для дослідження множника решітки для режиму похилого випромінювання:

```
%{
График множителя линейной решетки
в прямоугольной системе координат
%}
lambda=0.33; k=2*pi/lambda; d=0.5*lambda;
N=8; % число этажей (рядов)
x0=pi/6; % Угол поворота главного лепестка
x=[-3*pi/2:0.0013*pi:3*pi/2]; % Угол theta
% Множитель решетки
fp=abs(sin(k*N*d*(sin(x)-sin(x0))/2)./sin(k*d*(sin(x)-sin(x0))/2));
plot(x,fp,'k-','LineWidth',2),grid on
set(gca,'Xgrid','on')
set(gca,'xtick',[-3*pi/2 -pi -pi/2 0 pi/2 pi 3*pi/2])
set(gca,'FontName','Symbol')
set(gca,'XTickLabel',{'-3p/2| -p| -p/2| 0| p/2| p| 3p/2|'})
axis([-3*pi/2 3*pi/2 0 7])
%-----
% Множитель решетки в полярной системе координат
figure
hpolar=polar(x,fp,'k-');
set(hpolar,'LineWidth',2);
```

Рисунок 2а ілюструє діаграму направленості лінійних решіток в прямокутній системі координат при куті нахилу максимального випромінювання $\theta_0 = \pi/6$. Діаграма направленості лінійних решіток в режимі нахилого випромінювання є поверхнею обертання у вигляді конуса, вісь якого співпадає з віссю OZ (рис. 2а). Подібну діаграму називають воронкоподібною. На рисунку 1б представлений переріз воронкоподібної ДН у вертикальній площині, що проходить через вісь OZ.

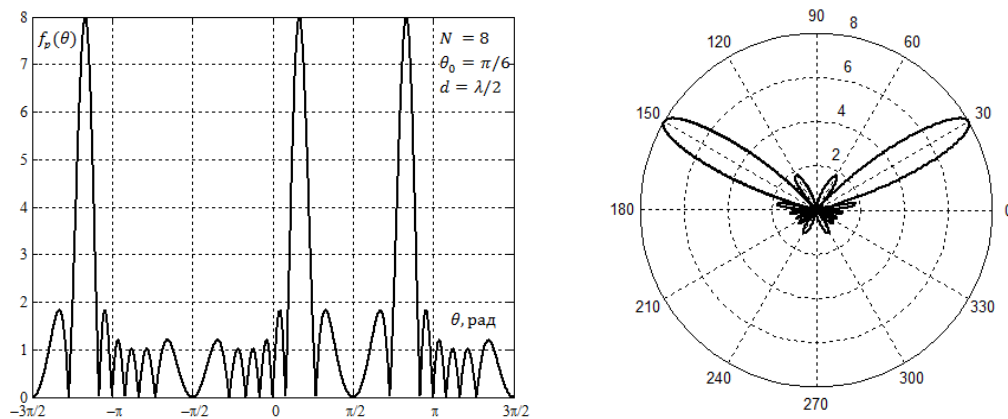


Рис. 2. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

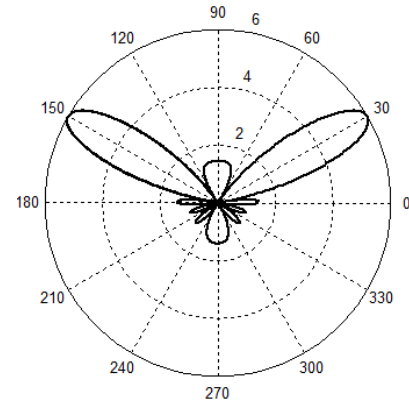
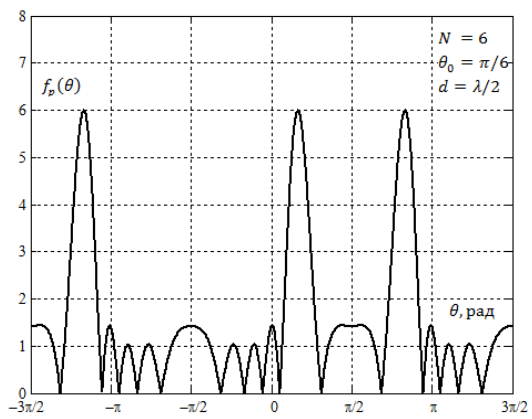


Рис. 3. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

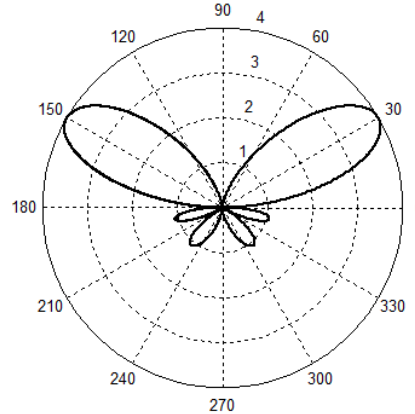
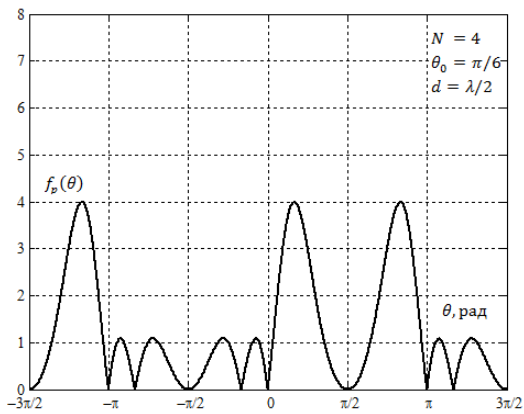


Рис. 4. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

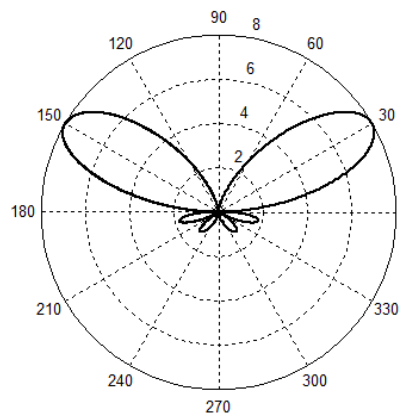
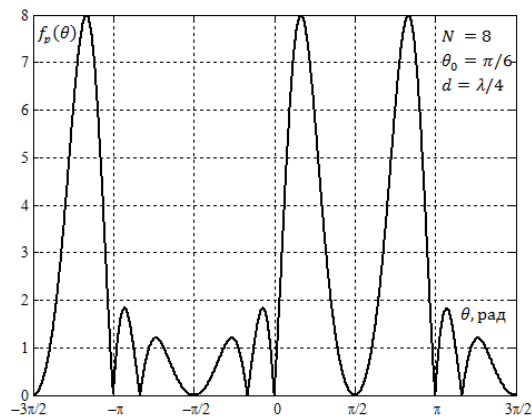


Рис. 5. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

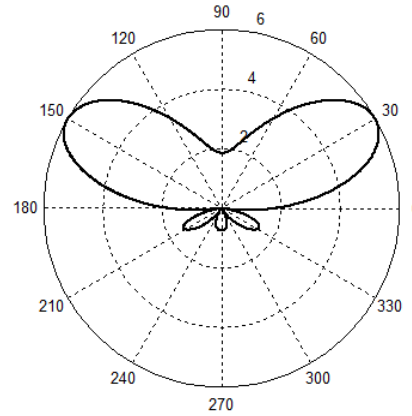
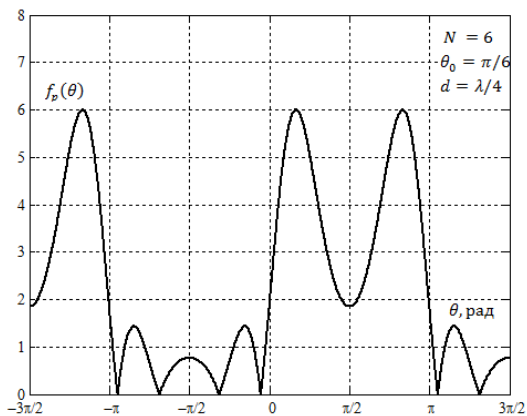


Рис. 6. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

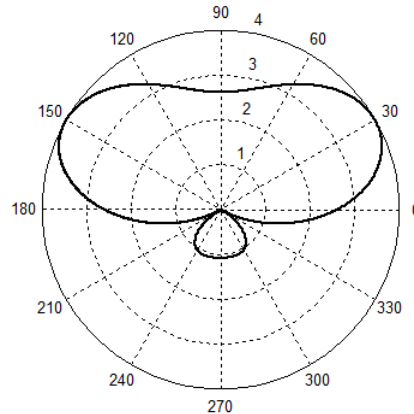
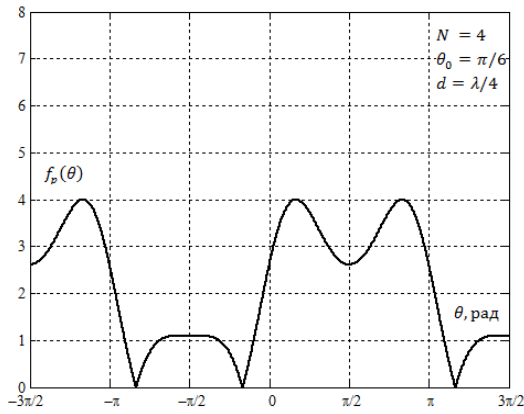


Рис. 7. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

Розглянемо систему з двох півхвильових вібраторів, розмічених вертикально і рознесених на відстань $d = \lambda/4$. Перший є антеною A , а другий активним рефлектором R (рис. 8). Струм рефлектора випереджає по фазі струм антени на 90° .

Оскільки в горизонтальній площині кожен з вібраторів ненаправлений, то ДН системи в цій площині визначається тільки множителем решітки

$$f(\varphi) = f_p(\varphi) = \frac{\sin[0,5 \cdot N \cdot (k \cdot d \cdot \sin \varphi - \Delta\psi)]}{\sin[0,5 \cdot (k \cdot d \cdot \sin \varphi - \Delta\psi)]} \quad (4)$$

В середовищі MATLAB начало полярної системи координат зміщено на 90° .

На рис. 8 представлена ДН системи $A - R$ в горизонтальній площині (H -площини).

$N = 2, d = \lambda/4, \Delta\psi = \pi/2 :$

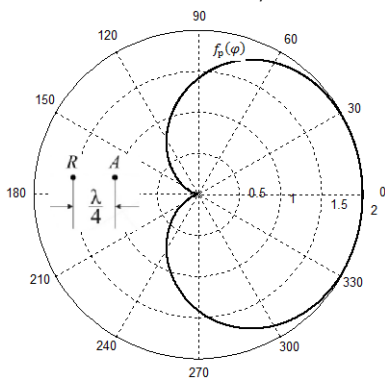


Рис. 8. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 2$

$N = 4, d = \lambda/4, \Delta\psi = \pi/2 :$

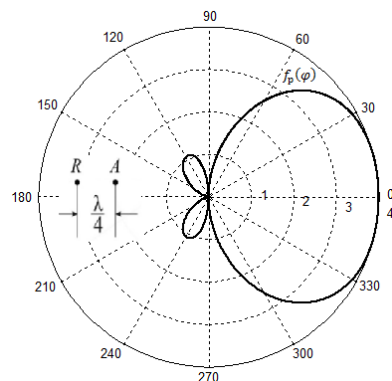


Рис. 9. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 4$

$N = 6, d = \lambda/4, \Delta\psi = \pi/2 :$

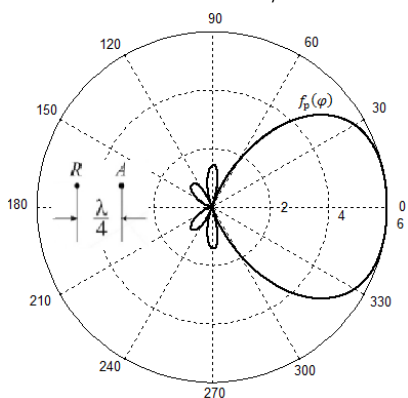


Рис. 10. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 6$

$N = 8, d = \lambda/4, \Delta\psi = \pi/2 :$

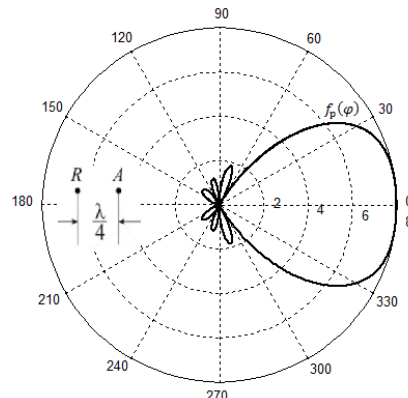


Рис. 11. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 8$

Така діаграма направленості за рівнянням (4) має форму кардіоїди. Напруженість поля у напрямі максимального випромінювання у вібратора з рефлектором удвічі більше, чим у одиничного вібратора (при однакових струмах). Це пояснюється інтерференцією полів двох джерел на лінії, що проходить через A і R , де поля мають або однакові фази, або відрізняються на 180° (залежно від напрямку).

У панельних антенах на БС мобільної мережі використовуються слабо направлені випромінювачі, а також екрани, що дозволяють надавати променю потрібний напрям.

Згідно з принципом перемножування [4], діаграма спрямованості усїєї антени дорівнює добутку діаграм спрямованості окремих складових, а саме:

$$F(\theta, \varphi) = F_1(\theta, \varphi) \cdot F_{p\phi}(\theta, \varphi) \cdot F_p(\theta, \varphi). \quad (5)$$

де $F_1(\theta, \varphi)$ – нормована діаграма направленості окремо взятого випромінювача; $F_{p\phi}(\theta, \varphi)$ - функція, що визначає вплив плоского металевго екрану (аперіодичного рефлектора); $F_p(\theta, \varphi)$ - нормований множник решітки.

У панельних антенах випромінюючими елементами зазвичай є симетричні вібратори. В якості екрану застосовується лист металу прямокутної форми, що встановлюється на відстані $d = \lambda / 4$ від решітки з випромінювачами.

Таким чином, функція (5) дає уявлення про спрямованість випромінювання антени. Окрім цього, прийнято користуватися інтегральними характеристиками спрямованості у вигляді чисел, що дістали назву коефіцієнта направленої дії (КНД) і коефіцієнта підсилення (КП) антени.

Коефіцієнтом направленої дії (D) називається число, рівне відношенню інтенсивності випромінювання в максимальному напрямі до середнього значення інтенсивності випромінювання по усіх напрямках.

Згідно з цим визначенням:

$$D = \frac{4 \cdot \pi \cdot F^2(\theta_0, \varphi_0)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F^2(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta \cdot d\varphi \cdot d\theta}, \quad (6)$$

де θ_0 і φ_0 – кути, що характеризують напрям, в якому визначається D .

Під КНД і КП розуміють їх максимальні значення, що відповідають напрямку головного максимуму ДН антени.

Таким чином, справедлива рівність:

$$D(\theta, \varphi) = D \cdot F^2(\theta, \varphi) \quad (7)$$

$$G(\theta, \varphi) = \eta \cdot D(\theta, \varphi), \quad (8)$$

де D – максимальне значення КНД; $G(\theta, \varphi)$ – коефіцієнт підсилення антени; η – коефіцієнт корисної дії антени. Часто КНД виражають в децибелах

$$10 \cdot \lg D = D, \text{ дБ}. \quad (9)$$

У тому випадку, коли підінтегральна функція $F(\theta, \varphi)$ в (6) не виражається аналітично, а наводиться у вигляді графіку або має складну структуру, то інтегрування може бути виконана одним з наближених методів, що пов'язано з відомими математичними труднощами. Тому зазвичай для розрахунку КНД користуються наближеною формулою:

$$D = \frac{4 \cdot \pi}{2\Delta\theta_{0,5} \cdot 2\Delta\varphi_{0,5}}, \quad (10)$$

де $2\Delta\theta_{0,5}$ і $2\Delta\varphi_{0,5}$ – значення ширини головної пелюстки ДН в вертикальній та горизонтальній площинах відповідно по рівню половинної потужності.

Визначимо коефіцієнт направленої дії (КНД) антени БС для 3- і 6-секторних антен. Для 3-секторної антени в стандарті GSM-900 ширина променя на рівні половинної потужності складає $2\Delta\theta_{0,5} = 28^\circ$ по вертикалі і $2\Delta\varphi_{0,5} = 125^\circ$ по горизонталі. Для 6-секторної антени $2\Delta\theta_{0,5} = 28^\circ$ по вертикалі і $2\Delta\varphi_{0,5} = 65^\circ$ по горизонталі [1].

Визначимо значення кутів з градусної міри в радіану для 3-секторної антени:

$$2\Delta\theta_{0,5} = \frac{28 \cdot \pi}{180} = 0,49 \text{ рад.}$$

$$2\Delta\varphi_{0,5} = \frac{125 \cdot \pi}{180} = 2,18 \text{ рад.}$$

Для 6-секторної антени:

$$2\Delta\theta_{0,5} = \frac{28 \cdot \pi}{180} = 0,49 \text{ рад.}$$

$$2\Delta\varphi_{0,5} = \frac{65 \cdot \pi}{180} = 1,13 \text{ рад.}$$

Згідно з формули (10) для 3-секторної антени коефіцієнт направленої дії в напрямку головного максимуму дорівнює:

$$D_1 = \frac{4 \cdot \pi}{0,49 \cdot 2,18} = 11,7(10,68 \text{ дБ}).$$

Для 6-секторної антени:

$$D_2 = \frac{4 \cdot \pi}{0,49 \cdot 1,13} = 22,7(13,5 \text{ дБ}).$$

Однією з особливостей стільникових мереж рухомого радіозв'язку (СМРР), який відрізняє їх від багатьох інших систем передачі інформації по радіоканалах, є те, що СМРР можна розглядати з позиції теорії масового обслуговування. Зокрема, при проектуванні СМРР широко використовуються методи теорії розподілу інформації (теорії телетрафіку), що є добре розробленою галуззю знань [5, 6].

Розглянемо деякі положення цієї теорії, які використовуються надалі при розрахунку основних показників СМРР, пов'язаних з критеріями якості обслуговування абонентів. Головним поняттям теорії масового обслуговування є потік подій. Під потоком подій розуміють послідовність подій, які відбуваються один за іншим в деякі моменти часу. Прикладами можуть служити: потік заявок від абонентів на надання каналів зв'язку; потік відказів на обслуговування і т.д. Потік можна показати як послідовність точок $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$ на осі часу, які відповідають моментам появи подій. Типовим для системи масового обслуговування є випадковий потік заявок (викликів).

Характерними для такого потоку є три властивості: стаціонарність, ординарність і відсутність післядії.

1. Потік називається стаціонарним, якщо вірогідність попадання того або іншого числа подій на ділянку часу завдовжки τ залежить тільки від довжини ділянки і не залежить від положення цієї ділянки на осі часу.

2. Потік називається ординарним, якщо вірогідність попадання на елементарну ділянку Δt двох або більше подій дуже мала в порівнянні з вірогідністю появи однієї події.

3. Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких проміжків часу, які не перекриваються, число подій, що виявилися на одному з них, не залежить від числа подій, які з'явилися на інших.

Якщо потік подій має усі три властивості, то він називається простим або стаціонарним пуассонівським потоком. Іншими словами, при дотриманні трьох умов число подій, що потрапляють на будь-який фіксований інтервал часу, буде розподілено за законом Пуассона.

Прийнято вважати, що потік викликів в стільниковій мережі є простим. Введемо довільний інтервал часу t (година). Число викликів, що потрапляють на інтервал t розподілене за законом Пуассона з математичним очікуванням :

$$a = \lambda \cdot t, \quad (11)$$

де λ – середнє число викликів, які припадають на одиницю часу. Таким чином, частота надходження викликів - це дискретна випадкова величина X , яка може набувати значень $0, 1, 2, \dots, k, \dots$. Ймовірність того, що за час t поступить рівно k викликів, визначається по формулі Пуассона:

$$P(X = k) = P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (12)$$

Розглянемо на прикладі стандартів GSM (Global System for Mobile Communications) і CDMA (Code Division Multiple Access) інтенсивність надходження викликів від будь-якого абонента мережі. В стандарті GSM-1800 базова станція може приймати до 374-абонентів, а CDMA до 1000-абонентів [2, 3].

Знайдемо ймовірність того, що за годину зателефонують від 2 до 8 абонентів для загальної кількості абонентів в стільнику 200, 300, 374 для стандарту GSM і від 8 до 16 абонентів для загальної кількості абонентів в стільнику 600, 800, 1000 стандарту CDMA.

Визначимо інтенсивність сумарного потоку викликів:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda \cdot N_{аб}. \quad (13)$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 200$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0,01 \cdot 200 = 2 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_2(t) = \frac{2^2}{2!} e^{-2} = 0,271. \quad P_4(t) = \frac{2^4}{4!} e^{-2} = 0,09. \quad P_6(t) = \frac{2^6}{6!} e^{-2} = 0,012. \quad P_8(t) = \frac{2^8}{8!} e^{-2} = 0,00086.$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 300$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0,01 \cdot 300 = 3 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_2(t) = \frac{3^2}{2!} e^{-3} = 0,224. \quad P_4(t) = \frac{3^4}{4!} e^{-3} = 0,168. \quad P_6(t) = \frac{3^6}{6!} e^{-3} = 0,05. \quad P_8(t) = \frac{3^8}{8!} e^{-3} = 0,0081.$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 374$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 374 = 3.74 \frac{\text{викл}}{\text{год}}$$

$$P_2(t) = \frac{3.74^2}{2!} e^{-3.74} = 0,166. \quad P_4(t) = \frac{3.74^4}{4!} e^{-3.74} = 0,19. \quad P_6(t) = \frac{3.74^6}{6!} e^{-3.74} = 0,09.$$

$$P_8(t) = \frac{3.74^8}{8!} e^{-3.74} = 0,023.$$

Таблиця 1

Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту GSM-1800

Кількість викликів, k	Ймовірність надходження викликів		
	$N_{аб} = 200$	$N_{аб} = 300$	$N_{аб} = 374$
2	0,271	0,224	0,166
4	0,09	0,168	0,19
6	0,012	0,05	0,09
8	0,00086	0,0081	0,023

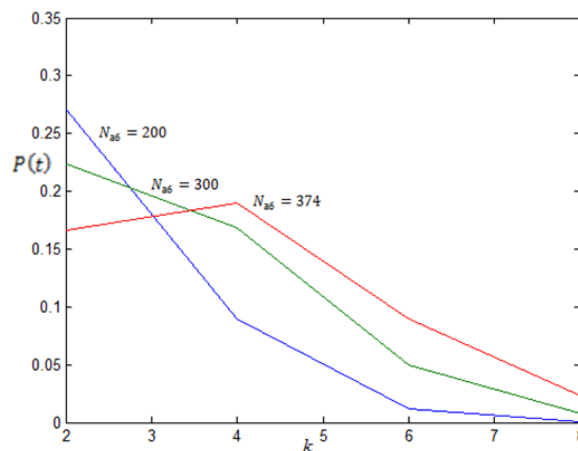


Рис.12. Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту GSM-1800

Стандарт CDMA при $N_{аб} = 600$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 600 = 6 \frac{\text{викл}}{\text{год}}$$

$$P_8(t) = \frac{6^8}{8!} e^{-6} = 0,103. \quad P_{10}(t) = \frac{6^{10}}{10!} e^{-6} = 0,041. \quad P_{12}(t) = \frac{6^{12}}{12!} e^{-6} = 0,011.$$

$$P_{14}(t) = \frac{6^{14}}{14!} e^{-6} = 0,002. \quad P_{16}(t) = \frac{6^{16}}{16!} e^{-6} = 0,0003.$$

Стандарт CDMA при $N_{аб} = 800$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 800 = 8 \frac{\text{викл}}{\text{год}}$$

$$P_8(t) = \frac{8^8}{8!} e^{-8} = 0,14. \quad P_{10}(t) = \frac{8^{10}}{10!} e^{-8} = 0,099. \quad P_{12}(t) = \frac{8^{12}}{12!} e^{-8} = 0,048.$$

$$P_{14}(t) = \frac{8^{14}}{14!} e^{-8} = 0,016. \quad P_{16}(t) = \frac{8^{16}}{16!} e^{-8} = 0,005.$$

Стандарт CDMA при $N_{аб} = 1000$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 1000 = 10 \frac{\text{викл}}{\text{год}}$$

$$P_8(t) = \frac{10^8}{8!} e^{-10} = 0,113. \quad P_{10}(t) = \frac{10^{10}}{10!} e^{-10} = 0,125. \quad P_{12}(t) = \frac{10^{12}}{12!} e^{-10} = 0,095.$$

$$P_{14}(t) = \frac{10^{14}}{14!} e^{-10} = 0,052. \quad P_{16}(t) = \frac{10^{16}}{16!} e^{-10} = 0,022.$$

**Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує
фіксована кількість абонентів стандарту CDMA**

Кількість викликів, k	Ймовірність поступлення викликів		
	$N_{аб} = 600$	$N_{аб} = 800$	$N_{аб} = 1000$
8	0,103	0,14	0,113
10	0,041	0,099	0,125
12	0,011	0,048	0,095
14	0,002	0,016	0,052
16	0,0003	0,005	0,022

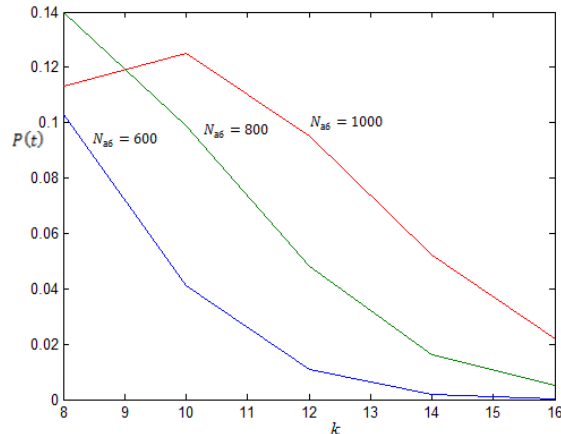


Рис.12. Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту CDMA

Висновки

При збільшенні кількості одиночних вібраторів лінійної антенної решітки з $N=4$ до $N=8$ для $d = \lambda/2$ та $N=4$ до $N=8$ для $d = \lambda/4$ дальність максимального випромінювання зростає в двічі, а ширина діаграми направленості зменшиться в тричі.

Проте при однаковій кількості одиночних вібраторів ($N=8$) площа покриття стільника антенною решіткою при $d = \lambda/4$ базової станції буде в тричі більша ніж антенною решіткою при $d = \lambda/2$.

Для забезпечення максимального покриття стільника по дальності економічно вигідно використовувати лінійні антенні решітки базових станцій з кількості одиночних вібраторів не менше $N=8$ та відстанню між ними $d = \lambda/4$.

Коефіцієнт направленої дії для 6-секторної антени базової станції складає 13,5 дБ (22,7 раз), а для 3-секторної антени складає 10,68 дБ (11,7 раз). Тобто використання 6-секторної антени збільшує потужність сигналу P_c в напрямку максимуму головного пелюстка, тим самим збільшує радіус дії комірки (зону покриття базової станції). Середнє значення потужності сигналу $P_{ср.с}$ в інших напрямках зменшується, що буде створювати менший рівень завад на сусідні спільно-каналні комірки відповідного кластеру.

За максимальної кількості абонентів в стільнику ($N_{аб}=374$) стандарту GSM-1800 при кількості викликів від 2-х до 8-и абонентів за годину ймовірність виклику буде складати 0,166-0,023. А для стандарту CDMA при максимальній кількості абонентів в стільнику ($N_{аб}=1000$) при кількості викликів 8-и до 16-и за годину буде складати 0,113-0,022. Тобто ефективність використання стандарту CDMA, щодо телетрафіку буде кращий ніж стандарту GSM-1800.

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
2. http://cdma-mobile.net/pages/page_66/
3. <http://www.tehcom.com/Technologies/GSM/GSM.htm>
4. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства : учеб. пособие для вузов связи / Фрадин А.З. – М. : Связь, 1977. – 440 с.
5. Маковеева М.М. Системы связи с подвижными объектами / Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
6. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / Попов В.И. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 296 с.

Рецензія/Peer review : 22.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк