

АНТЕНИ ТА МІКРОХВИЛЬОВА ТЕХНІКА

УДК 621.396

В. О. Пелішок, Є. М. Черніхівський
Національний університет “Львівська політехніка”

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СКАНУЮЧИХ АНТЕН НА БАЗІ ЛІНІЙНИХ РЕШТОК

© Пелішок В. О., Черніхівський Є.М., 2017

Виконано моделювання лінійних антенних решіток, що забезпечують сканування напрямку головної пелюстки в одній з площин. Показано, що у разі зміни напрямку випромінювання суттєво змінюється значення коефіцієнта спрямованої дії антени. Розглянуто причини виникнення вказаного недоліку та запропоновано способи його усунення, захищені запропонованими патентами.

Ключові слова: ефективність антен, Matlab, патенти.

V. Pelishok, Ye. Chernykhivskyy
Lviv Polytechnic National University

MODELING AND INCREASING THE EFFICIENCY OF SCANNING ANTENNAS ON THE LINEAR ARRAYS BASIS

© Pelishok V., Chernykhivskyy Ye., 2017

The modeling of linear antenna arrays, which ensure scanning of the direction of the main petal in one of the planes, has been conducted. It has been shown that when changing the direction of their radiation, the value of the coefficient directional antenna action substantially changes. The causes of the specified disadvantage occurrence have been reviewed and the ways of eliminating, which are protected by the proposed patents, have been depicted.

In a scanning antenna on the basis of antenna arrays for any direction of the main petal are used N radiators. For a normalized, relative to the wavelength, distance between them must be satisfied the condition $dn < 0.5$. This provides one main petal diagram for all directions of scanning: from the axial – directed along the antenna array axis; to the transverse – directed normal to its axis. But when the direction of the main petal from the axial to the transverse is changed, the directional action of the antenna is reduced by almost twice, which causes the deterioration of the indicators of the radio communication system.

The essence of increasing the efficiency of scanning antennas is to eliminate this disadvantage and is based on the proposed patents. Antenna array, with a pair N , is supplemented by additional $N / 2$ analogue emitters. The normalized distance between them increases to $2dn$. The main emitters are used at axial radiation. But for transverse – only $N / 2$ main emitters with odd numbers are used and all $N / 2$ additional. The normalized distance between the selected emitters is $2dn$. It is shown that for transverse radiation it is possible to increase the normalized distance by two times, and the directional action coefficient is almost the same as in the case of axial radiation.

Key words: efficiency of the antennas, Matlab, patents.

Вступ

У сучасних системах радіозв'язку значний практичний інтерес становлять антени, що забезпечують сканування напрямку головної пелюстки (ГП). Таке сканування можна здійснювати як електромеханічним способом, так і електричним. Переваги останнього очевидні, причому він здійснюється зміною струмів або напруг на елементах антенної решітки (АР).

Якщо напрям ГП змінюється вздовж однієї кутової координати, то наявне одновимірне сканування. В такому випадку досить використовувати лінійні АР. Аналогічно, у разі зміни напрямку вздовж двох кутових координат сканування двовимірне, а це потребує застосування поверхневих АР.

Найширше використовують АР, в яких сканування здійснюється зміною фазових співвідношень на їх елементах (ФАР). Також сканування може здійснюватись зміною частоти, що застосовується рідше.

Але під час моделювання скануючих антен, поряд з їх беззаперечними перевагами, виявляється низка істотних недоліків. Далі в роботі розглянуто вказані недоліки та запропоновано способи їх усунення, що забезпечує підвищення ефективності скануючих антен.

Моделювання скануючих антен

Моделювання зручно здійснювати з використанням системи Matlab, особливо після розроблення спеціалізованого пакета розширення AntennaToolbox [1]. На рис. 1 наведено приклад АР (еквідистантної, рівноамплітудної, лінійнофазової).

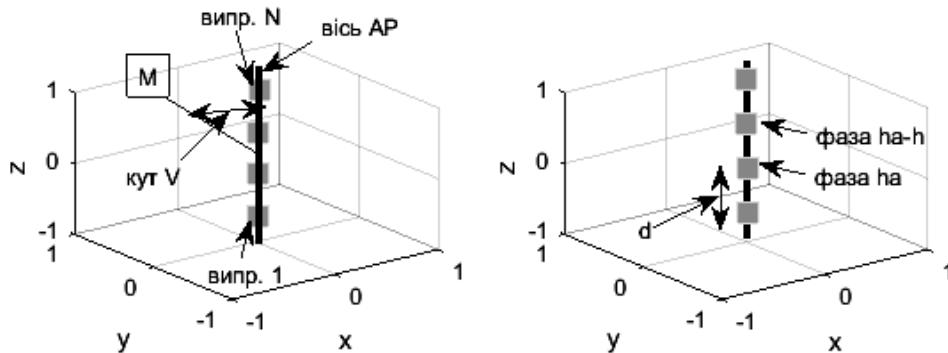


Рис. 1. Будова прямолінійної АР, що містить N випромінювачів

Нормована (відносно максимального значення) діаграма спрямованості (ДС) для АР визначається так [2]

$$F_r = F_e F_m = \sin(u) / [N \sin(u/N)], \quad (1)$$

де F_r , F_e , F_m – нормована ДС АР, випромінювача та множника АР, відповідно; $dn = d/\lambda$; λ – довжина хвилі; $hn = h/2\pi$; $u = N\pi dn(\cos(\theta) - \cos(\theta_{гол}))$; $hn = d \cos(\theta_{гол})$; θ – кут сферичної системи координат (на рис. 1 $v = \theta$).

Саме вплив множника АР дає змогу на основі простих випромінювачів, з їхніми недоліками, отримати істотно кращі характеристики результуючої ДСАР. Змінюючи дистанційно параметр hn , можна змінювати напрям ГП (рис. 2).

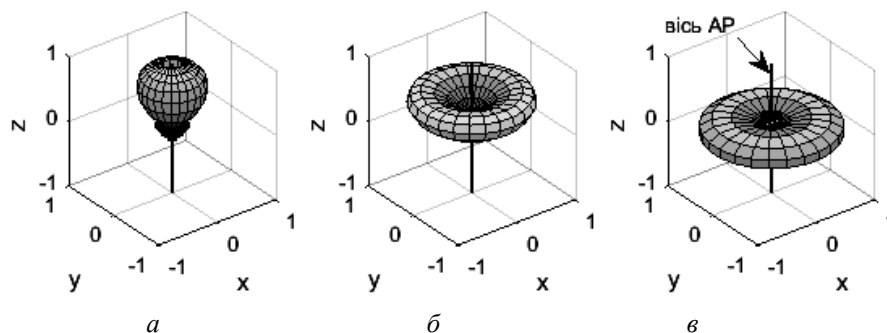


Рис. 2. ДС для $F_m(N=6; dn=0.3)$ у сферичній системі за напрямом ГП: осьового, $\theta_{гол}=0^\circ$ (а); нахиленого $\theta_{гол}=60^\circ$ (б); поперечного $\theta_{гол}=90^\circ$ (в)

Примітка. Отримано з використанням лістингу програми

```

figure('Color','w'); N=6; dn=0.3;
for k=[1,2,3]; subplot(2,3, k);
if k==1; vm=0;
elseif k==2; vm=60;
else vm=90; end
gar=0; gbr=2*pi; var=0; vbr=pi; n=25; vmr=vm.*pi/180; h1=cos(vmr);
[g, v] = meshgrid(gar:(gbr-gar)/n; gbr, var:(vbr-var)/n; vbr);
u=pi*N*dn.*(cos(v)-h1); a1=abs(sin(u)./(N.*sin(u./N))); fn=abs(a1);
x=fn.*sin(v).*cos(g); y=fn.*sin(v).*sin(g); z=fn.*cos(v); surf(x, y, z); gridon;
holdon; t = -1:0.01:1; plot3(t./t-1, t./t-1, t,'LineWidth',2);
axis([-1 1 -1 1 -1 1]); xlabel('x'); ylabel('y'); zlabel('z'); end;

```

Отже, розглянуті АР (рис. 1) можна використовувати як скануючі антени. Нижче розглянуто сканування, яке забезпечує АР (рис. 3).

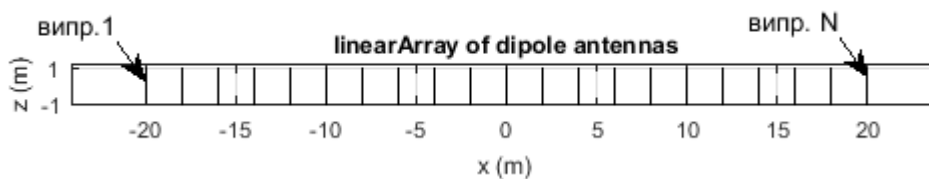


Рис. 3. Прямолинійна АР, $N=21$

Примітка. Отримано з використанням лістингу програми

```

la = linearArray;
la.NumElements = 21;
show (la)

```

Результати сканування (рис. 4) наведено для трьох фазових зсувів.

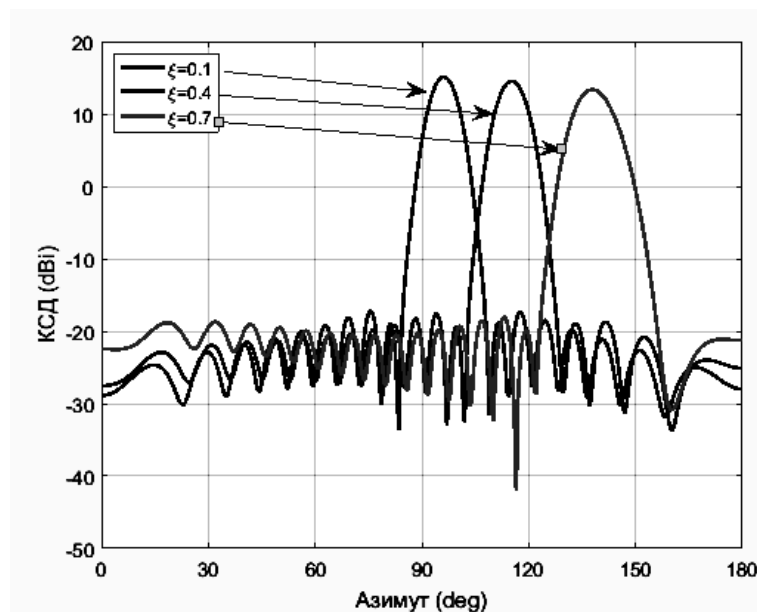


Рис. 4. Сканування, отримане зсувом фаз між елементами АР

Примітка. Одержано з використанням лістингу програми

```

la=linearArray;
la.NumElements=21; L=la.ElementSpacing*(la.NumElements -1);
for i=1: la.NumElements
x(i)=-L/2+la.ElementSpacing*(i-1);

```

```

end
delta=0.7; xi=[0.1,0.4,0.7]; I=1+delta*cos(2*pi*x/L);
la.AmplitudeTaper=I; lambda=la.Element.Length*2; k=2*pi/lambda;
for i=1: numel(xi)
    PS(i,:)=xi(i)*k*(-L)/2; xi(i)*k*la.ElementSpacing; xi(i)*k*(L)/2;
    la.PhaseShift=rad2deg(PS(i,:));
    P(i,:)=pattern(la,70e6,0:0.5:180,0,'CoordinateSystem','rectangular');
end
plot(0:0.5:180, P(1,:), 'DisplayName','P1','LineWidth',2); holdon;
plot(0:0.5:180, P(2,:), 'DisplayName','P2','LineWidth',2);
plot(0:0.5:180, P(3,:), 'DisplayName','P3','LineWidth',2); holdoff;
xlabel('Азимут (deg)'); ylabel('КСД (dBi)'); gridon;
legend('\xi=0.1', '\xi=0.4', '\xi=0.7', 'Location','best');
axes=gca; axes.XLim=[0 180]; axes.XTick=0:30:180;

```

На основі результатів (рис. 4 та аналогічних) можна детальніше дослідити особливості скануючих антен.

Але при цьому проявляється їх основний недолік [3, 4]: у разі зміни напрямку ГП від осьового до поперечного (рис. 2) також істотно зменшується значення коефіцієнта спрямованої дії (КСД) антени. Таке зменшення спричиняє погіршення показників системи радіозв'язку.

Підвищення ефективності скануючих антен

Далі розглянуто причини виникнення вказаного недоліку та запропоновано способи його усунення. У таблиці наведено деякі відмінності для множника АР залежно від напрямку ГП.

Множник АР залежно від напрямку ГП

Характеристика/випромінювання	Осьове	Поперечне
КСД, D_0	$4Ndn$	$2Ndn$
Умова наявності єдиної ГП	$dn < 0.5$	$dn < 1$

Видно, що за вибраних значень параметрів N , dn для поперечного випромінювання КСД АР зменшується удвічі порівняно з осьовим. Але для поперечного випромінювання наявний додатковий резерв: можна збільшити значення dn удвічі, порівняно з осьовим, та забезпечити в цьому випадку також значення $КСД = 4Ndn$ ($2N \cdot 2dn$), тобто аналогічне осьовому випромінюванню. Отже, необхідно вирішити одне непросте завдання: як збільшити віддаль dn удвічі лише для поперечного випромінювання?

Запропонований метод [5] вирішує вказану проблему в скануючих передавальних АР, здійснюючи їх незначне ускладнення з двох частин. Перша частина полягає в тому, що до використовуваної АР, яка містить N випромінювачів, вздовж її осі додатково встановлюють не більше ніж $N/2$ аналогічних випромінювачів (рис. 5).

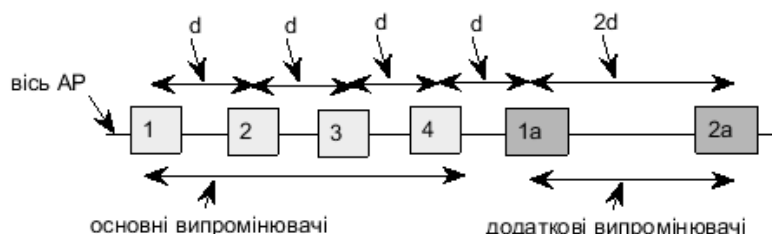


Рис. 5. АР ($N=4$), ускладнена додатковими випромінювачами ($N_a=N/2=2$)

Наприклад, для АР з $N=4$, додатково встановлено $N_a=2$ ідентичні додаткові випромінювачі. Але віддаль між додатковими випромінювачами в два рази більша, порівняно з віддаллю між основними випромінювачами.

Друга частина ускладнення полягає в тому, що АР підключається до передавача через комутуючий пристрій (рис. 6).

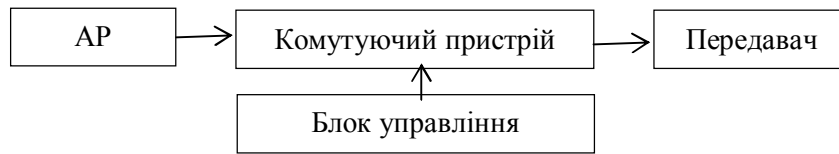


Рис. 6. Підключення ускладненої АР через комутуючий пристрій

З блока управління подаються команди про те, які випромінювачі АР необхідно підключити до передавача.

У разі використання запропонованого способу усувається вищевказаний недолік адаптивних передавальних антен. Наприклад, якщо необхідно забезпечити осьове випромінювання, підключають основні випромінювачі. Для них вибрана така віддаль d , нормоване значення якої $dn < 0.5$, що задовольняє необхідні умови (див. таблицю). У випадку забезпечення поперечного випромінювання також під'єднують чотири випромінювачі. Два з них (перший та третій основні), а решта додаткові. В цьому випадку віддаль між вибраними випромінювачами удвічі більша, порівняно з осьовим випромінюванням. Збільшена віддаль dn також задовольняє необхідні вимоги (див. таблицю), але дає змогу збільшити значення КСД удвічі. Отже, усунуто основний недолік адаптивних антен – у разі зміни напрямку ГП від осьового випромінювання до поперечного КСД практично не зменшується.

Варто зауважити, що майже аналогічний спосіб запропоновано [6] використовувати в адаптивних приймальних антенах. При цьому також прийнятий сигнал практично не змінюється – як для осьового приймання, так і для поперечного.

Залежності (див. таблицю) правильно відображають тенденцію зміни, але є приблизними. Точніші результати для АР осьового випромінювання наведено на рис. 7.

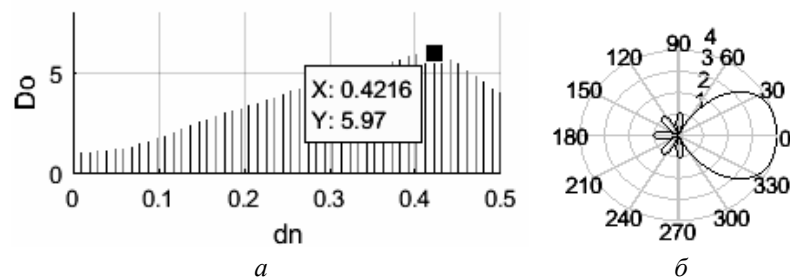


Рис. 7. АР осьового випромінювання ($N=4$): а – КСД; б – ДС

Максимальним значення КСД ($D_0=6$) буде, якщо $dn < 0.5$. Аналогічні результати (рис. 8) наведено для АР поперечного випромінювання.

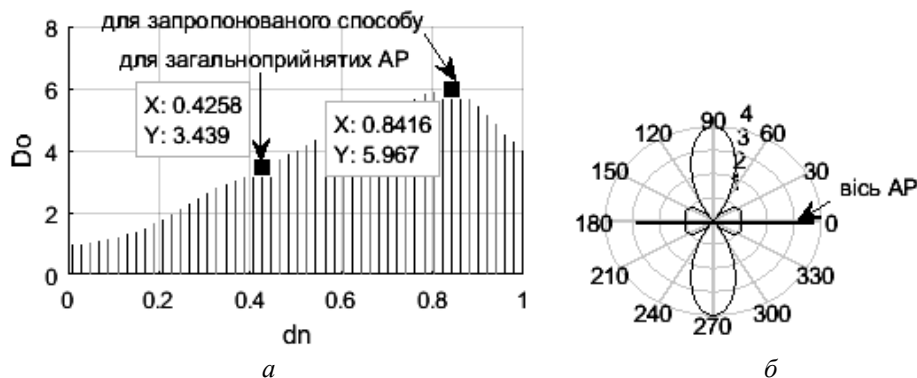


Рис. 8. АР поперечного випромінювання ($N=4$): а – КСД; б – ДС

Наведені дані підтверджують переваги запропонованого способу. В загальноприйнятих АР у разі зміни напрямку ГП від осьового до поперечного значення КСД зменшується майже удвічі (від 6 до 3.4). У разі використання запропонованого способу значення КСД залишається практично незмінним, тобто усунуто основний недолік скануючих передавальних антен.

Також становить інтерес детальніше з'ясування причин виникнення вказаного недоліку скануючих передавальних антен. КСД для АР (рис. 1)

$$D_o = \frac{2}{\int_{q=0}^{\pi} F^2(q) \sin(q) dq} \quad (2)$$

Видно, що бажане збільшення D_o забезпечується зменшенням знаменника. На рис. 9 наведено залежності для окремих складових знаменника (4).

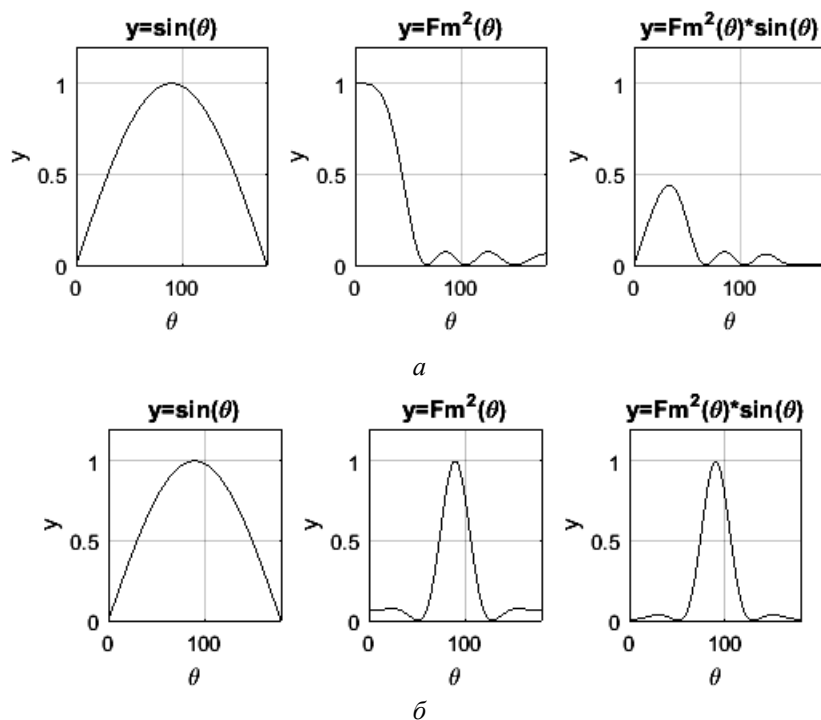


Рис. 9. Залежність складових (4) для АР ($N=4$, $dn = 0.42$):
а – осьового випромінювання; б – поперечного

Геометричний зміст означеного інтеграла становить визначення площі, обмеженої підінтегральною функцією та віссю ОХ. Отже, для зменшення такої площі необхідно, щоб функції $\sin(\theta)$ та $Fm^2(\theta)$ були наявні за різних значень кута θ . Видно (рис. 7), що така вимога краще виконується для АР осьового випромінювання, що спричиняє збільшення її КСД порівняно з АР поперечного випромінювання.

Варто зауважити, що у випадку складних функцій $Fm^2(\theta)$ визначення інтеграла (4) може становити певні проблеми. Тоді його визначення можна замінити наближеним методом: визначенням площі методом трапецій. Саме такий метод використано під час побудови залежностей (рис. 7–9).

Отже, в роботі розглянуто запропоновані способи підвищення ефективності адаптивних антен з метою виправлення їх недоліку – істотної зміни значення КСД у разі зміни напрямку ГП. Також розглянуто методи підвищення точності визначення КСД, зокрема застосування методу трапецій для аналізу АР.

Висновки

Виконано моделювання скануючих антен на основі лінійних решіток з використанням системи Matlab. Показано, що поряд із істотними перевагами, їм також притаманна низка недоліків.

Основний недолік полягає в тому, що в разі зміни напрямку ГП від осевого до поперечного істотно зменшується КСД. Таке зменшення призводить до погіршення показників систем радіозв'язку загалом.

Запропоновано метод виправлення вказаного недоліку. Він полягає в тому, що за поперечного випромінювання віддалі (близька до максимальної) між окремими випромінювачами збільшується удвічі, що недопустимо для осевого випромінювання. В результаті під час сканування КСД практично не змінюється від його максимального значення.

Вирішено проблему вказаного збільшення віддалі електричним способом. Для цього запропоновано до АР, що містить N основних випромінювачів, підключити $N/2$ додаткові випромінювачі. Серед отриманих $N + N/2$ випромінювачів завжди можна вибрати N випромінювачів з необхідною віддалю між ними: меншою – для осевого випромінювання; більшою – для поперечного випромінювання. Запропонований метод захищений патентами: одним – для передавальних антен; другим – для приймальних.

1. *Тіпикін А. А. Моделирование антенных устройств в Matlab с использованием пакета расширения Antenna Toolbox. – М: СОЛОН-Пресс, 2016. – 116 с.* 2. *Бова Н. Т., Резников Г. Б. Антенны и устройства СВЧ. – К.: Вища школа, 1982.* 3. *Вишне夫斯基 В. М., Ляхов А. Н., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.* 4. *Климаш М. М., Пелішок В. О. Проектування ефективних систем безпровідного зв'язку. – Л., 2010.* 5. *Патент України на корисну модель № 108465 від 25.07.2016, Бюл. № 14/2016, МПК H08B 7/00 “Спосіб формування вихідного сигналу адаптивної передавальної антени” / Климаш М. М., Пелішок В. О., Яремко О. М., Максимюк Т. А.* 6. *Патент України на корисну модель № 50458 від 10.06.2010, Бюл. № 11/2010, МКП H04J 13/02 “Спосіб формування вихідного сигналу адаптивних приймальних антен” / Климаш М. М., Пелішок В. О., Мухаммад Хасан Алі Самур.*

References

1. *Bova, N. and Reznikov, G. (1982), “Antennas and Devices of SFR”, High school, Kiew, K.* 2. *Klymash, M. and Pelishok, V. (2010), “The design of efficient systems is free of call”, Lviv Polytechnic Publishing, Lviv, L.* 3. *Klymash M., Pelishok V. and Muhammad Hassan Ali Samur (2010b), “Method of forming the output signal of adaptive receiving antennas”, Patent of Ukraine on the utility model № 50458, Bulletin № 11, 2010.* 4. *Klymash M., Maksymyuk T., Pelyshok V. and Yaremko O. (2016), “Method of forming an output signal of an adaptive transmit antenna”, Patent of Ukraine on the utility model № 108465, Bulletin № 14, 2016.* 5. *Tipikin A. (2016), “Simulation of antenna devices in Matlab using the Antenna Toolbox extension package”, SOLON-Press, p. 116.* 6. *Vishnevsky V., Lyakhov A., Portnoy S. and Shahnovich I. (2005), “Broadband Wireless Communication Networks”, The technosphere, Moscow, M.*