

## ШИРОКОСЕКТОРНА НИЗЬКОПРОФІЛЬНА АНТЕНА

В статті запропонована практична конструкція компактного антенного пристрою з можливістю отримання широкосекторного поля випромінювання в азимутальній площині з метою забезпечення покриття широких зон при організації мереж радіозв'язку. В основі технічного рішення лежить ідея застосування низькопрофільного випромінювача як елемента кільцевої антенної решітки для розширення його зовнішніх електричних характеристик.

**Ключові слова:** низькопрофільна антена, широкосекторна діаграма направленості, дугова антена решітка.

**Вступ.** Завдання щодо забезпечення необхідних зони покриття при організації радіозв'язку є однією з найважливіших задач, що постійно потребує в сфері антенної техніки нових технічних рішень для її вирішення.

Як відомо антенний пристрій є невід'ємним елементом всіх сьогоденних базових станцій систем радіозв'язку та є складовою частиною її антенно-фідерного пристрою. Безпосередня роль антенного пристрою, щодо забезпечення необхідної зони покриття, полягає у формуванні заданої характеристики направленості (ХН) поля випромінювання в двох основних взаємно-ортогональних площинах: азимутальній та меридіальній, а також у забезпеченні необхідного коефіцієнту підсилення. В залежності від особливостей побудови мереж радіозв'язку, висуваються жорсткі вимоги саме до антени базової станції з формування поля випромінювання, насамперед, в азимутальній площині від ненаправленого до секторного як з вертикальною так і з горизонтальною поляризацією випромінюючого поля.

**Постановка проблеми та актуальність тематики.** Практична побудова секторних, зокрема широкосекторних антен завжди викликала певні конструктивні труднощі, рішення яких в кінцевому етапі приводило до ускладнення конструкції антенного пристрою, що в свою чергу негативно відображалось не лише на масогабаритних показниках та компактності, а й на надійності роботи в цілому. Тому питання, що пов'язані із розробкою компактних та простих конструктивних рішень антенного пристрою чи модернізації вже існуючих завжди мають практичну цінність та є актуальними в наш час.

**Огляд останніх досліджень.** В метровому та дециметровому діапазонах довжин хвиль для формування секторного поля випромінювання переважно застосовуються вібраторні антени та антенні решітки на їх основі. Конструктивно антенні решітки вібраторного типу виконані у вигляді набору симетричних вібраторів, розташованих над циліндричною поверхнею (трубою) або над плоским екраном (панельні). На рис. 1 подано практичні конструкції вібраторних антен що дають змогу формувати секторне поле випромінювання.

Найбільш широкі функціональні можливості в плані формування заданих ХН в азимутальній площині можуть забезпечити антенні решітки, які виконані у вигляді симетричного вібратора розташованого над циліндричною поверхнею (трубою) рис. 1 а. Зовнішні характеристики таких антен визначаються наступними параметрами: відношеннями  $a/\lambda$  та  $h/\lambda$ , де  $a$  – радіус труби,  $h$  – відстань до неї випромінюючого елемента  $\lambda$  - довжина хвилі, а також від типу самого випромінюючого елемента.

На рис. 2 подано деякі можливі варіанти формування діаграми направленості (ДН) в азимутальній площині за допомогою напівхвильового симетричного вібратора розташованого над трубою.

Як видно з графіків така конструкція дає змогу отримати достатньо широкосекторні ДН. Проте, межі в яких можливе отримання широкого сектору без значного зменшення нерівномірності ДН та збільшення розмірів конструкції не значні.

Реалізація секторного поля випромінювання за допомогою антенних решіток вібраторного типу у верхній частині дециметрового діапазону довжин хвиль ускладнена, перш за все, при виготовленні конструкції антени, тому дані антенні решітки будують над плоскою поверхнею – панельні антени (рис. 1 д, е). Загальне число моделей панельних антен досягає 200 [1].

Моделі розрізняються шириною ДН в горизонтальній площині (65, 90, 105 або 120 градусів), коефіцієнтом підсилення (6,5...18,5 dBi) і величиною потужності, що підводиться.

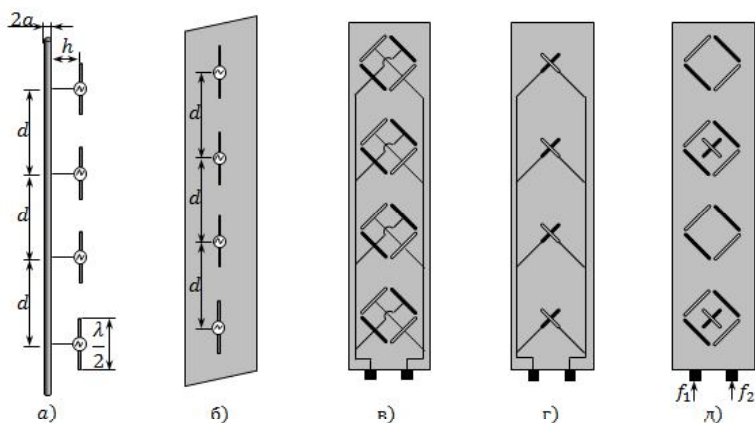


Рис. 1. Конструктивне виконання антенних решіток вібраторного типу (а – над трубою; б – з плоским екраном; в, г – кросполяризаційні; д – двохчастотна)

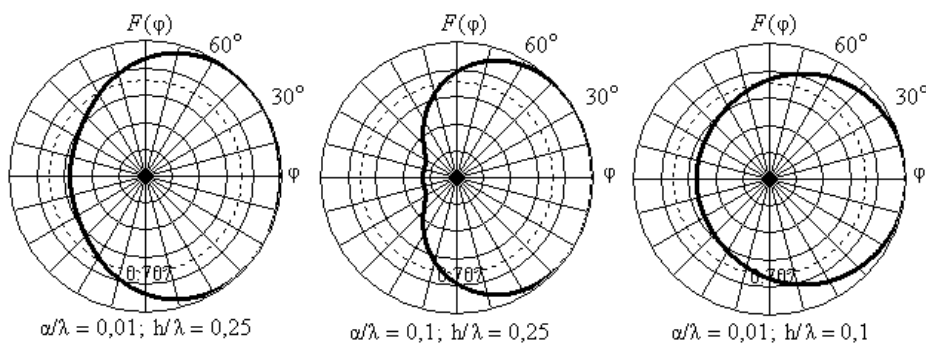


Рис. 2. ДН симетричного вібратора розташованого над трубою

**Постановка задачі та мети дослідження.** Таким чином, вище згадані конструктивні рішення застосування вібраторних антен, хоч і дають можливість формувати як секторне так і широкосекторне поле випромінювання в азимутальній площині, проте це досягається шляхом ускладнення конструкції та збільшення розмірів антенного пристрою. Рішення даної задачі є важливим завданням антенної техніки сьогодення та є основною метою даної роботи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним з напрямків розвитку антенної техніки, щодо побудови антенних пристроїв, є використання в якості елементів антенної решітки низькопрофільних випромінювачів. Такі антени є простими у виготовленні, мають велику стабільність параметрів і жорстку конструкцію, можуть працювати як з лінійною так і круговою поляризацією поля.

Конструктивно низькопрофільна антена (НПА) являє собою дві металеві пластини рознесених між собою на відстань  $d \ll \lambda$  (рис. 3 а), одна з яких виконує функцію екрана, друга, певних розмірів, є випромінюючим елементом (ВЕ). В просторі між пластинами розміщується вузол збудження електромагнітних хвиль. На практиці найбільш широкого застосування набули НПА з простою формою верхньої пластини (випромінюючого елемента): прямокутною, квадратною та круговою. За рахунок введення діелектричного матеріалу в простір між пластинами, розмір випромінювача можна зменшити в  $\sqrt{\epsilon'}$  раз, де  $\epsilon'$  – відносна діелектрична проникність височастотного діелектрика [2].

НПА успішно можуть бути використані в якості ВЕ в панельних антенах. На рис. 4 подано реалізація панельних антен на основі низькопрофільних випромінювачів.

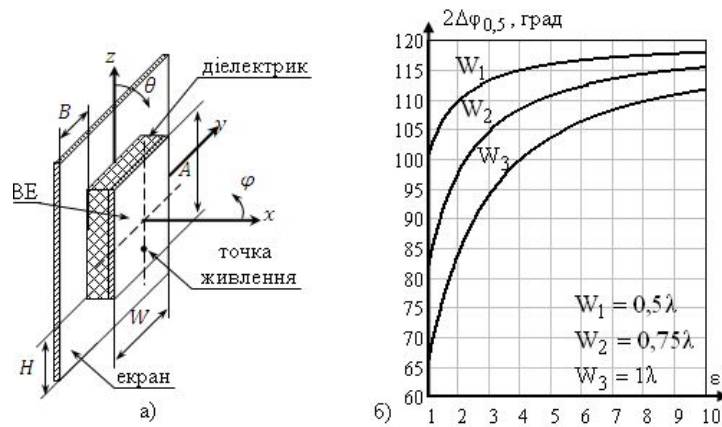


Рис. 3. Конструкція низькопрофільної антени з квадратним ВЕ (а – основні геометричні розміри; б – залежність ширини ДН в площині вектора  $H$  від  $\epsilon'$ )

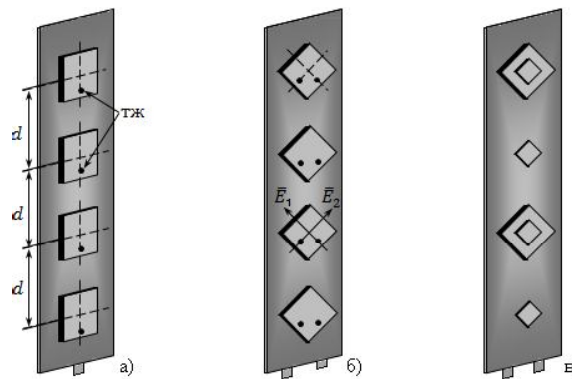


Рис. 4. Приклад побудови панельних антен на основі низькопрофільних випромінювачів (а – лінійно поляризована; б – кросполяризаційна; в – двохчастотна)

Зовнішні електричні характеристики НПА визначаються формою випромінюючого елемента та застосуванням діелектричним матеріалом. На рис. 5 подано діаграми направленості НПА антени з квадратним випромінюючим елементом (рис. 4 а) в двох ортогональних площинах: в площині вектора  $\vec{E}$  ( $\varphi = 0$ ) і в площині вектора  $\vec{H}$  ( $\theta = \pi/2$ ).

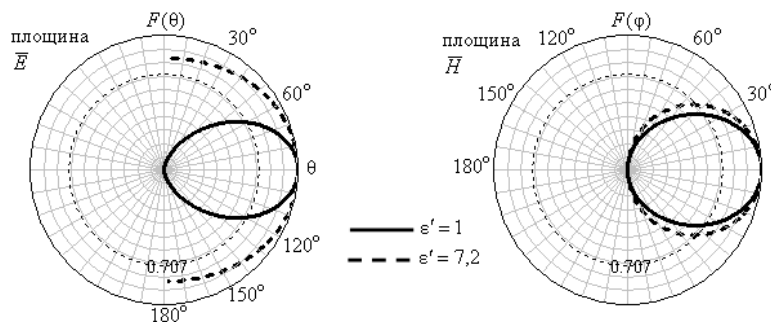


Рис. 5. Вплив матеріалу діелектрика на ширину ДН НПА з квадратним ВЕ.

Як видно з графіків при  $\epsilon' \neq 1$  направлені властивості суттєво змінюються лише в площині вектора  $\vec{E}$ . Так, наприклад, при  $\epsilon' = 1$  в площині вектора  $\vec{E}$  ширина ДН складає  $60^\circ$ , а в площині  $\vec{H}$  дорівнює  $70^\circ$ . При діелектричному матеріалі в НПА з  $\epsilon' = 7,2$ , ширина ДН в площині  $\vec{E}$  становиться напівсферичною, а в площині вектора  $\vec{H}$  збільшується на  $20^\circ$  і складає приблизно  $90^\circ$ . Наглядний вплив матеріалу діелектрика на ширину ДН демонструє графік на рис. 3 б.

Таким чином, застосування в антенній решітці ВЕ у вигляді НПА не дозволяє реалізувати ширину ДН більше  $90^\circ$ , а відповідно і забезпечити широкий сектор покриття.

**Основні аналітичні викладки.** З метою розширення меж НПА, в плані формування поля випромінювання з шириною сектору в азимутальній площині понад  $90^\circ$ , пропонується застосувати двоелементну дугову антенну решітку представлену на рис. 6, де введені наступні позначення:  $2W = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon'}$  – ширина ВЕ,  $0 \leq B \leq \lambda_0 / 4$  – розмір екрану в площині вектора  $\vec{H}$ ,  $H = \lambda_0 / 4$  – розмір екрану в площині вектора  $\vec{E}$   $\gamma$  – кут згину,  $\alpha$  – кут між ВЕ,  $R$  – радіус вписаного кола.

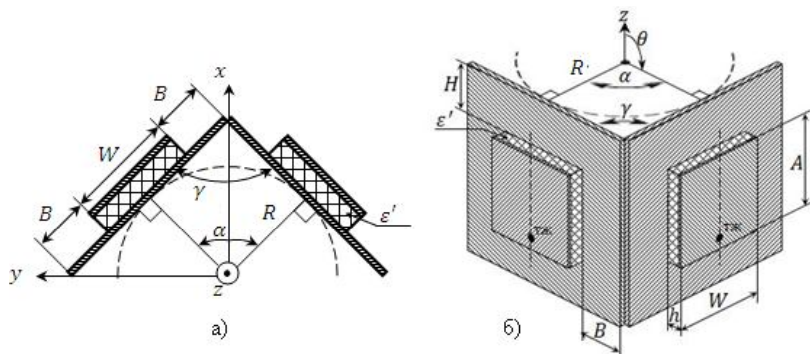


Рис.6. Дугова антенна решітка на основі двох низькопрофільних випромінювачів (а – вигляд зверху; б – загальний вигляд конструкції)

Геометричні розміри запропонованого антенного пристрою можливо додатково зменшити взявши розмір екрану  $B=0$ , що теоретично не повинно привести до зміни ширини ДН окремого низькопрофільного випромінювача в площині  $\vec{H}$ , оскільки сторони  $A$  не приймають участі у формуванні поля в даній площині.

Згідно теорії про кільцеві антенні решітки розрахунок ХН такого типу антени можна здійснити за формулою [3]:

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N f_0(\theta, \varphi - \varphi_i) e^{ikR \cos(\varphi - \varphi_i) \sin \theta}, \quad (1)$$

де:  $f(\theta, \varphi)$  – ХН кільцевої решітки;  $f_0(\theta, \varphi - \varphi_i)$  – ХН окремого випромінювача із врахуванням його кутового розміщення  $\varphi_i$ ;  $kR = 2\pi R / \lambda$  – електричний ( $R$  – геометричний) радіус решітки;  $N$  – кількість випромінювачів  $(\theta, \varphi)$  – координати сферичної системи координат.

Як відомо з публікації [4] ХН низькопрофільної антени з квадратним випромінюючим елементом може бути розрахована за формулою:

$$f(\theta, \varphi) = \cos\left(\frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon'}} \cos \theta\right) \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon'}} \sin \theta \sin \varphi\right)}{\frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon'}} \sin \theta \sin \varphi} \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \theta}. \quad (2)$$

Кутова координата  $\varphi_i$  та радіус решітки  $R$  виходячи з рис. 6 будуть визначатися виразом:

$$\varphi_i = (i-1)\alpha, \quad R = \left(\frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon'}}\right) \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (3)$$

Підставляючи отримані вирази (2) і (3) до формули (1) та розглядаючи лише азимутальну площину ( $\theta = \pi/2$ ) отримає вираз для розрахунку ХН двоелементної ( $N=2$ ) кільцевої антенної решітки побудованої на основі НПА, який має вигляд:

$$f(\varphi) = \sum_{i=0}^1 \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon'}} \sin \theta \sin \varphi\right)}{\frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon'}} \sin \theta \sin \varphi} \cos[\varphi - i\alpha] \cdot e^{ik\left(\frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon'}} + B\right) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \cos[\varphi - i\alpha]} \quad (4)$$

Відомо, що при додаванні поля в просторі для кільцевих (дугових) антенних решіток справедливе співвідношення, що об'єднує  $N$  – кількість випромінювачів,  $2\Delta\varphi_{\Sigma}^{\circ}$  – сумарну ширину ДН в азимутальній площині і  $2\Delta\varphi_{0,5}^{\circ}$  – ширину ДН одиночного випромінювача по рівню 0,5 напруженості електричного поля. Наприклад, для кільцевої антенної решітки з ненаправленим випромінюванням в азимутальній площині, тобто при  $2\Delta\varphi_{\Sigma}^{\circ} = 360^{\circ}$ , дане співвідношення має вигляд:

$$N = 360^{\circ} / 2\Delta\varphi_{0,5}^{\circ} . \quad (5)$$

Для запропонованого технічного рішення по компоновці антенної решітки відомо, що кількість випромінювачів  $N = 2$ , а ширина ДН  $2\Delta\varphi_{0,5}^{\circ} \approx 100^{\circ}..120^{\circ}$ . Відповідно така антенна в азимутальній площині здатна забезпечити сектор в  $200^{\circ}..240^{\circ}$ , тобто  $2\Delta\varphi_{\Sigma}^{\circ} \approx 200^{\circ}..240^{\circ}$ . Дані значення відповідають НПА з шириною випромінюючого елемента  $W = 0,5\lambda$ , де  $\lambda$  – робоча довжина хвилі. При  $W = (0,75..1)\lambda$  ширина ДН в азимутальній площині теоретично може бути рівна  $2\Delta\varphi_{\Sigma}^{\circ} \approx 130^{\circ}..230^{\circ}$ .

Із конструкції секторного випромінювача (рис. 6) наглядно слідує, що кут між випромінюючими елементами  $\alpha$  залежить від  $W$  – ширини верхньої пластини та від  $\epsilon'$  – відносної діелектричної проникності діелектрика, вони суттєво впливають на геометричні розміри випромінювача в цілому, а відповідно і на його форму та ширину діаграму направленості.

Розміри такого антенного пристрою будуть тим компактніші чим меншим буде радіус  $R$  решітки та кут згину  $\gamma$ . З геометричної побудови (рис. 6) кути  $\alpha$  та  $\gamma$  є внутрішніми кутами паралелограма, сторони якого утворені екранами окремих випромінювачів та відрізками двох дотичних проведених до них з центра вписаного кола. Як відомо, сума кутів будь-якого чотирикутника дорівнює  $2\pi$  тому враховуючи, що кути при дотичних є прямими отримаємо просте співвідношення між іншими двома кутами:

$$\gamma + \alpha = \pi . \quad (6)$$

**Результати теоретичних розрахунків.** На рис. 7 подано деякі результати теоретичних розрахунків ДН за формулою (4). При розрахунках розглядалися варіанти:  $W = 0,5\lambda$ ;  $W = 0,75\lambda$ ;  $W = \lambda$  при  $B = \lambda_0 / 4$  і  $B = 0$ .

Аналізуючи результати розрахунку можна стверджувати, що запропонована конструкція антенного пристрою дає можливість розширити ширину ДН в азимутальній площині. Так одиночна НПА дає змогу реалізувати сектор покриття в межах  $70^{\circ}..90^{\circ}$ . Запропонована конструкція секторної антени дозволяє забезпечити сектор покриття  $2\Delta\varphi_{\Sigma}^{\circ} \approx 110^{\circ}..220^{\circ}$  не збільшуючи геометричні розміри антени.

Як відомо, важливим критерієм при побудові секторних антен виступає крутизна схилів її ДН. Особливо це актуально при проектуванні антенних систем для базових станцій сотових систем зв'язку [5], оскільки збільшення крутизни схилів ДН сприятиме зменшенню взаємних перешкод між сусідніми секторами в даній системі зв'язку. Конструктивне рішення АП, що було розглянуто в даній статті, дає змогу підвищити крутизну схилів його ДН за рахунок збільшення ширини  $W$  квадратного ВЕ рис. 8.

**Висновки.** Отже, застосування НПА в якості випромінюючого елемента двохелементної дугової решітки надає змогу створити компактний антенний пристрій, застосування якого розширить можливість традиційних НПА з плоским екраном в плані формування широкосекторних ДН в азимутальній площині. На відміну від симетричного вібратора розташованого над трубою, як єдиного АП, що може бути застосований в нижній частині дециметрового діапазоні довжин хвиль для формування широкосекторних ДН, практична реалізація запропонованої конструкції можлива в усьому дециметровому діапазоні довжин хвиль.

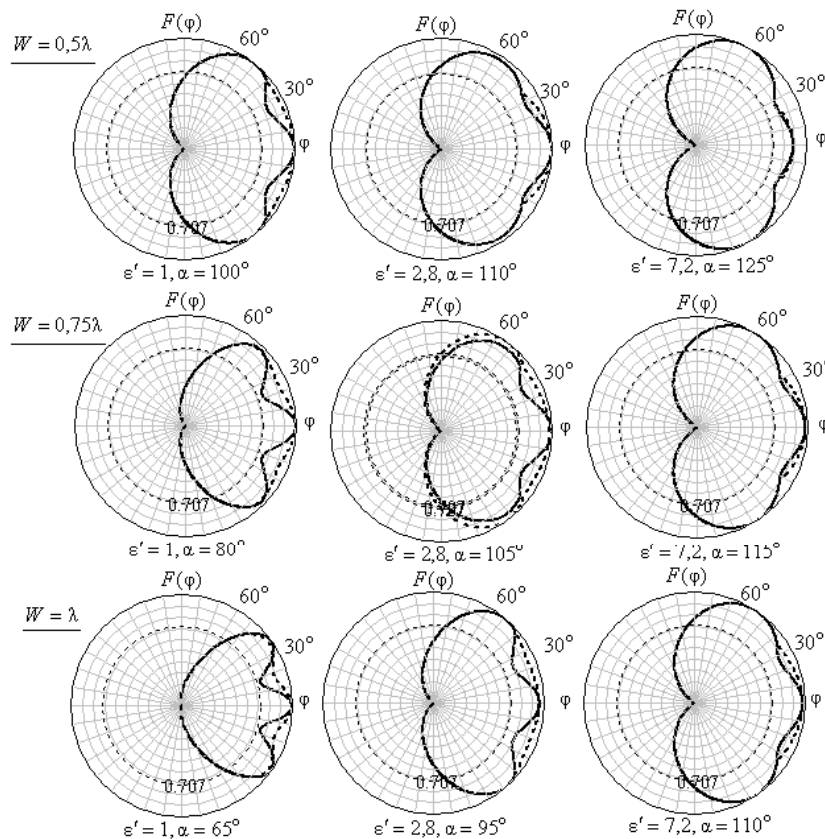


Рис. 7. ДН в площині вектора  $H$  двоелементної дугової низькопрофільної антенної решітки (суцільна лінія відповідає варіанту  $B = \lambda_0 / 4$ , пунктирна при  $B = 0$ )

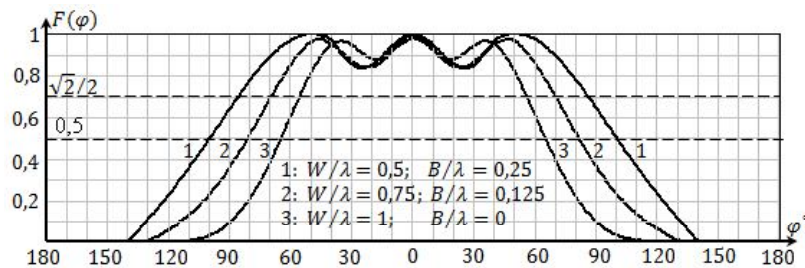


Рис. 8. Приклад збільшення крутизни схилів ДН дугової низькопрофільної антенної решітки

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бузов А.Л. Антенно-фидерные устройства систем сухопутной подвижной связи / Бузов А.Л., Казанский Л.С.; Под ред. А.Л. Бузова. М.: Радио и связь, 1997. - 150 с.
2. Ломан В.И. Микрополосковые антенные устройства / Ломан В.И., Ильинов М.Д. - М.: Зарубежная радиоэлектроника. - № 10, 1981. - С. 99 - 115 с.
3. Резников Г.Б. Антенны летательных аппаратов / Резников Г.Б. - М.: Сов. радио, 1967. - 415 с.
4. Ільїнов М.Д, Мацаєнко А.Н., Шацький І.О. Антена базової станції з секторною діаграмою направленості в азимутальній площині / Зб. наук. праць ВІПІ НТУУ «КПІ» - Київ, 2010 р, № 1.
5. Mimo and smart antennas for 3G and 4G wireless systems: Practical Aspects and Deployment Considerations, May 2010. - 135 p.

Надійшла: 08.09.2012р.

Рецензент: д.т.н., проф. Єрохін В.Ф.