

к.т.н. Ільїнов М.Д. (ВІТІ)
Бондаренко Л.О. (ВІТІ)
Лубенець О.М. (ВІТІ)
Шацкий І.О. (ВІТІ)

АНТЕННО-ФІДЕРНІ ПРИСТРОЇ РЕТРАНСЛЯТОРІВ МЕРЕЖ ТРАНКІНГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

Розглядаються питання підвищення ефективності систем транкінгового зв'язку за рахунок використання антен з поліпшеними характеристиками. Наводяться порівняння електричних характеристик різних типів антен. Пропонується вибір оптимального рішення по вибору антен для систем транкінгового зв'язку.

Ильинов М.Д, Бондаренко Л.А, Лубенець О.М. Шацкий И.О. Антенно-фидерные приборы ретрансляторов сети транкинговой связи в Вооружённых силах Украины. Рассматриваются вопросы повышения эффективности систем транкинговой связи за счет использования антенн с улучшенными характеристиками. Приводятся сравнения электрических характеристик различных типов антенн. Предлагается выбор оптимального решения по выбору антенн для систем транкинговой связи.

M. Pijinov, L. Bondarenko, O. Lybenets, I. Shatsky Antenna-feeder devices repeater network trunking communication in the Armed Forces of Ukraine. The questions how to increase efficiency of trunking communication networks are examined due to the use of antennas with the improved characteristics. Comparisons are brought over of electric characteristics of different types of antennas. The choice of optimal decision is offered on the choice of antennas for trunking communication networks.

Ключові слова: антени базових станцій, вібраторні антени, вібраторні антенні решітки, азимутальна площина.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Використання систем транкінгового зв'язку в ЗС України обумовлена оперативністю їх розгорнення та встановлення зв'язку з набором передбачених функцій, включаючи передачу даних, а також ефективним використанням частотного ресурсу, що є актуальним, з точки зору тенденції розвитку засобів та систем радіозв'язку.

Розгляд систем радіозв'язку технічно-розвинутих країн світу показує місце та роль підсистеми транкінгового зв'язку в системі радіозв'язку збройних сил та її інтеграції в загальну систему зв'язку.

Наявність значний кількості обладнання транкінгового зв'язку на рівні окремих частин та підрозділів ЗС України свідчить про необхідність підняття питання системного підходу до розгортання та використання системи транкінгового зв'язку для ЗС України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Серед основних проблемних питань забезпечення транкінгового радіозв'язку в тактичній ланці управління, при проведенні антитерористичної операції на сході України, є наступні:

обмеженість зони електромагнітного покриття ретранслятора через особливості рельєфу;

відносно невелика ефективність штатних антен;

обмеженість використання радіозасобів під час переміщення підрозділів;

ускладнення при забезпеченні транкінгового зв'язку з підрозділами, що знаходяться на значному віддаленні від основних сил (блок-пости, взводні та ротні опорні пункти);

відсутність зв'язку з портативними станціями, що знаходяться у заглибленнях (бліндажах, на блок-постах тощо);

радіоелектронного впливу противника на радіозасоби, що знаходяться в безпосередній близькості до лінії зіткнення [1].

Для оптимізації побудови та використання мереж транкінгового зв'язку та вирішення проблемних питань їх функціонування в підрозділах тактичного рівня пропонується наступне:

мережу в батальйоні (дивізіоні) пропонується будувати за принципом „ретранслятор – радіостанція”. В такій мережі всі радіостанції працюють через виділений тайм-слот ретранслятора на відповідному каналі бойового управління;

ретранслятори транкінгового зв’язку доцільно розгортати на командно-спостережних пунктах батальйонів (дивізіонів) із забезпеченням контролю функціонування обладнання та їх надійної охорони. Місце розташування доцільно обирати з урахуванням особливостей місцевості з метою забезпечення необхідної зони електромагнітного покриття;

автомобільні радіостанції, що знаходяться на рухомій базі, а також портативні радіостанції повинні бути налаштовані для роботи в мережі ретранслятора батальйону (дивізіону), а також мати додаткові, в тому числі резервні, канали для зв’язку між собою в режимі „точка-точка”.

Антенні пристрої (далі – АП) ретрансляторів (базових станцій) транкінгового зв’язку визначають не лише енергетичний потенціал радіолінії але і її ефективність в цілому: розвід – та завадозахищеність, зону покриття, надійність та інші.

В теперішній час найбільшого поширення серед антен базових станцій з ненаправленим випромінюванням в горизонтальній площині отримали штирьові антени вертикальної поляризації через простоту своєї конструкції і достатню ефективність [2]. Такі антени забезпечують не спрямоване випромінювання в азимутальній площі, порівняно прості у виготовленні, потребують відносно малих затрат при виробництві.

Класичним прикладом антени штирьового типу є антена АШ- h (антена штирьова з висотою випромінювача h), яка являє собою вертикальний штир довжиною $h = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{5}{8}\right)\lambda$, що вибирається відповідно до робочої довжини хвилі λ , з трьома або більше противагами, яка встановлюється на щоглі.

Довжина штиря h складає величину від $\frac{\lambda}{4}$ до $\frac{5\lambda}{8}$, а противаг $l_{пр}$ – в межах від 0.1λ до 0.26λ . Вхідний опір антени залежить від кута між противагами і щоглою: чим менше цей кут (чим більше противаги притиснуті до щогли), тим більше опір. Зокрема, для антени з $h = \frac{\lambda}{4}$ вхідний опір 50 Ом досягається при куті $30^\circ - 45^\circ$. Діаграма направленості такої антени у вертикальній площині має максимум під кутом 30° до горизонту.

Коефіцієнт підсилення антени рівний коефіцієнту підсилення вертикального напівхвильового диполу. У такій конструкції, проте, відсутнє з’єднання штиря зі щоглою, що вимагає додаткового використання коротко замкнутого шлейфу з кабелю довжиною $\frac{\lambda}{4}$

для захисту антени від грозових розрядів та статичної електрики. Антена довжиною $h = \frac{\lambda}{4}$ не потребує противаг, роль яких виконує щогла, а її діаграма спрямованості (далі – ДН) у вертикальній площині сильніше притиснута до горизонту, що збільшує дальність дії радіозв’язку. У цьому випадку для зниження вхідного опору використовується високочастотний трансформатор, а основа штиря з’єднується з заземленою щоглою через узгоджувачий трансформатор, що автоматично вирішує проблему грозозахисту і статичної електрики. Підсилення антени в порівнянні з напівхвильовим диполем становить близько 4

дБ. Найбільш ефективною з антен АШ- h в галузі телекомунікацій є антена $h = \frac{5\lambda}{8}$. Вона

трохи довша напівхвильової антени, а кабель фідера під’єднується до узгоджувачої індуктивності що розташована в підставі вібратора. Противаги (не менше трьох) розташовуються в горизонтальній площині. Підсилення такої антени складає 5 – 6 дБ, а максимум діаграми направленості зосереджений під кутом 15° до горизонту, а сам штир заземлюється на щоглу через котушку, що погоджує. Ці антени більш вузько смугові, у зв’язку з чим вимагають більш ретельного налаштування [2].

Обмежений коефіцієнт підсилення антен штирового типу не дає змогу в широких межах застосувати їх в якості АП базових станцій. Штирові антени знайшли широке застосування в нижній частині метрового діапазону, а також в якості основної антени абонентських комплектів.

Подальше вдосконалення штирових випромінювачів призвело до появи колінеарних антен. Основними елементами колінеарних антен (далі – КА) є розташовані на одній вісі та синфазно збуджувані випромінюючі елементи, фазозсувне коло, реалізація якого може бути на коротко замкнутому відрізку довгої лінії.

Колінеарні антени мають відносно великий коефіцієнт підсилення, характеризуються невеликим вітровим навантаженням, компактні.

Таким чином штирові і колінеарні антени знайшли найширше використання в системах радіозв'язку з рухомими об'єктами та в якості антен базових станцій (ретрансляторів), і в більшій ступені, як антен абонентських комплектів.

Однак такі антени мають також ряд суттєвих недоліків, таких як:

вузький діапазон робочих частот по вхідному опору;

необхідність застосування пристроїв, що погоджують, при живленні антен коаксіальними фідерами;

низька механічна міцність.

Вказані недоліки значно обмежують використання КА на практиці.

З аналізу літератури [2, 3, 4, 5] з'ясовано, що для забезпечення максимальної зони покриття ретрансляторів, автомобільних та портативних станцій, які використовуються у відриві від основних сил підрозділів, підвищення розвід- та завадозахищеності доцільно використовувати антени які мають кращу діаграму спрямованості у порівнянні з штировими та колінеарними антенами.

Метою статті є пропозиція найбільш ефективних технічних рішень в антенних пристроях ретрансляторів систем транкінгового зв'язку в тактичній ланці управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш широке використання в якості антен базових станцій (ретрансляторів) знайшли вібраторні синфазні антенні решітки з різною компоновкою випромінюючих елементів. Антени базових станцій (ретрансляторів) вібраторного типу порівняно із штировими та КА в теперішній час виступають основним типом антенних пристроїв, які повністю відповідають вимогам до антен базових станцій різних систем мобільного радіозв'язку.

Вібраторні антени володіють широкими функціональними можливостями щодо:

формування характеристик направленості в азимутальній площині;

реалізації заданого коефіцієнта підсилення;

надійні в експлуатації;

стійкі до атмосферних впливів.

Вібраторні антенні решітки знайшли широке застосування в діапазонах метрових і дециметрових довжин хвиль. На рисунку 1 показані окремі типи компоновки вібраторних антенних решіток.

Випромінюючим елементом вібраторних антенних решіток виступає симетричний вібратор (напівхвильовий або хвильовий), розташований на певній відстані від циліндричної поверхні. Зовнішні характеристики випромінюючого елемента визначаються:

діаметром циліндру – $2a$;

видаленням випромінювача від циліндричної поверхні – h ;

геометричними розмірами самого випромінювача.

Вібраторні антени широко використовуються в діапазоні метрових і дециметрових хвиль. Основні схеми компоновки показані на рис. 1.

На рисунку 1а показана лінійна антенна решітка ($EAD - \frac{N}{f}$) з кількістю випромінюючих елементів N , які призначені для роботи в діапазоні частот f .

Антенна забезпечує формування квазінеспрямованого випромінювання в азимутній площині з коефіцієнтом посилення, значення якого визначається кількістю випромінюючих елементів N . Відносним недоліком $\bar{E}\bar{A}\bar{D} - N/f$ є порівняно високий коефіцієнт нерівномірності розподілу поля в азимутній площині.

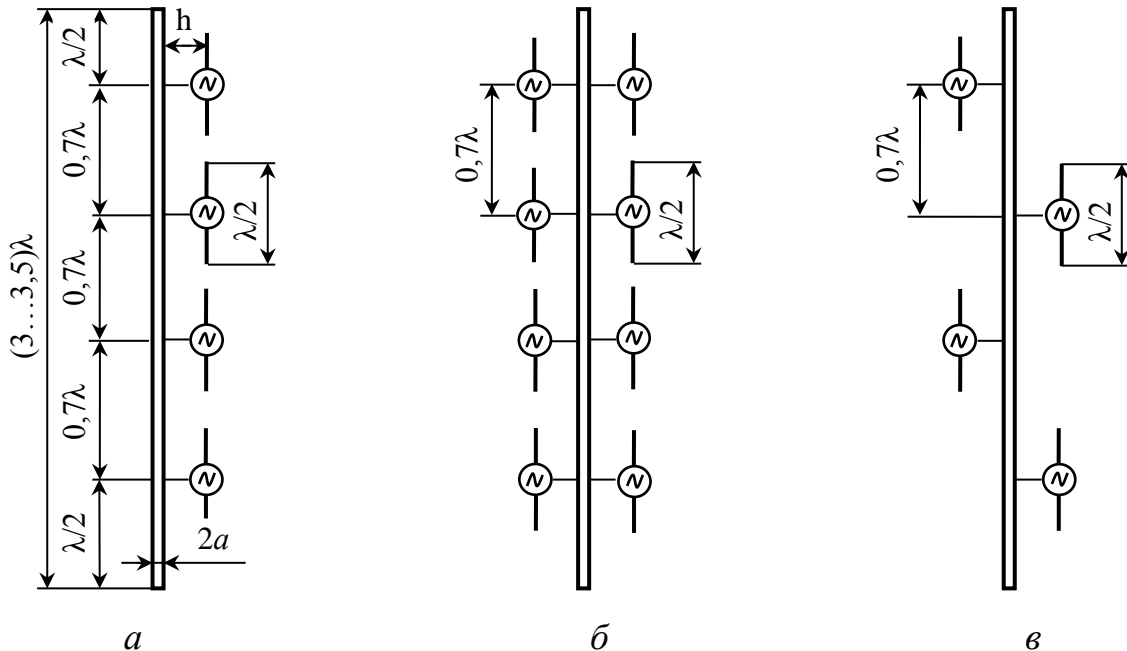


Рис.1 Вібраторні синфазні антенні решітки

Усунути цей недолік дозволяє компоновка антенних решіток, яка показана на рисунку 1б. Антена являє собою подвійну лінійну решітку ($\bar{A}\bar{E}\bar{A}\bar{D} - N/f$) з випромінюючими елементами у вигляді двох симетричних вібраторів, діаметрально розташованих над циліндричною поверхнею. Основним недоліком цієї антени є деяка втрата коефіцієнта посилення в порівнянні з $\bar{E}\bar{A}\bar{D} - N/f$, а також порівняно велика металоємність.

Конструкція антенних решіток, що показана на рисунку 1в відрізняється від розглянутих оригінальністю компоновки, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл поля в азимутній площині без збільшення кількості випромінюючих елементів.

Антенна носить назву $\bar{I}\bar{E}\bar{A}\bar{D} - N/f$ – несиметрична антенна решітка і має один істотний недолік – різну орієнтацію максимуму випромінювання в двох ортогональних площинах відносно площини розташування вібраторів.

Антенні системи станцій транкінгового зв'язку, що використовуються у радіомережах спеціального призначення, повинні мати додаткові, більш жорсткіші вимоги до розвідзахищеності, формуванню зон покриття, електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, які працюють на об'єктах управління.

Більшою мірою пред'явленим вимогам відповідають вібраторні антени, які виконані у вигляді двох симетричних вібраторів над циліндричною поверхнею, конструкція яких зображена на рисунку 2 [3].

Відмітним елементом конструкції випромінювача є наявність додаткового елемента антени – діаграмно-образуючої схеми (далі – ДОС). Цей елемент дозволяє реалізувати необхідний амплітудно-фазовий розподіл струмів в симетричних вібраторах і тим самим отримати заданий розподіл поля випромінювання в азимутальному просторі.

При синфазному збудженні симетричних вібраторів ДОС є звичайним дільником потужності. При квадратурному збудженні струми елементів ($I_1 = \pm jI_2$) ДОС – спрямований відгалужувач з перехідним послабленням – 3дВ.

Згідно [4, 5] характеристика направленості випромінюючого елементу, виконаного у вигляді двох симетричних вібраторів над циліндричною поверхнею в азимутальній площині

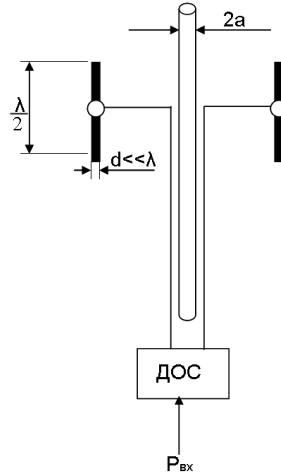


Рис.2 Випромінюючий елемент вібраторної антенної решітки

визначається виразом:

$$f(\theta, \varphi) = f_0(\theta, \varphi) \cdot N(\theta) \left\{ 2[V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} j^n V_m \cos n\varphi + \sum_{n=1}^{\infty} j^n V_m \cos[n(\varphi + \pi)]] \right\}, \quad (1)$$

де: $f_0(\theta, \varphi)$ – характеристика спрямованості симетричного вібратора у вільному просторі;

$$V_m = I_n(kr \sin\Theta) - \frac{I_n(ka \sin\Theta)}{H_n^{(2)}(ka \sin\Theta)} H_n^{(2)}(kr \sin\Theta);$$

$I_n(kr \sin\Theta)$ – функція Бесселя n -го порядку;

$H_n^{(2)}(ka \sin\Theta)$ – функція Генкеля n -го порядку другого ряду;

$r = a + h$ – видалення вібратора від осі антени;

На рис. 3 показані діаграми направленості випромінюючого елементу для циліндра (труби) діаметром $2a = 0,02\lambda$. При роботі станції на частоті 150 МГц діаметр циліндра, в даному випадку, буде дорівнюватись 40 – 50 мм.

Отримані результати наочно показують, що такі випромінювачі і антенні решітки на їх основі дозволяють формувати розподіл електромагнітного поля в азимутній площині від квазіненаправленого (рисунок 3а) з коефіцієнтом нерівномірності $\beta \leq -3\text{дБ}$ до практично спрямованого з діаметрально протилежними максимумами випромінюваного поля (рисунок 3б, в). Випромінюючий елемент у вигляді двох симетричних вібраторів зберігає працездатність по формуванню зовнішніх характеристик при розміщенні над циліндричними поверхнями діаметром $2a = (0,2 - 0,25)\lambda$.

На рис. 4 представлені діаграми спрямованості випромінюючого елементу при використанні металевих щогл нестандартного поперечного перерізу з діаметром $2a = (0,2 - 0,25)\lambda$. Вібраторні антенні решітки, які виконані на випромінюючих елементах у вигляді симетричних вібраторів над циліндричною поверхнею, дозволяють реалізувати ряд вимог по розвідзахисеності, формуванню зон покриття, електромагнітної сумісності для систем транкінгового зв'язку в тактичній ланці управління при веденні оборонного бою.

Недоліком антенних систем з нерівномірними діаграмами направленості в азимутальній площині є зменшення енергетичного потенціалу у окремих напрямках розповсюдження електромагнітного поля.

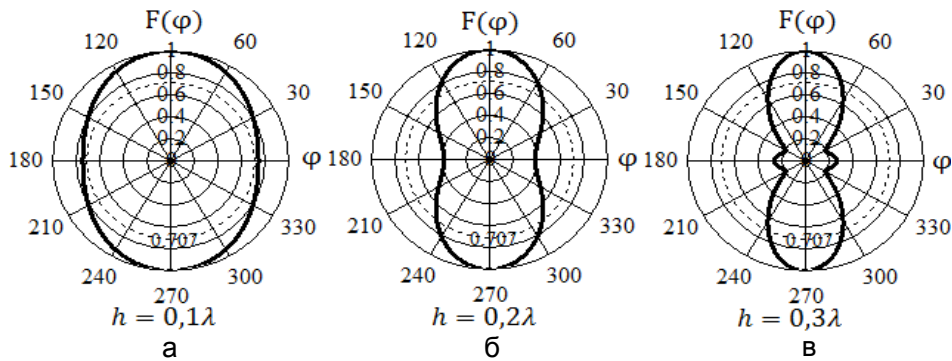


Рис. 3 Діаграма направленості випромінюючого елемента для $2a=0,02\lambda$ та різних значень h

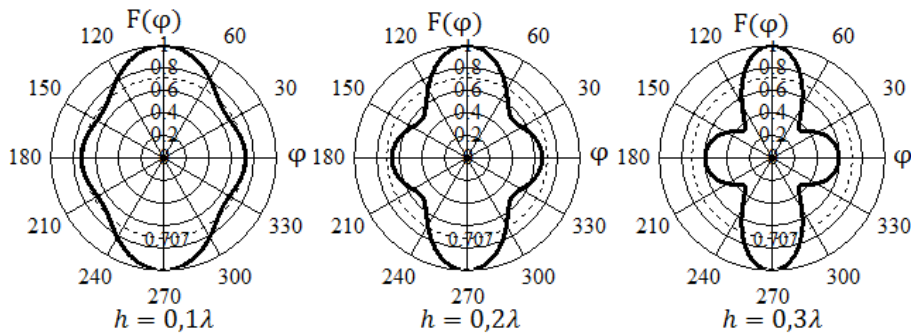


Рис.4 Діаграма направленості випромінюючого елемента для $2a=(0,2 - 0,25)\lambda$

Цей недолік можливо усунути шляхом зміни амплітудно-фазового розподілу струму в симетричних вібраторах з синфазного на квадратурне, тобто:

$$I_1 = \pm iI_2 \quad (3)$$

Реалізація такого розподілу здійснюється в ДОС за рахунок зміни дільника потужності на квадратурний міст (спрямований відгалужувач з перехідним послабленням -3 дБ).

На рис. 5 показані діаграми направленості випромінюючого елемента якій збуджується в квадратурі.

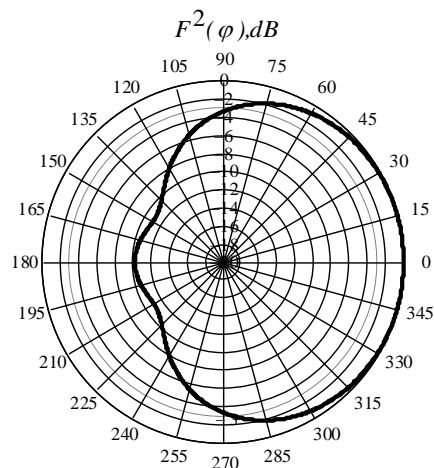


Рис. 5 Діаграма направленості випромінюючого елемента при квадратурному збудженні вібраторів

Розрахунки зроблені для циліндра діаметром $2a=0,02\lambda$ при видаленні вібраторів від її поверхні на відстань $h = 0,115\lambda$. При відстані вібратора від поверхні циліндра $h = (0,1-0,115)\lambda$ і діаметрі циліндра $2a = (0,02 - 0,025)\lambda$ послаблення поля випромінювання відносно максимуму у діаметрально протилежному напрямку складає – 10дБ. Діаграма направленості має яскраво виражений секторний характер з шириною по рівню половини потужності (-3дБ) і складає 174° .

Параметр, що характеризує відношення діаметрально протилежних значень поля випромінювання, в теорії антен називається коефіцієнтом захисної дії ($KЗД$) і характеризує антену щодо завадозахищеності.

Чим вище, за абсолютною величиною $KЗД$, тим вище співвідношення P_c/P_n на вході приймального пристрою, где: P_c – потужність сигналу, а P_n – потужність перешкоди.

На підставі викладеного матеріалу з'являється можливість зробити розрахунки показників розвідзахищеності мереж транкінгового зв'язку у випадках застосування різних типів антен, у тому числі і антенних решіток з випромінюючим елементом при квадратурному збудженні вібраторів.

Розрахунок розвідзахищеності засобів транкінгового зв'язку пропонується розглядати як сукупність енергетичних і часових показників. При цьому енергетичні показники повинні характеризуватися енергетичними співвідношеннями потужностей або рівнів сигналів і перешкод на вході приймального пристрою, а часові показники – відбивати динаміку поведінки в часі засобів зв'язку і засобів радіоелектронної протидії. [6].

Розрахунки, які проведені за методологією [6] та наведені в табл. 1, показують, що при використанні штирьових антен коефіцієнт розвідзахищеності систем транкінгового зв'язку становить близько 0,58 на відстані до 15 км від переднього краю.

При використанні антенних решіток з випромінюючим елементом при квадратурному збудженні вібраторів потужність станцій транкінгового зв'язку, що випромінюється в бік противника, зменшується в 10 разів.

Оскільки чутливість радіоприймача радіорозвідки складає – $113 \text{ dB}_m^{(1)}$ а загасання сигналу в свобідному просторі на відстані від 5 до 12 км, від станції розвідки, коливається від $149,96$ до $157,56 \text{ dB}_m$ при динамічному діапазоні радіолінії від 147 до 149 dB_m то станції транкінгового зв'язку стають недоступними для радіорозвідки.

Таблиця 1

Показник		Енергетична доступність радіозасобів, dBm		
Назва	Значення	Відстань до засобів радіорозвідки, м		
		5000	9000	12000
W_0 – Загасання сигналу у вільному просторі, dBm	$W_0=122+20\lg R/\lambda$	149,96	155,06	157,56
$\Delta_{25}^{(2)}$ – динамічний діапазон радіолінії, $P_{\text{пер}}=25\text{вт}$, АШ-н	157	7,04	1,94	-0,56
Δ'_{25} – динамічний діапазон радіолінії, $P_{\text{пер}}=25\text{вт}$, АР	147	-2,96	-8,06	-10,56
Δ_{40} – динамічний діапазон радіолінії, $P_{\text{пер}}=40\text{вт}$, АШ-н	159	9,04	3,94	1,44
Δ'_{40} – динамічний діапазон радіолінії, $P_{\text{пер}}=40\text{вт}$, АР	149	-0,96	-6,06	-8,56

Примітки.

1. При розрахунках використовувались характеристики станцій радіорозвідки TRC-6100HF5 ;

2. Динамічний діапазон радіолінії з потужністю передавача 25 Вт.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розрахунки дослідження показують можливість застосування антенних решіток, які виконані на випромінюючих елементах у вигляді симетричних вібраторів над циліндричною поверхнею що дозволяє реалізувати біль жорсткіші вимоги до розвідзахищеності, формуванню зон покриття та електромагнітної сумісності для систем транкінгового зв'язку в тактичній ланці управління при веденні оборонного бою.

Крім того, дослідження таких антен дозволяє оптимально розподілити енергетичний потенціал мережі радіозв'язку у напрямку підвищення стійкості її функціонування.

Теоретичні дослідження показують, що коефіцієнт захисної дії вібраторних антенних решіток, в першу чергу, залежить від діаметру циліндричної поверхні, фазового зрушення між симетричними вібраторами, зменшення якого на $10 - 15^\circ$ збільшує ширину діаграми спрямованості в азимутній площині до 194° .

Антенний пристрій зі секторальною діаграмою спрямованості в порівнянні з антенами не напрямленого типу дозволяють підняти енергетичний потенціал мережі радіозв'язку, а отже підвищити її стійкість.

Пріоритетними напрямками подальших досліджень є:

- розробка випромінюючого елемента антенних решіток і дослідження їх внутрішніх і зовнішніх характеристик;
- проведення теоретичних досліджень з метою підвищення коефіцієнту захисної дії, що визначає завадозахищеність антенно-фідерного пристрою в цілому;
- оцінка електричних характеристик антенних решіток в різних ділянках діапазонів частотного спектру і можливості їх технічної реалізації.

Перспективні дослідження доцільно проводити у напрямку використання антенних решіток з симетричними вібраторами, де в якості циліндричної поверхні використовуються труби із діелектричних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Збірник матеріалів науково-практичної конференції „Уроки „Гібридної війни”: воєнні аспекти” (частина I). // ГШ ЗСУ, 2016. – 186 с.
2. Ротхаммель К. Антенны/ К.Ротхаммель, К. Кришке – Том 1: пер. с нем., – Мн. ОМО „Наш город”, 2001.– 188 с.
3. Вендик О.Г., Калинин С.А., Козлов Д.С. Фазированная антенная решетка с управляемой формой диаграммы направленности/ О.Г.Вендик, С.А. Калинин, Д.С.Козлов. – Журнал технической физики. – Спб.: ЛЭТИ, 2013. – Т. 83, Вып. 10.
4. Ільїнов М.Д. Секторні антени базових станцій/ М.Д. Ільїнов, А.М.Мацаєнко, І.О. Шацький. – Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. Вип.1.
5. Ільїнов М.Д. Широкосекторна низькопрофільна антена/ М.Д. Ільїнов, С.В.Толюпа, І.О. Шацький. – Сучасний захист інформації „ДУІКТ”, 2012. – № 3.
6. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки/ А.В.Боговик, В.В. Игнатов. Спб.: ВАС, 2006. – 182 с.