

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-42>

УДК: 621.391

Радзівілов Григорій Данилович, к.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-6047-1897>

Ільїнов Михайло Дмитрович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0009-0008-6945-3354>

Хоменко Павло Володимирович, ад'юнкт

<https://orcid.org/0000-0002-8543-1971>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТРЬОХЕЛЕМЕНТНОЇ АНТЕНИ - ХВИЛЬОВОГО КАНАЛУ

Радзівілов Г.Д., Ільїнов М.Д., Хоменко П.В. Дослідження функціональних можливостей трьохелементної антени - хвильового каналу. В статті представлені результати досліджень, якими встановлено, що трьохелементна антена хвильовий канал є універсальною антеною, яка може використовуватися для забезпечення різних вимог до зони покриття та коефіцієнта підсилення. В штатному виконанні антена, що складається з активного вібратора, рефлектора та директора - є антеною з діаграмою направленості у формі сектора. Активний вібратор є симетричним петлевым випромінювачем, що забезпечує грозозахист антени. Рефлектор і директор є пасивними вібраторами, які збільшують коефіцієнт підсилення антени. Активний вібратор можна використовувати в якості самостійної антени шляхом його модернізації. При цьому діаграма направленості антени буде квазінаправленою. На основі отриманих результатів встановлено, що ширину діаграми спрямованості в азимутальній площині можна зменшити, розташувавши активний вібратор над циліндричною шоглою на відстані приблизно $\lambda/4$ або $\lambda/8$. На основі проведених досліджень сформовано наступні рекомендації щодо вибору антени ретранслятора транкінгового зв'язку: для забезпечення широкої зони покриття - слід використовувати з вертикальною поляризацією в штатному виконанні; для забезпечення вузької зони покриття - слід використовувати активний вібратор в якості самостійної антени з квазінаправленою діаграмою спрямованості; для підвищення розвідзахищеності системи транкінгового зв'язку - слід використовувати з горизонтальною поляризацією.

Ключові слова: антенно-фідерний пристрій, транкінговий зв'язок, базова станція, ретранслятор, діаграма направленості, коефіцієнт підсилення, ширина діаграми направленості, азимутальна площина.

Radzivilov H., Pyinov M., Khomenko P. Study of the functional possibilities of the three-element wave channel antenna. In the article, a complex of studies was carried out, as a result of which it was established that the three-element antenna wave channel is a universal antenna that can be used to meet various requirements for the coverage area and the amplification factor. In its standard version, is a directional antenna with a directional pattern in the form of a sector. The antenna consists of an active vibrator, a reflector and a director. The active vibrator is a symmetrical loop emitter that provides lightning protection for the antenna. The reflector and director are passive vibrators that increase the gain of the antenna. By elementary modernization, the active vibrator can be used as an independent antenna. At the same time, the directional pattern of the antenna will be quasi-directional. Based on experimental measurements, it was established that the width of the directional diagram in the azimuthal plane can be reduced by placing the active vibrator above the cylindrical mast at a distance of approximately $\lambda/4$ or $\lambda/8$. Based on the conducted research, the following recommendations are offered regarding the use of as a trunking repeater antenna: To ensure a wide area of coverage, you should use with vertical polarization in standard version. To ensure a narrow coverage area, you should use an active vibrator as an independent antenna with a quasi-directional pattern. With horizontal polarization should be used to increase the intelligence protection of the trunking communication system.

Key words: antenna-feeder device, trunk communication, base station, repeater, pattern, gain factor, width of pattern, azimuthal plane.

Постановка наукового завдання.

На сьогоднішній день УКХ радіозв'язок в Збройних силах України організовується з використанням обладнання транкінгового зв'язку, одним з виробників таких радіозасобів є компанії «Motorola». Радіозасоби виробництва компанії «Motorola», в цілому вирішують завдання забезпечення зв'язку як на стоянці, так і в русі, безпосередньо на полі бою. [1]. З метою підвищення зони покриття, зв'язності у радіомережах з командирами підпорядкованих військових частин та підрозділів передбачено роботу ретрансляторів.

Антенні пристрої, які використовуються на ретрансляторах (базових станціях), як правило мають забезпечувати ненаправлене випромінювання у горизонтальній площині. Тому робота, яка присвячена розробці пропозицій по удосконаленню антенних пристроїв ретрансляторів систем транкінгового зв'язку, які використовуються в тактичній ланці управління Збройних Сил України, є актуальною та має важливе практичне значення.

Таким чином **актуальність** даної тематики обумовлена необхідністю розробки нових технічних рішень для створення багатофункціональних, ефективних, надійних антенно-фідерних пристроїв для систем зв'язку з рухомими об'єктами у Збройних Силах України.

Метою роботи є розробка пропозицій по удосконаленню антенних пристроїв ретрансляторів систем транкінгового зв'язку, за рахунок використання антени хвильовий канал.

Об'єктом дослідження є процеси формування діаграми направленості (ДН) в антенно-фідерних пристроїв ретрансляторів. Відповідно, **предмет дослідження** – науково методичний апарат дослідження антен УКХ діапазону типу антена хвильовий канал.

Основними завданнями статті є наступні:

1) аналіз електричних характеристики антенно-фідерних пристроїв ретрансляторів УКХ діапазону;

2) на основі функціональних можливостей антенно-фідерних пристроїв розробити пропозиції по модернізації антен ретрансляторів транкінгового зв'язку з цілю підвищення ефективності роботи системи мобільного радіозв'язку.

Аналіз останніх публікацій.

В роботі [4] обґрунтовується необхідність підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку. У роботі [2] розглянуті питання підвищення ефективності систем транкінгового зв'язку за рахунок використання антен з поліпшеними характеристиками, в яких наводяться порівняння електричних характеристик різних типів антен. У роботі [3] пропонується вибір оптимального рішення по вибору антен для систем транкінгового зв'язку, але не враховуються варіанти модернізації штатних антен.

Виклад основного матеріалу.

Постановка задачі.

Транкінгові системи (англ. Trunking – об'єднання в пучок) – радіально-зонові системи зв'язку, що здійснюють автоматичний розподіл каналів зв'язку між абонентами. Під терміном „транкінг” розуміють метод доступу абонентів до загального виділеного числа (пучка) каналів, при якому вільний канал виділяється абоненту на час сеансу зв'язку.

Основними елементами системи транкінгового зв'язку є ретранслятор (один або декілька) та абонентські станції (автомобільні та портативні). Ретранслятор – прийомо-передавач, який має більшу потужність та більш ефективну антену (антени), ніж абонентські станції. Він приймає сигнал абонентської станції на частоті F1, підсилює його і передає кореспонденту на іншій частоті – F2. [7]

Дальність зв'язку (зона покриття ретранслятора) залежить від місцевості (рельєфу та щільності забудови), розміщення ретранслятора, його антенно-фідерного тракту тощо. Крім того антени ретранслятора мають забезпечувати задану конфігурацію зони покриття, що особливо важливо, коли позиція військ знаходиться в безпосередній близькості від противника.[5]

В комплект антенно-фідерних пристроїв ретранслятора входять три антени ненаправленого типу (по одному комплекту) і два комплекти антен направленого типу

Антени ненаправленого типу:

1. АШ – h, h = – вертикальних несиметричних вібраторів (штирьові антени) з магнітною основою при використанні їх в якості автомобільних антен та штирьових випромінювачів, що розгортаються на щоглі з обов'язковим використанням радіальних або похилих противаг, довжина яких повинна бути трохи більше довжини випромінювання провідника вертикального несиметричного вібратора (штирьова антена) з магнітною основою.[6];

2. J - подібна антена, що представляє собою звичайний вертикальний напівхвильовий несиметричний вібратор з торцевих збудженням, переваги якої є:

- по-перше, грозозахист;

- по-друге, менший кут піднесення ДН над поверхнею Землі;

- по-третє, менший вплив підстильної поверхні на характеристики антени.

3. Колінарна антена послідовного типу, основною перевагою якої є підвищений коефіцієнт підсилення

На рис. 1 показані антени з ненаправленим випромінювачем в азимутальній площині:

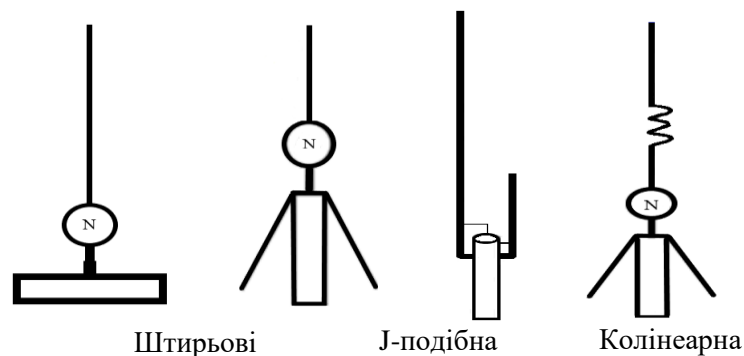


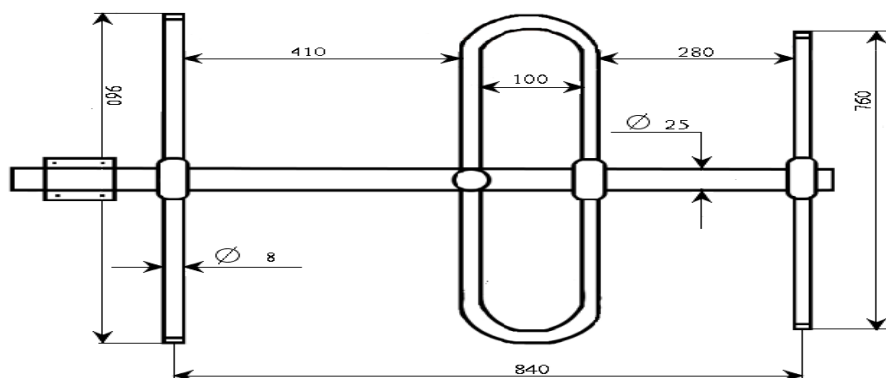
Рис.1. Антени з ненаправленими випромінювачами в азимутальній площині

Антенні направленої типу:

В якості антени направленої типу в ретрансляторах УКХ діапазону використовується трьохелементна антена хвильовий канал де: N -число вібраторів в антені; f -робоча частота або смуга робочих частот.

Антенна призначена для забезпечення направленої випромінювання поля на кореспондента і організації радіозв'язку на далекі відстані. До складу ретранслятора входять два комплекти, дільник потужності коаксіального типу, що дозволяє розширити можливості ретрансляторів УКХ діапазону при організації мобільного радіозв'язку в тактичній ланці управління Збройних Сил України.[4]

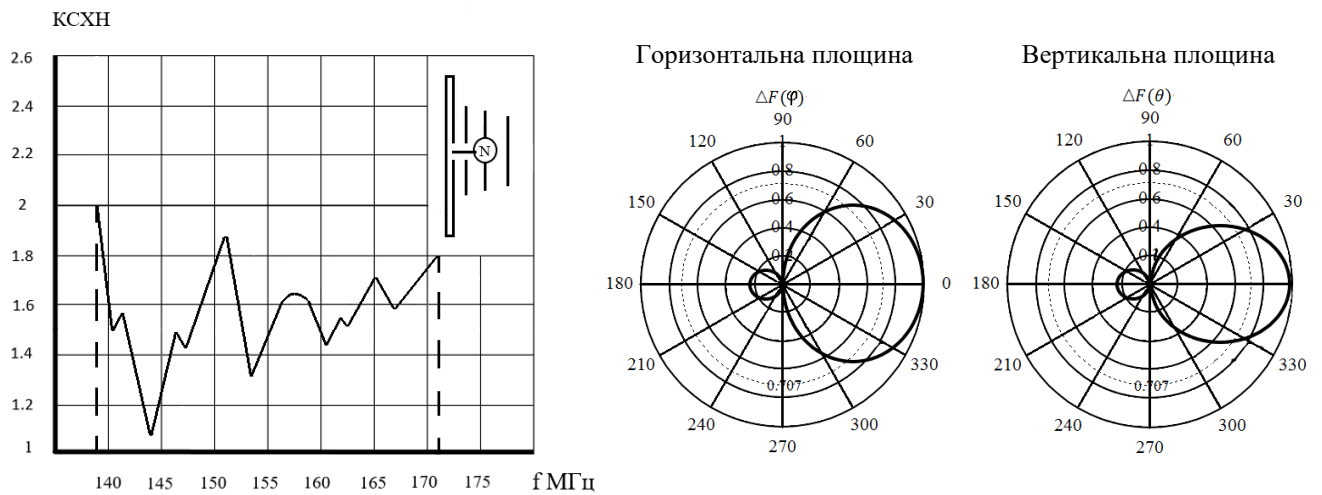
Направлена антена УКХ діапазону Конструкція направленої антени у вигляді трьохелементної антени хвильовий канал представлена на рис. 2. Антенна виконана на металевому траверсі, в якості активного вібратора використовують симетричний петлевий випромінювач (вібратор Пістолькорса А.А.), що забезпечує грозозахист антени і всієї апаратури в цілому. Живлення антени здійснюється коаксіальним кабелем з хвильовим опором 50 Ом, який прокладений в одному з плечей активного вібратора, що дозволяє виключити з конструкції антени симетруючий пристрій.

Рис. 2. Конструкція трьохелементної антени хвильовий канал ($A_{XK} - \frac{N}{f}$)

Вузол кріплення антени до щогли забезпечує її використання як з вертикальною так і з горизонтальною поляризацією випромінюючого поля. Пасивні вібратори (рефлектор і директор) встановлюються в робочі положення відповідно міткам нанесених на траверсі. При установці антени хвильовий канал на щоглі необхідно додатковий коаксіальний фідер певної довжини і сувора орієнтація антени на кореспондента.

Функціональні можливості антени хвильовий канал по формуванню поля випромінювання в азимутальній площині. Наявність в комплектації ретрансляторів УКХ діапазону двох типів антен різних за призначенням і конструкції дозволяє за рахунок їх незначної модернізації розширити функціональні можливості антено-фідерного парку ретранслятора по формуванню ДН в азимутальній площині різної конфігурації відповідно вимог до системи транкінгового зв'язку в реальних умовах.

Антенна хвильовий канал з вертикальною поляризацією. Внутрішні (експериментальні) і зовнішні (теоретичні) електричні характеристики трьохелементної антени хвильового канал з вертикальною поляризацією випромінюваного поля показані на рис.3.

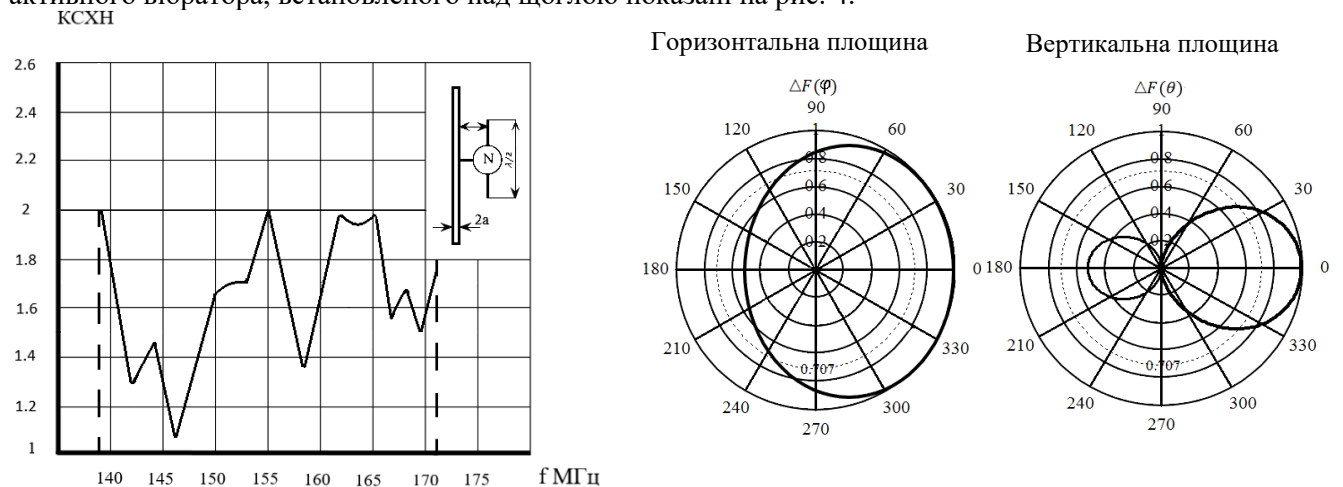


$G = 7 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис. 3. Електричні характеристики активного вібратора над трубою діаметром 55 мм

Як показують результати дослідження антена забезпечує роботу в смузі частот 140...170 [МГц] з коефіцієнтом підсилення $G = 7 \text{ dBi}$ відносно ізотропного випромінювача. Діаграма направленості в двох ортогональних площинах має секторіальну форму і по ширині складає в азимутальній площині і в меридіальній площині.

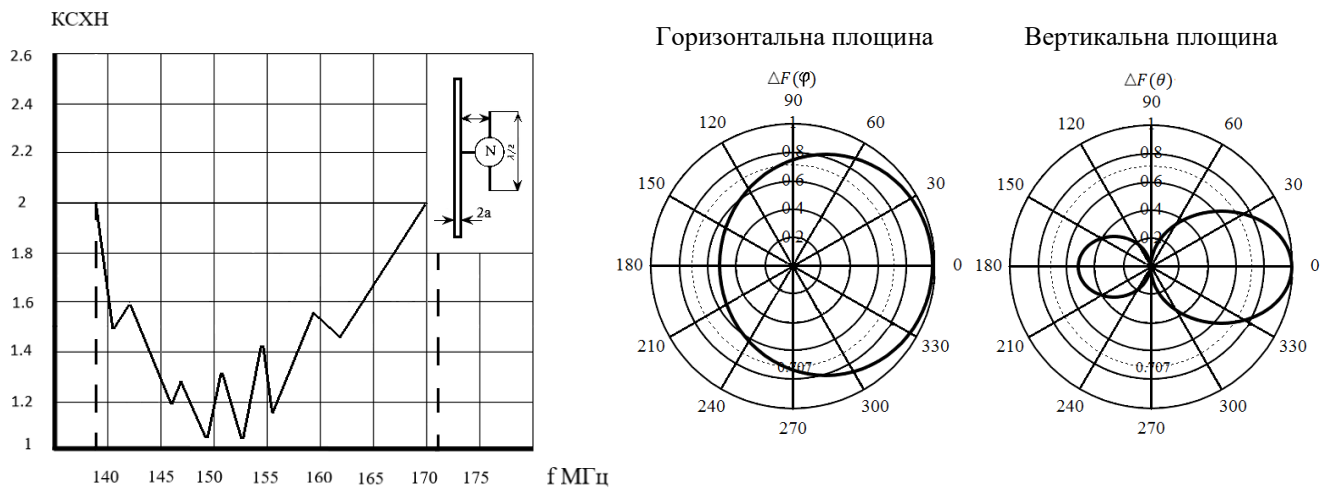
Функціональні можливості антени хвильовий канал. Експериментальні дослідження внутрішніх характеристик антени хвильовий канал показали, що виключення з конструкції антени двох пасивних вібраторів (рефлектора і директора) не порушує істотно роботу активного вібратора, що підтверджується значенням КСХН - коефіцієнтом стоячої хвилі по напрузі на вході коаксіального фідера в діапазоні частот, 140...170 [МГц] значення якого було отримано експериментальними вимірами. Отже, активний вібратор антени хвильовий канал можна використовувати в якості самостійної антени. Розміщуючи активний вібратор над циліндричною щоглою на відстані від її поверхні, можна забезпечити квазінаправлене випромінювання поля в азимутальній площині з шириною ДН. Результати експериментального і теоретичного дослідження активного вібратора, встановленого над щоглою показані на рис. 4.



$G = 4 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис. 4. Електричні характеристики активного вібратор над трубою діаметром 55 мм на відстані $h=500\text{мм}$

Результати проведених досліджень наочно показують, що шляхом елементарної модернізації спрямованої антени можна перейти від секторіальної ДН до квазіненаправленої в азимутальній площині. Електричні характеристики вібратора над циліндричною поверхнею можна істотно поліпшити за узгодженням фідера з антеною, якщо активний вібратор розмістити на відстані $h=500\text{мм}$ ($h \approx \frac{\lambda}{8}$) від поверхні щогли, результати представлені на рис. 5

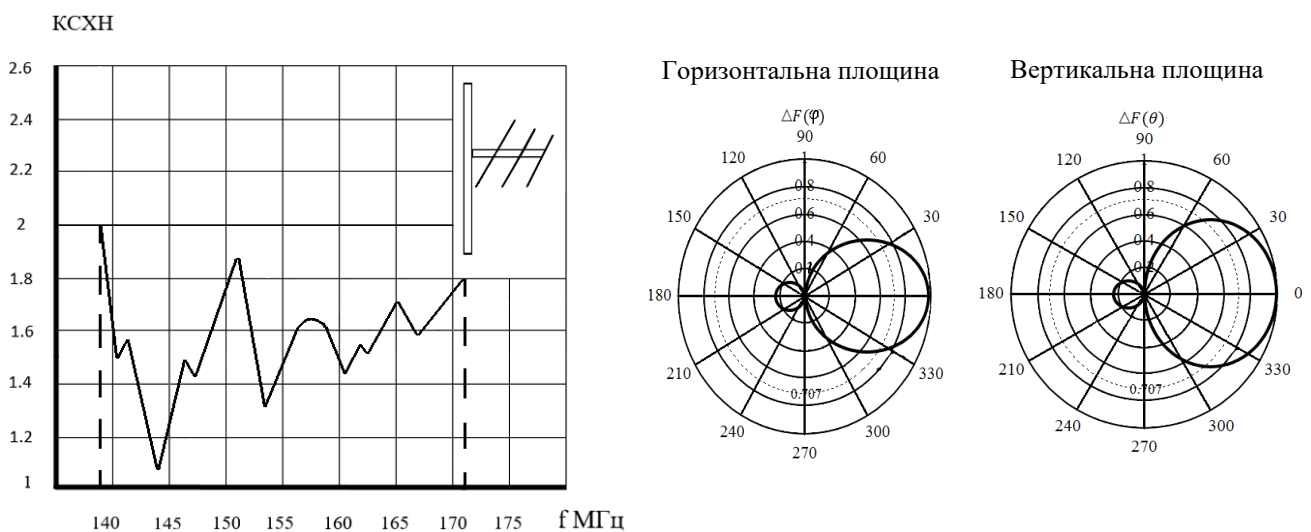


$G = 5 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис 5. Електричні характеристики активного вібратора над трубою діаметром 55 мм на відстані $h=250\text{мм}$ ($h \approx \frac{\lambda}{8}$)

При розташуванні активного вібратора на відстані приблизно ($h \approx \frac{\lambda}{8}$) від поверхні щогли ширина ДН в азимутальній площині зменшується до, а коефіцієнт підсилення збільшується до 5 dBi.

Антенна хвильовий канал з горизонтальною поляризацією. Для зменшення впливу рівня промислових перешкод на транкінговий радіозв'язок для організації зв'язку в радіонапрявках, спрямовану антену доцільно використовувати з горизонтальною поляризацією, вузол кріплення до щогли дозволяє її використовувати як з вертикальною, так і з горизонтальною поляризацією випромінюваного поля. Параметри антени хвильовий канал з горизонтальною поляризацією показані на рис. 6.



$G = 7 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис 6. Електричні характеристики трьохелементної антени хвильовий канал з горизонтальною поляризацією

Відмінною особливістю спрямованої антени в режимі горизонтальної поляризації є зменшення ширини ДН в азимутальній площині до 66 градусів, що дозволяє не тільки поліпшити надійність мобільного радіозв'язку, але і підвищити розвідзахищеність системи в цілому.

Антенa з двопелюстковими діаграми направленості (антенa Януса). Антенa направленогo типу (відноситься до класу коротких антен хвильовий канал). У зв'язку з цим її коефіцієнт захисної дії (КЗД) становить приблизно 14 dBi. Ця обставина вказує на те, що антенa має порівняно велике бокове і заднє випромінювання. Дві антени діаметрально розташованих на одній мачті з синфазним порушенням випромінюючих елементів формують в азимутальній площині квазінаправлене випромінювання. Ширина ДН кожної пелюстки становить 96 градусів, максимальний коефіцієнт нерівномірності в напрямку перпендикулярному осі антен становить - 8 dBi. Антени з діаметрально розташованими ідентичними випромінювачами в технічній літературі по антенній техніці зветься «антени Януса». На рис. 7 представлені результати теоретичного аналізу антени з двопелюстковою ДН.

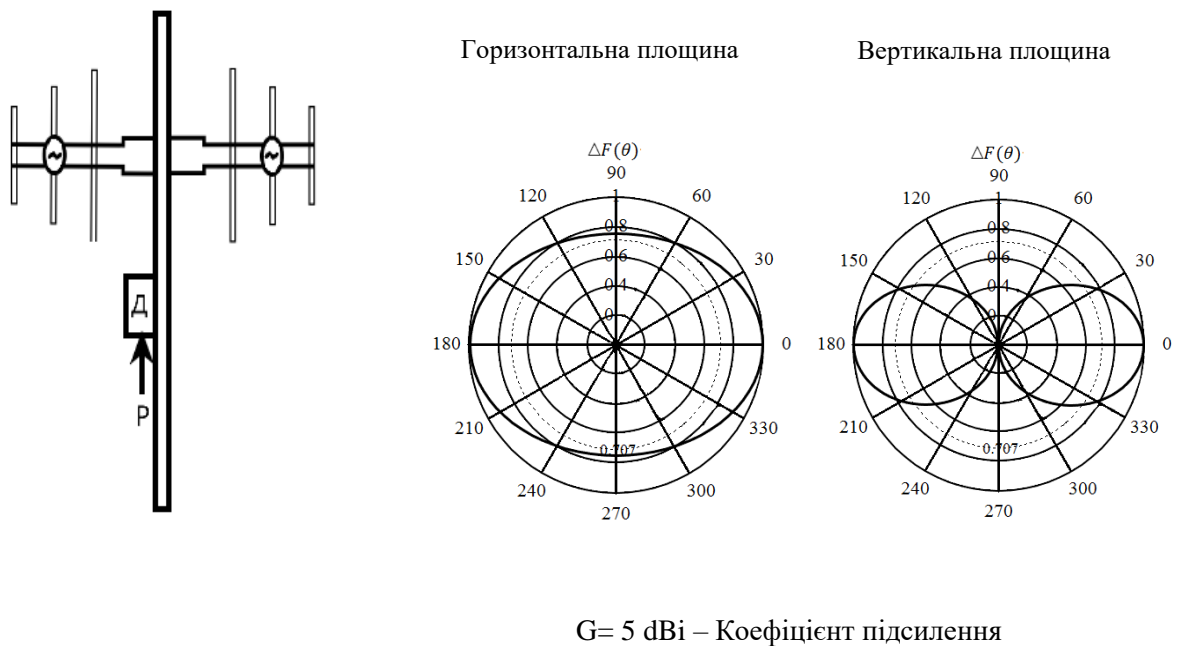


Рис. 7. Електричні характеристики антени з двопелюстковою діаграмою направленості

Синфазне збудження випромінювачів здійснюється за допомогою дільника потужності, виконуючи на відрізках коаксіальних ліній (четвертьхвильовий трансформатор), вихідні плечі якого не мають ніякого відношення один до одного.

Двоелементна антенa решітка з вертикальною поляризацією. Для збільшення енергетичного потенціалу на радіолінії при організації зв'язку в радіонапрямах і зменшення впливу радіоперешкод з боку супротивника доцільно використовувати два комплекти спрямованих антен у вигляді синфазної лінійної антенної решітки, яка представлена на рис.8. Відстань між елементами вибирається з умови: $d = 0.85 \lambda$, де: λ - довжина хвилі робочого діапазону.

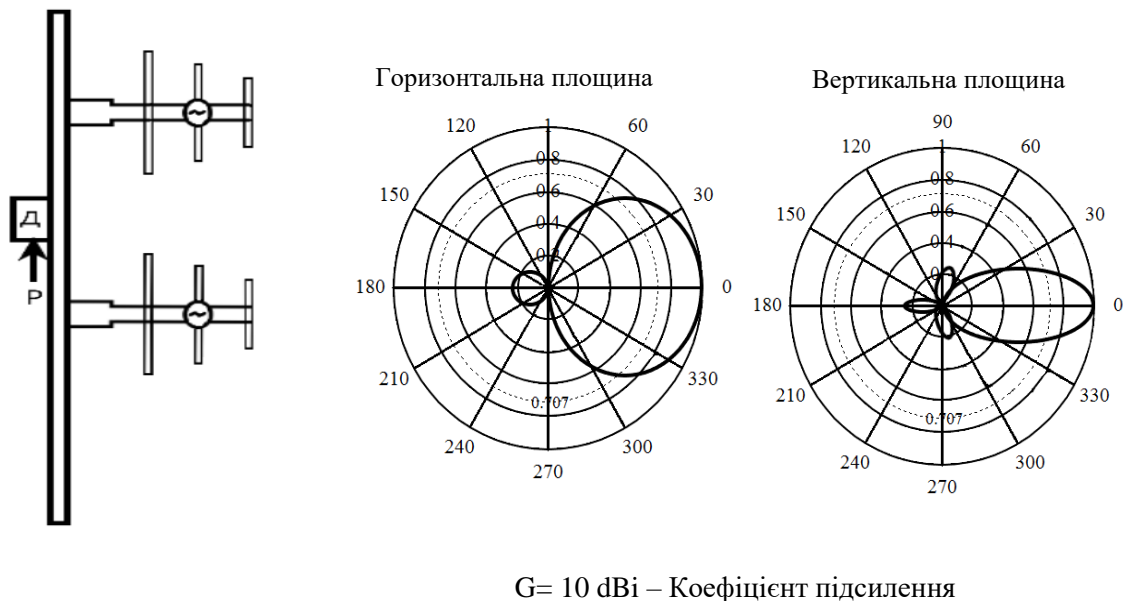


Рис. 8. Електричні характеристики двоелементної антенної решітки

Двоелементна антенна решітка дозволяє збільшити коефіцієнт підсилення до $G=10 \text{ dBi}$, зменшити ширину ДН у вертикальній площині до 36 градусів та здійснити нахил ДН у вертикальній площині, як показано на рис. 9



Рис. 9. Діаграма направленості синфазної антенної решітки.

Реалізація амплітудно-фазового розподілу струмів в випромінювачі антенної решітки може бути виконана або на відрізках коаксіальних ліній в схемі живлення або за рахунок застосування фазообертачів.[4]

Антенна решітка з кардіоїдною діаграмою направленості в азимутальній площині. Антену у вигляді двох діаметрально розташованих щодо щогли випромінювачів (антену Януса) можна модернізувати, якщо випромінювачі розташувати під деяким кутом один до другого. Результати теоретичного аналізу такої антени показані на рис.10.

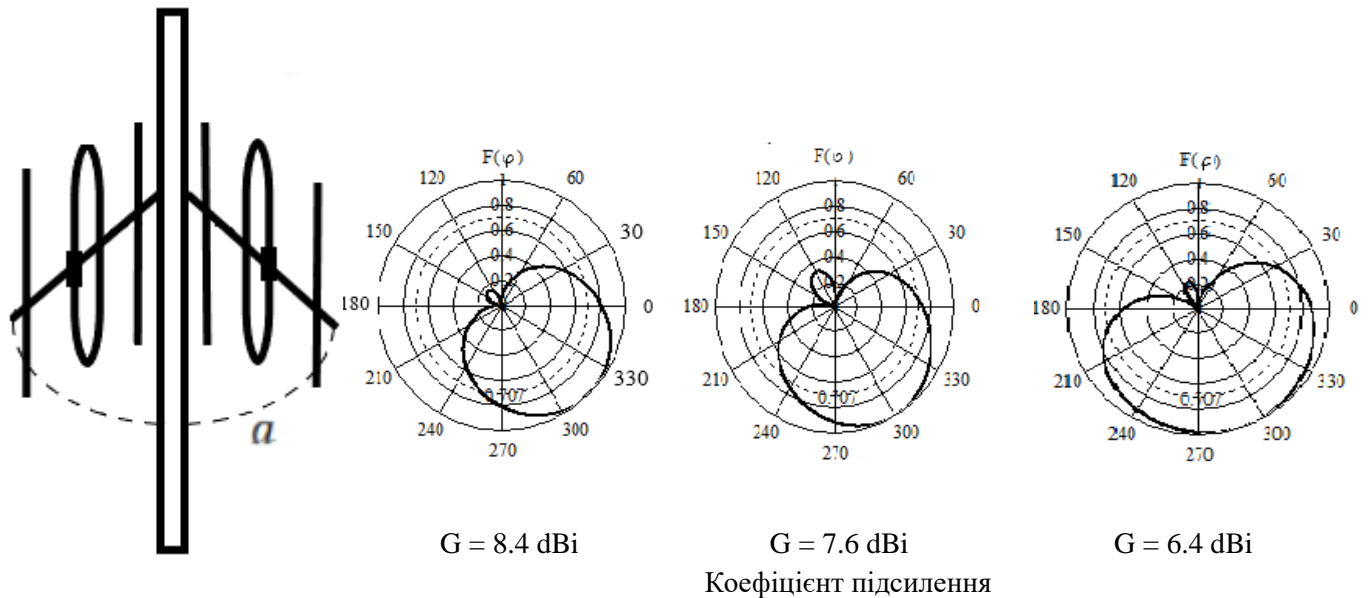


Рис. 10. Антена решітка з кардіоїдною діаграмою направленості.

Антенний пристрій зі секторіальною діаграмою направленості, представлений на рис. 10, в порівнянні з антенами не направленою типу він дозволяє збільшити енергетичний потенціал мережі радіозв'язку, а отже підвищити розвідзахищеність ретранслятора, як основного елемента мобільного транкінгового радіозв'язку.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Модернізація антенного пристрою ретрансляторів транкінгового зв'язку, яка полягає у застосуванні антени хвильовий канал, дозволяє реалізувати більш жорсткі вимоги до розвідзахищеності, формування зон радіопокриття та електромагнітної сумісності для систем транкінгового зв'язку в тактичній ланці управління Збройних Сил України.

Отже, перспективним напрямком підвищення ефективності функціонування мереж транкінгового зв'язку є застосування антени хвильовий канал, що дозволить формувати в азимутальній площині секторіальне і квазінаправлене випромінювання.

Пріоритетними напрямками подальших досліджень є наступне:

- проведення теоретичних та практичних досліджень з метою підвищення коефіцієнту захисної дії, що визначає розвідзахищеність антенно-фідерного пристрою в цілому;
- оцінка електричних характеристик антени хвильовий канал на різних ділянках діапазону частотного спектру і можливості їх технічної реалізації.

Список бібліографічного опису

1. Кувшинов О.В., Гурський Т.Г., Гриценко К.М., Шишацький А.В. Аналіз режимів роботи та перспектив бойового застосування сучасних військових укх радіостанцій іноземного виробництва // Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2018. – С. 43 – 50.
2. Ільїнов М.Д., Бондаренко Л.О., Лубенець О.М., Шацький І.О. Антенно-фідерні пристрої ретрансляторів мереж транкінгового зв'язку в збройних силах України // Збірник наукових праць ВІТІ № 2 – 2017 – С. 27 – 34.
3. Борисов І.В., Гурський Т.Г., Ільїнов М.Д., Гриценко К.М. Підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку за рахунок використання адаптивних антенних решіток // Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2015 – С. 16 – 24.
4. Вендик О.Г., Калинин С.А., Козлов Д.С. Фазированная антенная решетка с управляемой формой диаграммы направленности. Журнал технической физики. Спб.: ЛЭТИ, 2013. Т 83, вып. 10.
5. Збірник матеріалів науково-практичної конференції "Уроки "гібридної війни": восні аспекти" (частина I) // ГШ ЗСУ, 2016. 186 с.
6. Бурляй І.В. Дослідження характеристик антенно-фідерних пристроїв системи радіозв'язку оперативно-рятувальної служби. ЧПБ № 9 – 2006 – С. 53 – 58.
7. Шолудько В.Г., Саулов М.Ю., Вакуленко О.В., Гурський Т.Г., Фомін М.М. Організація військового зв'язку Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.