

**В.В. Овсяніков**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

72, просп. Гагаріна, Дніпро, 49010, Україна

E-mail: [ovsyanyan37@i.ua](mailto:ovsyanyan37@i.ua)**Дослідження параметрів  
дводіапазонних вібраторних антен НВЧ  
з коаксіальними і двопровідними шунтами**

**Предмет і мета досліджень.** Розглянуто два різновиди нових двочастотних антен мікрохвильового діапазону з коаксіальними та двопровідними шунтами з метою удосконалення методів розрахунків радіотехнічних і конструктивних параметрів при їх розробленні.

**Методи і методологія роботи.** Застосовано математичні методи еквівалентної довгої лінії, інтегрального рівняння та оптимізації цільових функцій, які включають задані і поточні значення коефіцієнтів стоячої хвилі за напругою на вхідних роз'язках антен на двох робочих частотних діапазонах.

**Результати роботи.** Наведено результати досліджень і розроблення двох варіантів вібраторних двочастотних (дводіапазонних) антен: з шунтами всередині металевих випромінюючих трубок і з зовнішніми шунтами відносно центрального провідного стрижня антени у коаксіальному і двопровідному виконанні. У першому варіанті для отримання необхідних значень електричних параметрів антен (коефіцієнтів стоячої хвилі за напругою, діаграми направленості та ін.) застосовано метод оптимізації довжини шунтів з використанням мінімізації цільових функцій. У другому – коли антени виконані з зовнішніми коаксіальними або двопровідними шунтами з урахуванням того, що структура і принцип роботи таких антен аналогічні, для них обох вперше вперше визначено умови, за яких можливий двочастотний режим роботи.

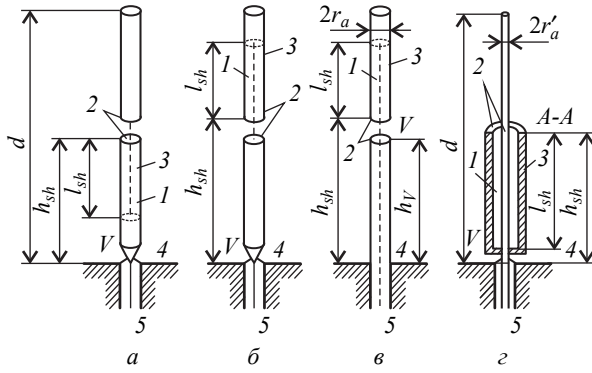
**Висновок.** Запропонований метод розрахунку і розробки трубчастих двочастотних вібраторних антен з коаксіальними шунтами було застосовано при створенні двочастотної турнікетної антени кругової (еліптичної) поляризації для морських буїв за темою «Океан» Національного космічного агентства України та інших двочастотних антен для космічних апаратів. Розглянута у статті нова двочастотна мікросмужкова антена позбавлена суттєвих недоліків відомих двочастотних антен і може бути корисною для встановлення на аерокосмічних та інших мобільних об'єктах завдяки її малим габаритам. Л. б. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** метод інтегрального рівняння і мінімізації цільових функцій, дводіапазонні антени з коаксіальними і двопровідними шунтами, мікросмужкова малогабаритна антена, коефіцієнт стоячої хвилі за напругою, діаграма направленості.

Багатодіапазонні (багаточастотні) вібраторні антени та антенні решітки (АР) на їх основі є актуальними для застосування у сучасних мікрохвильових системах радіозв'язку, у тому числі у приземних і космічних системах передачі/приймання інформації, системах дистанційної діагностики Землі з космосу та інших системах.

На практиці іноді потрібно, щоб антена або АР забезпечувала на двох або декількох частотних діапазонах (частотах), рознесених між собою більше, ніж на 20...30 %, одночасну робо-

ту двох, трьох і більше радіосистем, тобто мала активний вхідний опір близько 50...100 Ом і однакової діаграми направленості (ДН). З публікацій [1–7] та інших відомо, що цю властивість можна забезпечити включенням у стрижень антени комплексних навантажень та шунтів. Перше повідомлення про застосування шунтів у дрових антенах було опубліковане 1947 року в роботі [1] про петльову антену біжучої хвилі виробництва фірми Марконі з включеними уздовж дроту чвертьхвильовими шунтами.



**Рис. 1.** Різновиди багатодіапазонних вібраторних антен: 1 – шунти; 2 – точки підключення внутрішніх шунтів до антени; 3 – частини трубчастих вібраторів, всередині яких розташовані шунти; 4 – провідна площина (противага); 5 – коаксіальна лінія живлення антени; V – точки збудження антени

У роботі [2] досліджується система інтегральних рівнянь (ІР) Халлена для двох паралельних несиметричних вібраторів різної довжини, які можна застосовувати для розрахунків антен з двопровідними шунтами. Наведено результати розрахунку розподілу струму на парі вібраторів однакової довжини і парі вібраторів, довжини яких відрізняються вдвічі. У роботі [3] для отримання двочастотних властивостей вібраторної антени запропоновано включати у неї шунти з двопровідних відрізків ліній. Така антена була впроваджена у 70-х роках минулого сторіччя на одному з космічних апаратів розробки ДКБ «Південне ім. М.К. Янгеля», м. Дніпро. У роботах [4–7] розглянуто результати досліджень і оптимізації електричних параметрів вібраторних антен з включеними різними навантажувачими елементами для поліпшення електричних параметрів антен.

Пізніше з’явилися публікації, наприклад [8, 9] та інші, про дводіапазонні мікросмужкові антени. У роботах [3, 14] розглянуто результати досліджень і розробки дводіапазонних (двочастотних) вібраторних антен НВЧ-діапазону з двопровідними шунтами.

У цій статті наведено результати досліджень у мікрохвильовому діапазоні електричних параметрів дводіапазонної вібраторної антени з коаксіальними шунтами та нової мікросмужкової дводіапазонної антени з двопровідними шунтами.

**1. Дослідження дводіапазонних (двочастотних) вібраторних антен з коаксіальними шунтами.** На рис. 1, а–в наведено варіан-

ти трубчастих двочастотних вібраторних антен у несиметричному виконанні з коаксіальними шунтами, розташованими всередині металевих антенних трубок. На рис. 1, з – варіант двочастотної антени з зовнішнім чвертьхвильовим шунтом, провідна трубка якого забезпечує роботу антени на верхній робочій частоті, тому що у перерізі А–А на цій частоті створюється високий опір [10]. Водночас вся антена довжиною  $d$ , разом з шунтом 1, працює на нижній частоті.

Розглянемо метод розрахунку і результат розробки трубчастих двочастотних вібраторних антен (рис. 1, а–в) з шунтами 1, розміщеними всередині металевих трубок 3.

На першому етапі визначаємо технічні вимоги до механічних і електричних параметрів антени, розподілу струму на ній, вхідного опору, коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН), ДН, коефіцієнта корисної дії (ККД), а також хвильовий опір живильного фідера 5 і параметри навколишнього середовища.

Шунти 1 (рис. 1) являють собою відрізки коаксіальної лінії довжиною  $l_{sh}$ , закорочені на кінці. Для забезпечення двочастотної роботи антени вони повинні створювати необхідний індуктивний опір у точках 2 на нижній робочій частоті  $f_{low}$  і ємнісний – на верхній  $f_{high}$ .

На другому етапі виконуємо розрахунок реактивного опору шунта 1 у залежності від його довжини і робочих частот методом еквівалентної довгої лінії (ЕДЛ), а також розрахунок методом інтегрального рівняння розподілу струму на вібраторі, вхідного опору і КСХН з використанням відомих комп’ютерних програмних середовищ.

На третьому, завершальному етапі виконуємо оптимізацію реактивного опору шунтів у точках 2 і параметрів антени шляхом мінімізації трьох цільових функцій (1)–(3) спільно з методом інтегрального рівняння з урахуванням [6, 7, 10–14].

Вихідну довжину антени  $d$  обираємо приблизно рівною чверті довжини хвилі середньої частоти  $f_{aver} = (f_{low} + f_{high}) / 2$  з урахуванням нижньої і верхньої робочих частот. Це дозволяє компенсувати небажану реактивну складову антени на обох частотах  $f_{low}$  та  $f_{high}$  за умови, що електричну довжину шунта до оптимізації у початковому наближенні обрано рівною  $l_{sh} = n \cdot 0,25 \lambda_{aver}$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots$ , де  $\lambda_{aver}$  –

довжина хвилі, що відповідає до частоти  $f_{aver}$ . Оптимізація довжини шунта і його реактивного опору виконується з використанням критерію заданого КСХН ( $K_S^{req}$ ) на вхідних роз'язках фідера 5 на частотах  $f_{low}, f_{high}, f_{aver} = const$  і при незмінних розмірах антени. Тоді парціальні функціонали на обох частотах з урахуванням обмежень для КСХН ( $K_{S,low}^{req}$  і  $K_{S,high}^{req}$ ) на вході живильного фідера 5 визначаємо таким чином:

$$F_{low}(l_{sh}) = \min \left[ \frac{K_{S,low}(l_{m,sh}) - K_{S,low}^{req}}{K_{S,low}^{req}} \right]^2, \quad (1)$$

$$m = 1, 2, \dots, M, \quad l_{m,sh} \in (l_{1,sh}, l_{M,sh});$$

$$F_{high}(l_{sh}) = \min \left[ \frac{K_{S,high}(l_{n,sh}) - K_{S,high}^{req}}{K_{S,high}^{req}} \right]^2, \quad (2)$$

$$n = 1, 2, \dots, N, \quad l_{n,sh} \in (l_{1,sh}, l_{N,sh}),$$

а загальну цільову функцію задачі оптимізації значень на частотах  $f_{low}$  і  $f_{high}$  з урахуванням (1) і (2) визначаємо за формулою:

$$F(l_{sh}) = p_1 F_{low}(l_{sh}) + p_2 F_{high}(l_{sh}), \quad (3)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  – безрозмірні вагові коефіцієнти, які змінюються у межах 0...1 залежно від ступеня важливості обмежень ( $K_{S,low}^{req}$  і  $K_{S,high}^{req}$ ) для нижньої і верхньої заданих робочих частот.

З використанням викладеного вище методу розрахунку двочастотних антен з внутрішніми коаксіальними шунтами (рис. 1, а–в) була розроблена дводіапазонна турнікетна антена (ТА) кругової (еліптичної) поляризації для морських буїв Морського гідрофізичного інституту НАН України, які планувалося встановлювати у різних точках Світового океану для забезпечення радіозв'язку з космічними апаратами. До цієї ТА (рис. 2) розробник приймально-передавальної апаратури буїв поставив технічні вимоги щодо одночасного випромінювання у космічний простір і приймання радіохвиль НВЧ-діапазону на двох частотах, рознесених між собою більш ніж на 20 %. При цьому у верхньому півпросторі атмосфери у секторі кутів  $\pm 75^\circ$  щодо осі Z мали бути зосереджені максимально можливі значення коефіцієнтів підсилення та еліптичності ТА.

Вимоги до ТА щодо КСХН  $< 1,4$  на обох частотах було виконано шляхом мінімізації цільо-

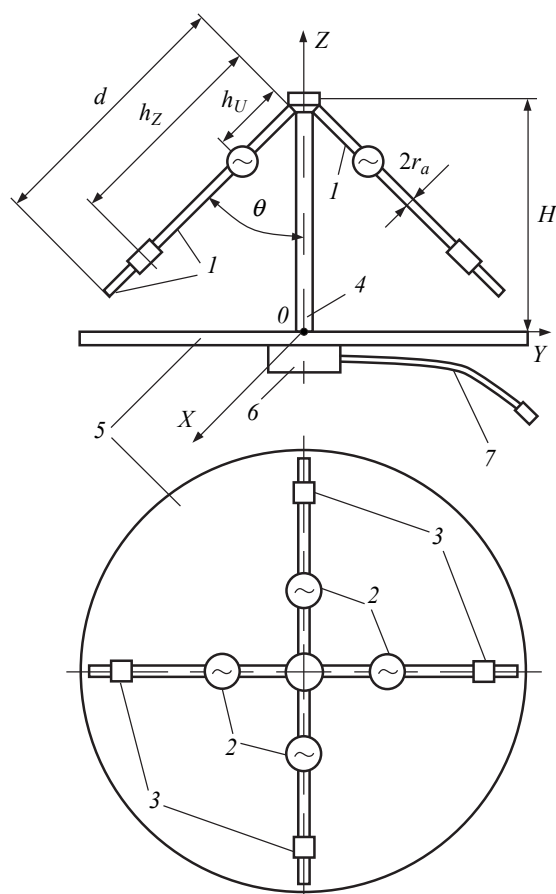
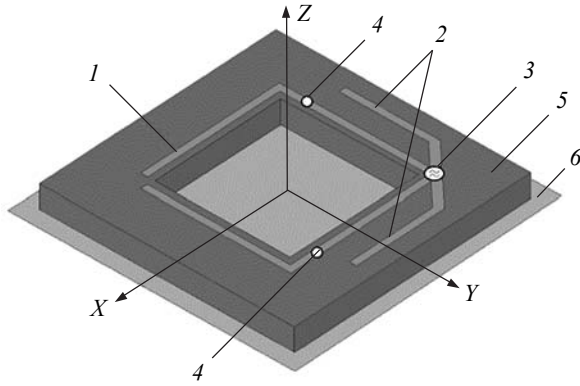


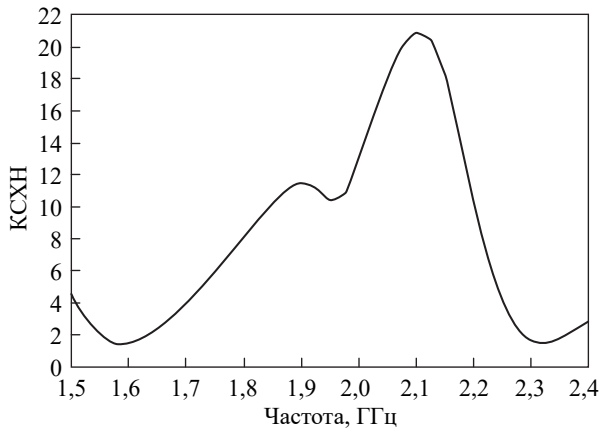
Рис. 2. Схематичне зображення двочастотної ТА: 1 – однакові вібраторні антени; 2 – джерела їх збудження; 3 – імпедансні елементи (коаксіальні шунти); 4 – стійка з вібраторами; 5 – відбивач; 6 – пристрій узгодження вхідного опору і КСХН; 7 – живильний фідер

вих функцій (1)–(3), тоді як перед оптимізацією значення КСХН були небажано високими – 3,3 і 2,4 відповідно на нижній і верхній робочих частотах. Координата включення чотирьох шунтів 3 у кожний вібратор ТА (рис. 2) також була оптимізована і склала  $0,2 \lambda_{aver}$  при загальній довжині кожного вібратора  $0,25 \lambda_{aver}$ . У результаті у заданому секторі кутів максимальний коефіцієнт спрямованої дії ДН склав  $> 5$  дБ, а коефіцієнт еліптичності випромінюваного (прийнятого) поля  $> 0,4$ . Експериментальна перевірка електричних параметрів ТА на морському буї [10] показала узгодження з розрахунковими даними.

**2. Дослідження дводіапазонних (двочастотних) вібраторних антен з зовнішніми шунтами.** Розглянута вище антена з коаксіальним зовнішнім шунтом (рис. 1, з) з урахуванням положень наближеної теорії ЕДІ аналогіч-



**Рис. 3.** Двочастотна (дводіапазонна) мікросмужкова антена: 1 – провідний контур; 2 – двопровідні зовнішні шунти; 3 – вузол збудження антени; 4 – імпедансні (реактивні) навантаження; 5 – діелектрична підкладка; 6 – металева основа



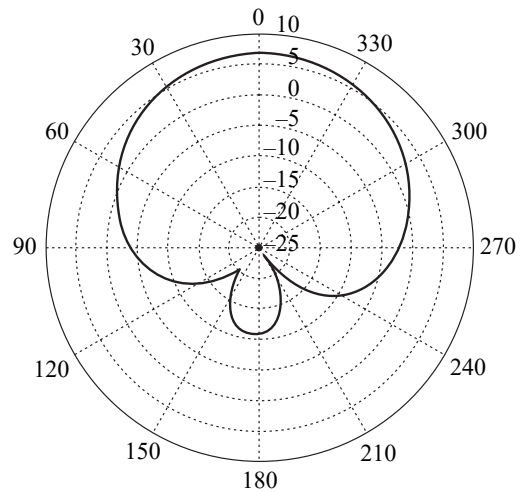
**Рис. 4.** Результати розрахунку КСХН антени у діапазоні 1,5...2,4 ГГц

на за електричними властивостями до антени з двопровідним шунтом таких самих електричних розмірів [3, 12–14]. Однак дводіапазонний режим виникає за певних умов, а саме при  $(d - l_{sh}) = m \cdot 0,25 \lambda_{high}$ , де  $m = 1, 3, 5, \dots$ , або  $(d - h) < 0,25 \lambda_{high}$  (рис. 1, з), коли ефект придушення струму частоти  $f_{high}$  у перерізах А-А шунтів і, як наслідок, на виступаючій із шунта частині дроту  $(d - l_{sh})$  проявляється найбільше. Ці випадки відповідають парним співвідношенням сполучуваних частот  $f_{high} / f_{low} = 2, 4, 6, \dots$ , і при  $f_{high} / f_{low} < 2$ , що необхідно врахувати під час розробки таких антен.

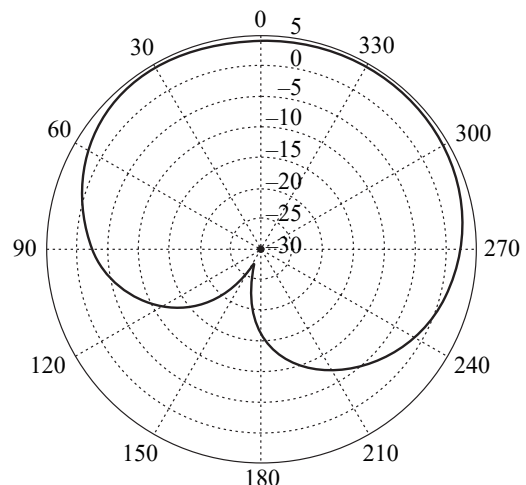
Було також виявлено, що при непарному співвідношенні сполучуваних робочих частот, наприклад  $f_{high} / f_{low} = 3$ , і виконанні названих вище умов, ця антена працездатна на додатковій третій середній частоті, що знаходиться між нижньою і верхньою робочими частотами.

Ця властивість може бути використана для підключення до цієї антени додаткового приймача-передавача, що працює на вказаній середній частоті. У такому випадку антена є тричастотною (тридіапазонною).

З огляду на те, що двочастотні антени з двопровідними шунтами у мікросмужковому виконанні (рис. 3) більш зручні, ніж антени з коаксіальними шунтами для застосування у складі АР, встановленої на корпусі або панелях аерокосмічних апаратів та інших об'єктів завдяки їх малим габаритам, масі і невеликому виступанню над поверхнею об'єкта, розглянемо результати досліджень їх основних електричних параметрів – КСХН і ДН – на актуальних несучих частотах, які застосовуються у системах супут-



**Рис. 5.** Діаграма направленості антени у площині ХОZ антени на нижній частоті 1,62 ГГц



**Рис. 6.** Діаграма направленості антени у площині ХОZ на верхній частоті 2,32 ГГц

никової передачі інформації, дистанційної діагностики Землі та вирішення інших завдань.

Вихідні дані для розрахунків електричних параметрів антени (рис. 3) такі:

- нижня і верхня робочі частоти – 1,62 і 2,32 ГГц відповідно;
- середня частота – 1,95 ГГц;
- ширина смуги друкованих провідників 1 і 2 антени – 3 мм;
- матеріал підкладки 5 – фторопласт.

Досліджувана дводіапазонна антена (рис. 3) містить провідний контур 1, до якого підключені шунти 2 у точці, де розташовується вузол живлення 3. На ділянках провідного контуру 1 на деякій відстані від зовнішніх кінців шунтів 2 включені імпедансні навантаження 4. Вся конструкція закріплюється на діелектричній підкладці 5, яка, у свою чергу, закріплена на металевому екрані 6.

Імпедансні навантаження 4 дозволяють забезпечити роботу антени на двох частотах при будь-якому їх співвідношенні  $f_{high}/f_{low}$  і одночасно зменшити розмір контуру 1 антени залежно від їх значень і точок включення.

Результати розрахунків електричних параметрів мікросмушкової антени (рис. 3) для випадку замкнутого провідного контуру 1 представлені на рис. 4–6.

Результати перевірки ДН антени (рис. 3) на двох частотах наведені на рис. 5 і 6. З графіків видно, що максимум ДН антени на обох частотах спрямований уздовж осі Z, що є позитивним фактором. Деяка асиметрія ДН у вертикальній площині (рис. 6) на верхній робочій частоті обумовлена електричним розміром металевого

екрана 6 (рис. 3) у порівнянні з цими розмірами при розрахунку ДН, наведеної на рис. 5.

**Висновки.** У статті наведено результати досліджень і розробки двох варіантів вібраторних двочастотних (дводіапазонних) антен:

- з шунтами 1 всередині металевих випромінюючих трубок 3 (рис. 1, а–в і 2);
- з зовнішніми шунтами відносно центрального випромінюючого провідного контуру антени (рис. 1, г і 3), тобто відповідно у коаксіальному і двопровідному мікросмушковому виконанні.

У першому варіанті для отримання заданих значень електричних параметрів антен (КСХН, ДН та ін.) застосовано запропонований метод оптимізації довжини шунтів з використанням мінімізації цільових функцій [6, 11], що включають задані та поточні значення цих параметрів на обох частотах.

Для другого варіанту (коли антени виконані з зовнішніми коаксіальними або двопровідними шунтами), з урахуванням того, що структура і принцип роботи цих антен за теорією ЕДЛ аналогічні, у результаті теоретичних і експериментальних досліджень було вперше визначено, що двочастотний режим їх роботи можливий за виконання певних умов.

*Автор висловлює подяку колишнім співробітникам ДКБ «Південне імені М.К. Янгеля» провідному інженеру Г.Г. Черкасову та інженерові Г.А. Вишневській, а також магістру за спеціальністю «телекомунікації і радіотехніка» С.В. Векличу за участь у розрахунках та експериментальних дослідженнях подібних двочастотних вібраторних антен.*

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пистолькорс А.А. *Антенны*. Москва: Связьиздат, 1947. 480 с.
2. Taylor C.D., Aronson E.A., Harrison C.W. Theory of Coupled Monopoles. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 1970. Vol. 18, Iss. 3. P. 360–366.
3. *Дводіапазонна антена*: пат. на корисну модель 142394, Україна: Н01Q 1/38 (2006.01), Н01Q 5/00 / Б.М. Гунько, В.В. Овсяніков. № u201907646; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11.
4. Smith D.L. The trap-loaded cylindrical antenna. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 1975. Vol. 23, Iss. 1. P. 20–27.
5. Левин Б.М., Миротворский О.Б. Многовибраторная антенна с резистором. *Антенны: сб. статей*. Москва: Радио и связь, 1986. Вып. 33. С. 94–100.
6. Levin B.M., Fradin A.Z., Yakovlev A.D. Optimization of wide band antenna with loads. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Wroclaw Conf. EMC*. (Wroclaw, Poland, 26–29 June 1990). Pt. 1. P. 48–52.
7. Левин Б.М., Фрадин А.З., Яковлев А.Д. Использование нагрузок в проволочных антеннах для получения заданных характеристик. *Тр. междунар. симп. по электром. совместим.*: сб. науч. докл. СПб.: Гос. электротехн. ин-т, 1993. Ч. 1. С. 319–322.
8. *Многодіапазонна мікрополоскова антена етажерочного типу*: пат. 2315398, Російська Федерація: кл. Н01Q 1/38; Н01Q 5/01 / Ю.Н. Королєв, С.Н. Бойко, А.В. Исаєв. № 2006122430/09; заявл. 23.06.2006; опубл. 20.1.2008, Бюл. № 2. 10 с.

9. Zhu S.Z., Langley R. Dual-band wearable textile antenna on an EBG substrate. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 2009. Vol. 57, Iss. 4. P. 926–935.
10. Овсяников В.В. Состояние разработок вибраторных, диэлектрических и плазменных антенн у контексте исторического развития антенной техники. *Радиофизика и электрон.* 2016. Т. 7(21), № 3. С. 58–73.
11. Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М. *Методы оптимизации.* Москва: Наука, 1978. 352 с.
12. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л. *Антенно-фидерные устройства.* Москва: Советское радио, 1961. 816 с.
13. Никольский В.В. *Антенны.* Москва: Связь, 1961. 368 с.
14. Krjukov A., Ovsyanikov V. The Antennas for Mobile Radio Communication. *31<sup>st</sup> European Microwave Conf.: Proc.* (London, England, 27 Sept. 2001), Vol. 3. EuMA, 2001. P. 469–472.

*Стаття надійшла 23.09.2020*

## REFERENCES

1. Pistol'kors, A.A., 1947. *Antennas: manual.* Moscow: Svyaz'izdat Publ. (in Russian).
2. Taylor, C.D., Aronson, E.A., Harrison, C.W., 1970. Theory of Coupled Monopoles. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **18**(3), pp. 360–366.
3. Gun'ko, B.M., Ovsyanikov, V.V., 2020. *A double-band antenna.* Ukraine. Pat. 142 394 (in Ukrainian).
4. Smith, D.L., 1975. The trap-loaded cylindrical antenna. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **23**(1), pp. 20–27.
5. Levin, B.M., Mirotvorskiy, O.B., 1986. Multi-vibrator antenna with a resistor. In: A.A. Pistol'kors, ed. 1986. *Antennas.* Moscow: Radio i svyaz' Publ. 33, pp. 94–100 (in Russian).
6. Levin, B.M., Fradin, A.Z., Yakovlev, A.D. Optimization of wide band antenna with loads. In: *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Wroclaw Conf. EMC.* Wroclaw, Poland, 26–29 June 1990. Pt. 1. P. 48–52.
7. Levin, B.M., Fradin, A.Z. and Yakovlev, A.D., 1993. Use of loads in wire antennas for obtaining given characteristics. In: *Proc. Int. Conf. Electrom. Commonality.* SPb.: State Electrotechn. Institute Publ. 1, pp. 319–322 (in Russian).
8. Korolev, Yu.N., Boyko, S.N., Isaev, A.V., 2008. *Stacked multiband microstrip antenna.* Russian Federation. Pat. 2 315 398.
9. Zhu, S.Z., Langley, R., 2009. Dual-band wearable textile antenna on an EBG substrate. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **57**(4), pp. 926–935.
10. Ovsyanikov, V.V., 2016. The state of the development of vibrator, dielectric and plasma antennas in the context of the historical development of antenna technology. *Radiofiz. Elektron.*, **7**(21)(3), pp. 58–73 (in Russian).
11. Moiseev, N.N., Ivanilov, Yu.P., Stolyarova, E.M., 1978. *Optimization methods.* Moscow: Nauka Publ. (in Russian).
12. Drabkin, A.L., Zuzenko, V.L., 1961. *Antenna feeder devices.* Moscow: Sovetskoe radio Publ. (in Russian).
13. Nikolsky, V.V., 1961. *Antennas.* Moscow: Svyaz' Publ. (in Russian).
14. Krjukov, A., Ovsyanikov, V., 2001. The Antennas for Mobile Radio Communication. In: *31<sup>st</sup> European Microwave Conf. Proc.* London, England, 27 Sept. 2001. 3, pp. 469–472. London: EuMA.

*Received 23.09.2020*

*V.V. Ovsyanikov*

Oles Honchar Dnipro National University  
72, Gagarin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine

## PARAMETER STUDY OF EHF DUAL-BAND VIBRATOR ANTENNAS WITH COAXIAL AND TWO-WIRE SHUNTS

**Subject and Purpose.** Two types of new dual-frequency microwave antennas with coaxial and two-wire shunts are considered with a view to improve calculation methods of radio engineering and design parameters of the antennas of the kind.

**Methods and Methodology.** The mathematical methods of equivalent long line and the method of integral equation and optimization of objective functions are used, involving set-point and current values of the voltage standing-wave ratios at the antenna input connectors in the two operating frequency bands.

**Results.** The research and development results have been presented for two variants of dual-frequency (dual-band) vibrator antennas according to whether the shunts are placed inside metal radiating tubes or outside the central conductive rod of the antenna. The shunts are in coaxial and two-wire versions. As applied to the first antenna variant, the method of shunt length optimization upon a minimization of the objective functions yields desired values of antenna electrical parameters (voltage standing-wave ratio, radiation patterns, etc.). For the second antenna variant with both coaxial and two-wire external shunts and provided that the design and operation principle of these antennas are similar, conditions under which the double-frequency mode is possible have been determined for the first time.

**Conclusion.** The proposed method of design and development of tubular dual-frequency vibrator antennas with coaxial shunts has been used to yield a two-frequency circular (elliptical) polarization turnstile antenna as part of sea buoys in the project "Ocean" of the National Space Agency of Ukraine and other spaceborne dual-frequency antennas. The new dual-frequency microstrip antenna discussed in this paper saves us significant drawbacks peculiar to the known dual-frequency antennas and can be used aboard spacecraft and other mobile objects due to its small size.

**Key words:** *method of integral equation and minimization of objective functions, dual-band antennas with coaxial and two-wire shunts, small-size microstrip antenna, voltage standing-wave ratio, radiation pattern.*