

**АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-119-126  
УДК 621.396.6

**ВАЩИЩАК С.П., БОЙЧУК А.М., СТИСЛО Т.Р.**

ЗВО Університет Короля Данила  
0000-0002-1753-1540, 0000-0003-3357-8274, 0000-0002-2377-7985  
serhii.vaschyshak@ukd.edu.ua, andrii.m.boichuk@ukd.edu.ua, taras.styslo@ukd.edu.ua

**МЕЛЬНИЧУК С.І., МАНУЛЯК І.З.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
0000-0002-6973-4235, 0000-0002-0072-1532  
stepan.melnychuk@ukd.edu.ua, iryna.manuliak@ukd.edu.ua

## **НАПРАВЛЕНА АНТЕНА ДЛЯ КОНТРОЛЮ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДІАПАЗОНУ 5 ГГц**

*В роботі наведено результати конструювання та досліджень активної конічної рупорної антени для роботи в діапазоні 5 ГГц, яка має здатність працювати у важких польових умовах з високим коефіцієнтом підсилення та низьким рівнем власних шумів.*

*Ключові слова: направлена антена, конічний рупор, підсилення, бездротові мережі, діапазон, передача даних.*

S.P. VAHSCYSHCHAK, A.M. BOICHUK, T.R. STYSLO

HEI King Danylo University

S.I. MELNYCHUK, I.Z. MANULIAK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## **BEAM ANTENNA FOR CONTROLLING WIRELESS 5 GHZ DATA TRANSMISSION NETWORKS**

*Recently, there has been an intensive development of wireless data networks in the 2.4 and 5 GHz ranges, or Wi-Fi. The popularity of these networks is mainly due to the transmission of multimedia information. Existing standards and data protocols for these networks ensure their smooth and high-performance operation in «ideal conditions». In fact, in cities and densely populated centers with a significant amount of such equipment as well as lack of backup channels, there is radio frequency interference. These interferences are caused by the impact of one piece of equipment on another when it is impossible to adjust by switching to backup channels. Due to the interference, the data transmission speed is reduced, and in some complex cases, the data transmission is stopped completely. This negative phenomenon especially affects the 5 GHz range, in which the signal range is less than that for the 2 GHz range. To assess the quality of wireless data transmission networks, the following characteristics are monitored: the average emission frequency and the emission bandwidth. When these characteristics go beyond the standard values, there are interferences detected by the radio frequency monitoring bodies. Monitoring is carried out monthly throughout the year by specialized measuring systems, which include spectrum analyzers and antennas. Existing antennas have the following disadvantages: instability of the amplification gain, significant noise radiation, low reliability of pushbutton switches and significant weight. To eliminate these shortcomings, the design of an active antenna with a conical horn, which has the ability to change the parameters of the antenna within the entire range of 5 GHz. The optimal parameters of the horn are calculated as well. To obtain high values of the amplification gain of the horn antenna and maintain them with high stability at temperatures from -20 to +45°C used a signal amplification unit on a high-frequency operational amplifier SZA5044Z with a thermostat on a powerful transistor. Additional stability of the electrical characteristics of the amplifier is provided by double stabilization of the supply voltage. Electronic antenna control increases the reliability of the antenna by using electronic switching instead of push-button. Electronic control also protects the antenna amplifier from overheating, changing the polarity of the battery and electromagnetic interference. Laboratory and field studies of the directional horn antenna showed high stability of its parameters, reliability and ergonomics. Additional stability of the electrical characteristics of the amplifier is provided by double stabilization of the supply voltage. Electronic antenna control increases the reliability of the antenna by using electronic switching instead of push-button one. Electronic control also protects the antenna amplifier from overheating, change of the battery polarity and electromagnetic interference. Laboratory and field studies of the beam horn antenna showed high stability of its parameters, reliability and ergonomics.*

*Keywords: beam antenna, conical horn, amplification, wireless networks, range, data transmission.*

### **Постановка проблеми**

В даний час спостерігається інтенсивний розвиток систем бездротового зв'язку (Wi-Fi), які працюють за єдиним стандартом IEEE, прийнятим Інститутом інженерів електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers) у 1997 році. Першим для бездротового зв'язку став стандарт 802.11, за яким дані передавалися на швидкостях до 2 Мбіт/с на частотах в діапазоні 2,4 ГГц. Для підвищення швидкості передачі даних і збільшення завадостійкості був доданий діапазон 5 ГГц, який зараз стрімко розвивається. Бездротові мережі передавання даних стандарту 802.11 стали популярними завдяки передаванню, в основному, мультимедійної інформації. Характеристики діючих стандартів серії IEEE 802.11 наведено в таблиці 1 [1].

Обладнання для організації бездротових мереж передавання даних діапазонів 2,4 та 5 ГГц (радіоелектронні засоби ширококутового радіодоступу) в Україні представлено на ринку фірмами Cisco [2], Ubiquiti [3], MikroTik [4] та іншими. В густонаселених місцевостях з високою концентрацією такого обладнання спостерігаються випадки виникнення радіочастотних завад через вплив одного обладнання на інше, що призводить до зменшення швидкості передачі даних, або і до повного її припинення [1]. Останнім

часом кількість таких випадків зростає, що особливо шкодить діапазону 5 ГГц, оскільки у нього менша дальність. А тому постійний якісний контроль характеристик мереж передавання даних в цьому діапазоні є актуальною задачею.

Таблиця 1

**Характеристики стандартів бездротового зв'язку серії 802.11**

Стандарт	Діапазон частот, ГГц	Швидкість передачі даних, Мбіт/с	Ширина смуги, МГц	Рознесення носіїв, кГц
802.11b	2,412-2,472	5,5/11	20	-
802.11a	5,17-5,825	54	20	312,5
802.11g	2,412-2,472	54	20	312,5
802.11n	2,412-2,472/5,17-5,825	600	20/40	312,5
802.11ac	5,17-5,825	6933	20/40/80/160	312,5
802.11ax	2,412-2,472/5,17-5,825	9608	20/40/80/160	78,125

У відповідності до закону про радіочастотний ресурс України [5] з метою усунення впливу завад державними органами проводиться контроль (моніторинг) відповідності частотних характеристик працюючих Wi-Fi та WiMax – мереж (середньої частоти та ширини смуги випромінювання) заявленим стандартним значенням, за результатами якого виявляються джерела завад. Для цього застосовуються спеціалізовані мобільні вимірювальні комплекси [6], розміщені в автомобілях, з активними та пасивними антенами. Моніторинг бездротових мереж передавання даних здійснюється кожного місяця протягом всього року у важких польових умовах з постійною зміною температури та вологості. Внаслідок руху автомобілів місцевістю зі складним рельєфом обладнання вимірювальних комплексів піддається значному впливу вібрації. Також, у випадках, коли неможливо наблизитись до об'єкта моніторингу, контроль здійснюється зі значної відстані, що вимагає від антени великого коефіцієнта підсилення при мінімальному впливі власних шумів. Це ставить жорсткі вимоги до обладнання моніторингу. Самі вимірювальні комплекси є достатньо захищеними в автомобілі його системами подавлення вібрації та мікроклімату, а антени, від роботи яких напряму залежить якість контролю характеристик бездротових мереж, практично не захищені від негативних впливів. Так, внаслідок низької надійності кнопочних вимикачів антени часто вимикаються під час роботи, через доволі широкі діаграми направленості до основного сигналу в них додаються сторонні завади, внаслідок значних власних шумів чи незначного підсилення спотворюється форма сигналу, що ускладнює проведення контролю, або і робить його неможливим. Крім того, більшість антен мають значні розміри та вагу, що ускладнює роботу оператора. В такій ситуації створення вузьконаправленої малогабаритної антени з високим коефіцієнтом підсилення, надійною системою комутації та внутрішньою системою мікроклімату для забезпечення низького рівня шумів, дозволить підвищити якість та швидкість контролю параметрів бездротових мереж, виявляти джерела завад і спростити роботу оператора.

**Аналіз останніх джерел**

В літературі описано ряд антен які в даний час застосовуються для моніторингу бездротових мереж передавання даних в діапазоні 5 ГГц. До них відносяться R&SHE-300 [7], HF-906 [8], LPA-600, радіопідсилювальні пристрої ССТК-L діапазону 5-9 ГГц, АФС-133147М-L [6]. Основні параметри цих антен наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Основні характеристики антен діапазону 5 ГГц**

Тип антени	Діапазон частот, ГГц	Коеф.іцієнт підсилення, дБ	Тип антени	Коефіцієнт шуму, дБ
HF-906	1-18	7	Рупорна пасивна	1,5
R&SHE-300	0,5-7,5	12	Направлена логіперіодична активна	5,3
LPA-600	2-6	20	Направлена логіперіодична активна	2,5
РПП 5-9 ГГц	5-9	40	Рупорна активна	2,5
АФС-133147М-L	0,5-6	3	Біконусна пасивна	2

Як показала тривала практична експлуатація, загальними недоліками наведених антен є нестабільність коефіцієнтів підсилення, що особливо помітно при експлуатації активних антен з транзисторними підсилювачами, та значний коефіцієнт шуму, що суттєво перевищує заявлені в документації значення. Це, перш за все, пов'язано зі зміною температури та вологості середовища в якому працюють антени. Також, на якість роботи антен впливає старіння радіоелементів та окислення роз'ємних з'єднувачів.

**Метою роботи є:** розроблення конструкції активної направленої антени з конусним рупором з високою стабільністю коефіцієнта підсилення та підвищеною надійністю, призначеної для контролю параметрів бездротових мереж передавання даних діапазону 5 ГГц в різних кліматичних умовах.

#### Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети запропоновано полотню антени виконати у виді конусного рупору з циліндричним хвилеводом (рис. 1). Через те, що перехід циліндричного хвилеводу в рупор повинен бути плавним, при збільшенні розмірів розкриття рупору доводиться збільшувати його довжину. Оптимальним кінцевим рупором вважається рупор, який для заданої довжини  $l_{opt}$  має розміри розкриття, які забезпечують найбільше значення коефіцієнту направленої дії [9].

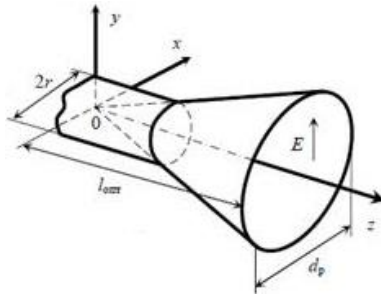


Рис. 1. Модель оптимального кінцевого рупору

Геометричні розміри оптимального кінцевого рупору пов'язані між собою таким відношенням [10]:

$$l_{opt} = \frac{d_p^2}{2,4\lambda} - 0,15\lambda, \quad (1)$$

де  $l_{opt}$  та  $d_p$  - оптимальні довжина і кут розкриття рупору, м;

$\lambda$  - довжина хвилі електромагнітного сигналу, м.

Ширину діаграми направленості оптимального кінцевого рупору на рівні 0,5 по потужності (в градусах) можна визначити з наступних виразів [10]:  
в площині H

$$20_{0,5}^H \approx \frac{70^\circ \lambda}{d_p}$$

в площині E

$$20_{0,5}^E \approx \frac{60^\circ \lambda}{d_p}$$

Значення коефіцієнту направленої дії кінцевого рупору в напрямку максимуму діаграми направленості розраховується згідно формули [10]:

$$D = \left( \frac{\pi d_p}{\lambda} \right)^2 V \approx 5 \left( \frac{d_p}{\lambda} \right)^2,$$

де  $V$  - коефіцієнт використання поверхні антени, що для кінцевого рупору рівний 0,51.

Кінцева рупорна антена має хороше узгодження з вільним простором, а коефіцієнт стоячої хвилі у хвилеводі має величину 1,1...1,2 [11].

За наведеними залежностями була розрахована та виготовлена антена на середину діапазону 5 ГГц (частоту 5,5 ГГц), яка має здатність плавного механічного переналаштування чутливості в межах діапазону (5,15 – 5,85 ГГц). Основні параметри антени наведено в таблиці 3. Полотно рупорної антени, виготовлене з алюмінію марки АД0, є повністю розбірним і складається з таких конструктивних елементів (рис. 2): рупора 1, резонатора 2, поршня 3, тримача поршня 4, штирів для підлаштування чутливості 5 та 6 [12]. Рупор 1 має внутрішню, а резонатор 2 – зовнішню різьби для приєднання один до одного. З іншого боку резонатора нарізана внутрішня різьба для кріплення тримача поршня 4, в який вкручується різьбовий вал поршня 3. Тримач підлаштування чутливості 5 має зовнішню різьбу (М8) для приєднання до резонатора та внутрішню (М4) для руху в ньому штиря підлаштування чутливості 6. Штир коаксіально-хвильового переходу 5 встановлюється нерухомо у фторопластовій ізоляційній прокладці. За допомогою поршня 3 та елементів 5 і 6 встановлюється оптимальна чутливість антени у межах всього діапазону частот. Цими ж елементами можна підвищити чутливість антени у певній смузі діапазону і довести коефіцієнт підсилення до 14 дБ у смузі, шириною до 120 МГц. В загальному ж коефіцієнт підсилення полотна антени в межах діапазону 5 ГГц становив 8 – 11 дБ.

Основні параметри антени

Діаметр резонатора, мм	Довжина резонатора, мм	Кут розкриву рупора, град.	Довжина рупора, мм	Зовнішній діаметр рупора, мм	Довжина/діаметр приймального щтиря, мм	Коеф. направленої дії
38	121	60	29,7	76	22/2,5	2,5

Для забезпечення високого коефіцієнта підсилення рупорної антени та підтримання його стабільного значення при зміні кліматичних умов (від  $-20$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ ) було запропоновано застосувати блок підсилення на високочастотному операційному підсилювачі SZA5044Z з підтриманням робочої температури  $+45^{\circ}\text{C}$  за допомогою термостату та додатковою стабілізацією напруги живлення. Підсилювач SZA5044Z має лінійну АЧХ в діапазоні  $4,9 - 5,9$  ГГц, максимальний коефіцієнт підсилення – до  $33$  дБ при напрузі живлення  $+5$  В та низький рівень власних шумів. Перевагою цього підсилювача є хороше його узгодження як зі щтирем коаксіально-хвильового переходу приймальної антени, так і з навантаженням, яким, у нашому випадку, є аналізатор спектру [13].



Рис.2. Конструктивні елементи полотна рупорної антени

Функціональна схема електронного керування рупорною антеною наведена на рис. 3. До складу антени входять: блок комутації 1, стабілізатор напруги живлення  $+8\text{В}$  2 з фільтром низьких частот 3, термостат 4, стабілізатор напруги живлення  $+5\text{В}$  5 з фільтром високих частот 6, блок керування 7, блок підсилення 8. Блок комутації 1 служить для визначення полярності зовнішньої акумуляторної батареї  $B1$ , приєднаної через з'єднувач  $X1$ , і складається з блока аналізу з польовим транзистором  $VT1$  (IRF9640). При неправильній полярності приєднання акумулятора транзистор  $VT1$  просто не ввімкнеться і загориться червоний світлодіод  $VD1$  «Полярність». Після зміни полярності клем акумулятора світлодіод  $VD1$  погасне, транзистор  $VT1$  відкриється і подасть живлення на стабілізатор 2 з фільтром 3 та на термостат 4. Біполярний транзистор  $VT2$  (TIP3055) термостату 4, відіграє роль елемента нагрівання і розміщується на радіаторі, на якому в зоні розміщення підсилювача 8 також розміщено датчик температури  $VD2$ . Після подачі живлення транзистор  $VT2$  починає нагрівати радіатор до температури  $+45^{\circ}\text{C}$ . Одночасно з цим подається напруга живлення на стабілізатор 5 з фільтром 6, які живлять блок керування 7 високостабільною напругою. Блок керування 7 керує подачею напруги живлення на плату підсилювача блока 8. До блока керування 7 приєднано термодавач  $VD2$ , кнопку запуску вимірювання «Вимір»  $S1$  та світлодіод  $VD3$  «Робота». Блок керування за допомогою термодавача  $VD2$  слідкує за температурою радіатора і поки вона не досягла встановленого значення блокує кнопку  $S1$  та світлодіод  $VD3$ . При досягненні в зоні розміщення підсилювача температури  $+45^{\circ}\text{C}$  активується кнопка  $S1$ , при натисканні якої вмикається блок захисту підсилювача та засвічується зелений світлодіод  $VD3$ . Блок захисту постійно контролює струм споживання підсилювача 8 і при різкій зміні струму вимикає його, при цьому світлодіод  $VD3$  гасне. Вхід блоку підсилення приєднано до щтиря коаксіально-хвильового переходу 9, розміщеного в резонаторі антени 10. Підсилений сигнал з виходу блоку 8 через узгоджувальну лінію надходить на високочастотний з'єднувач  $X2$  типу SMA, а звідти – на аналізатор спектру.

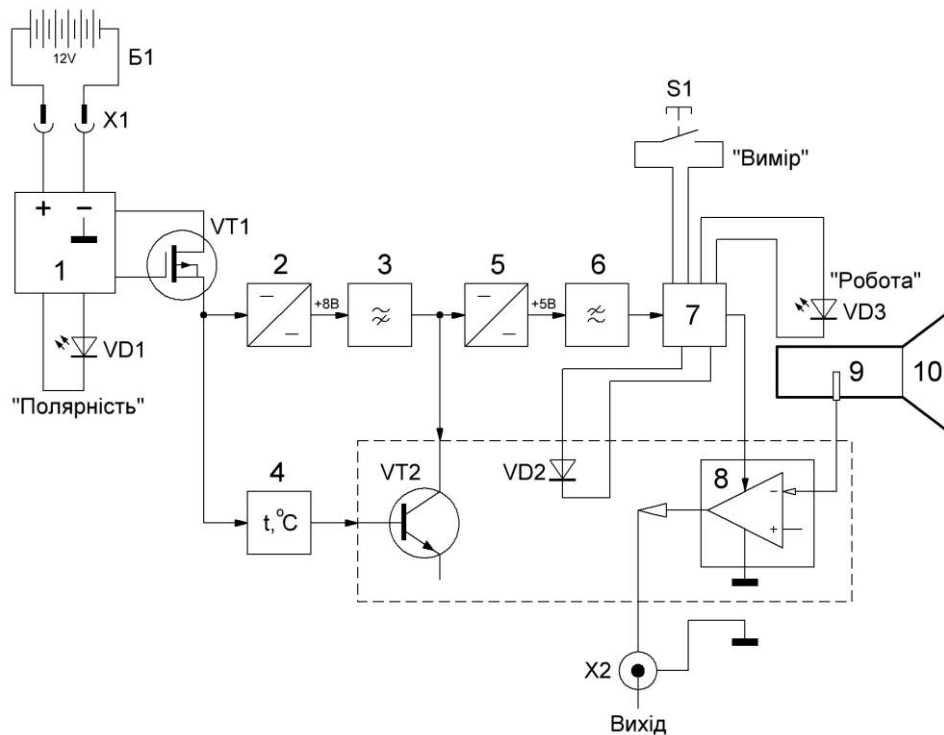


Рис.3. Функціональна схема електронного керування рупорною антеною

Конструктивно схема електронного керування виконана у формі рукояті з двостороннім розміщенням елементів, прикріпленої до полотна антени за допомогою металевих хомутів (рис. 4). На лівій стороні рукояті антени (рис. 4, а) розміщено роз'ємний з'єднувач для приєднання акумулятора 1, стабілізатори (на 8В) 2 та (на 5 В) 3 з елементами фільтрів 4, нагрівальний транзистор VT1 термостату 5, розміщений на радіаторі 6, блоки комутації та керування 7, кнопка S1 8 та світлодіод VD3 9. На правій стороні рукояті антени (рис. 4, б) розміщено плату підсилювача SZA5044Z 10, узгоджувальну лінію 11 та вихідний роз'ємний з'єднувач 12. Всі інші блоки та елементи розміщені всередині рукояті. Рукоять антени повністю закранована та загерметизована. Вага зібраної антени становить 0,7 кг, максимальна довжина (з повністю виведеним поршнем) – 220 мм, висота – 180 мм [14].

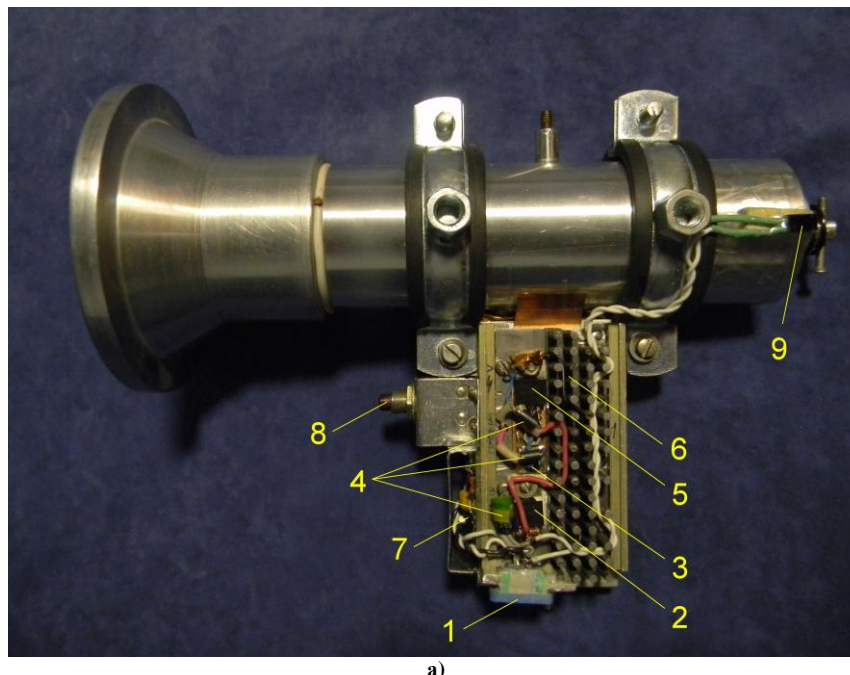
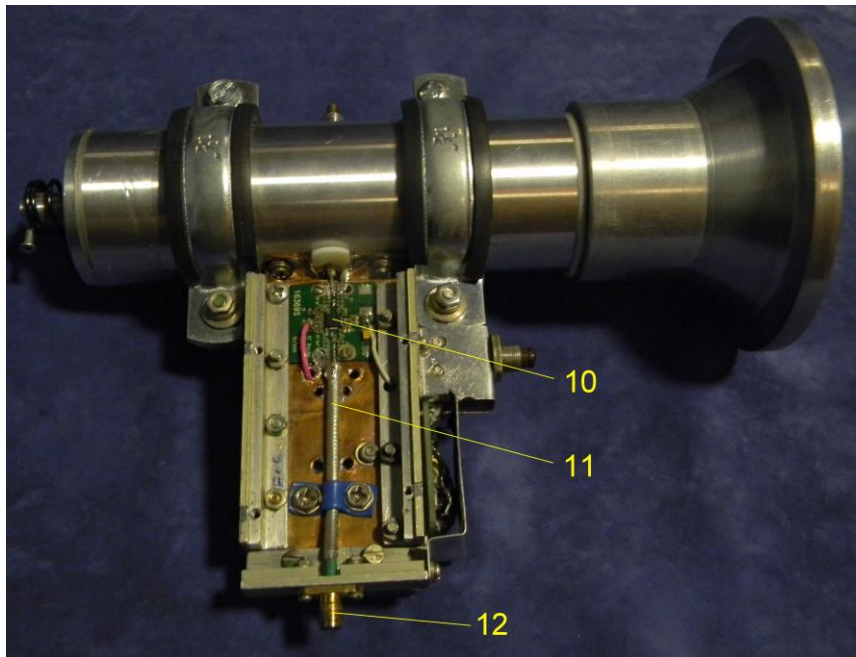


Рис. 4. Конструкція активної рупорної антени: а) – вид зліва





б)

Рис. 4. Конструкція активної рупорної антени: б) –вид справа (продовження)

Проведені лабораторні та польові дослідження активної рупорної антени за допомогою аналізаторів спектру Advantest U3772 та Keysight N9935A показали її високі технічні характеристики та надійність. На рис. 5 наведено приклад спектрограми власного шумового сигналу антени з працюючим підсилювачем при відсутності вхідного сигналу. На рис. 6 наведено спектрограму роботи полотна антени без підсилювача при стандартному вхідному сигналі. На рис. 7 наведено спектрограму роботи антени з підсилювачем при стандартному вхідному сигналі. Коефіцієнт підсилення активної рупорної антени при зміні температури зовнішнього середовища від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$  та вологості від 90% до 50% становив не менше 30 дБ у всьому діапазоні частот, при цьому рівень власних шумів не перевищував 3 дБ. Антена стабільно працювала при сильних вібраціях і витримала більше 2000 циклів включень без збоїв у роботі. Операторами була відмічена висока ергономічність антени у порівнянні з існуючими аналогами.

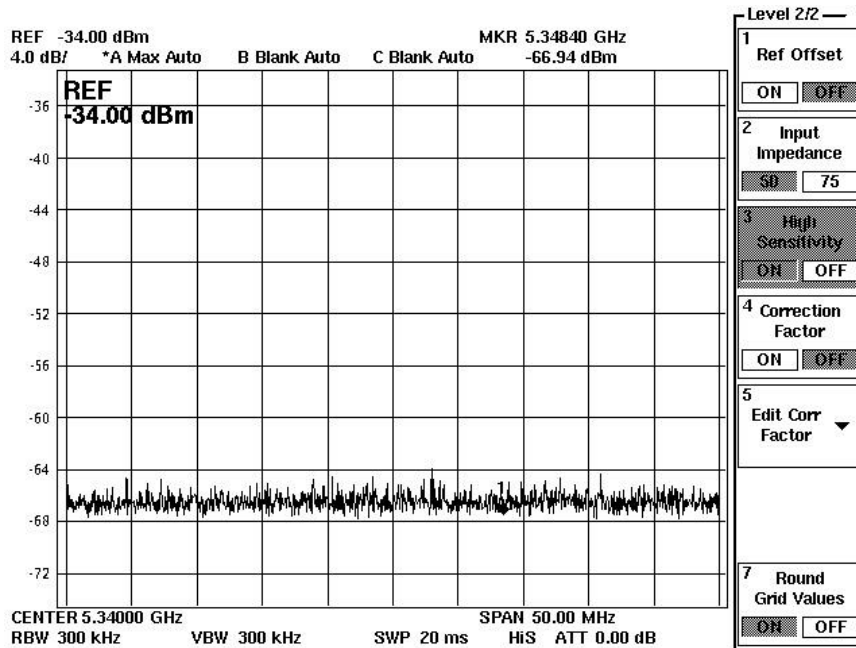


Рис. 5. Спектрограма власних шумів рупорної антени з працюючим підсилювачем при відсутності вхідного сигналу

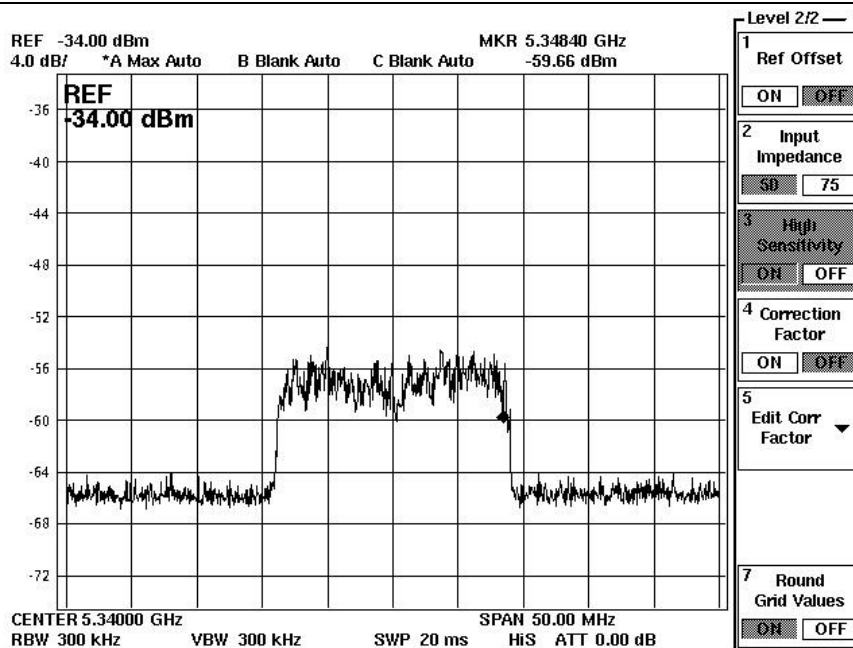


Рис. 6. Спектрограма роботи полотна антени без підсилювача

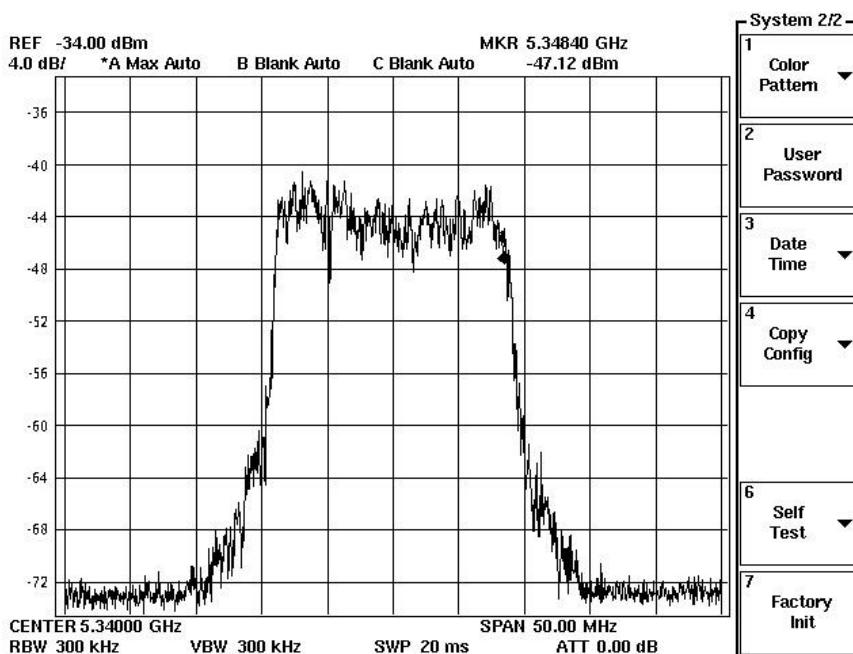


Рис. 7. Спектрограма роботи антени з підсилювачем

### Висновки

Розроблено конструкцію активної направленої антени з конусним рупором для контролю характеристик бездротових мереж передавання даних діапазону 5 ГГц в різних кліматичних умовах. Розраховано оптимальні характеристики полотна антени та створена його конструкція, що має здатність плавного механічного переналаштування чутливості в межах діапазону 5 ГГц. Великих значень коефіцієнта підсилення антени та забезпечення її роботи в різних кліматичних умовах (при температурах від  $-20$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ ) досягнуто завдяки застосуванню високочастотного операційного підсилювача SZA5044Z, розміщеного в термостаті. Підвищення стабільності роботи підсилювача досягнуто подвійною стабілізацією напруги живлення. Електронне керування антеною захищає її від зміни полярності акумулятора, перегрівання підсилювача, електромагнітних завод та підвищує надійність завдяки застосуванню електронної комутації. Проведені дослідження антени в лабораторних та польових умовах показали високу стабільність її параметрів, надійність та ергономічність.

### Література

1. Ченлян Инь, Лазебний В.С. Аналіз результатів дослідження реальної пропускної здатності безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11. / І. Ченлян, В.С. Лазебний // Проблеми інформатизації та

управління. 2019. №1(61). С30 – 39.

2. Офіційний сайт Cisco [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html](https://www.cisco.com/c/ru_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html)
3. Каталог обладнання [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.ubnt.ru/ubiquiti.htm>
4. Каталог безпроводного обладнання [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: <https://www.mikrotik.ua/catalog/bezprovidni-systemy>
5. Про радіочастотний ресурс України [Електронний ресурс] : закон України [прийнято ВР України від 07.12.2000 № 2120-III] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2000. – № 36. – Ст. 298. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-14#Text>
6. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2008. - 588 С.
7. Активна направлена антена від 9 кГц до 7,5 ГГц [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300\\_ti\\_ru.pdf](https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300_ti_ru.pdf)
8. Double-Ridged Waveguide Horn Antenna, HF 906 [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/HF906\\_brief\\_e.pdf](https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HF906_brief_e.pdf)
9. Рупорні антени. Будова. Параметри. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: <https://intellect.icu/rupornye-antenny-postroeniya-parametry-diagramma-napravlenosti-koeffitsient-napravlenogo-dejstviya-357>
10. Хмель В. Ф. и др. Антенны и устройства СВЧ. Сборник задач: Учеб. пособие / В. Ф. Хмель, А.Ф. Чаплин, И. И. Шумлянский – 2-е изд., перераб. И доп. – К.: Выща шк., 1990. – 232 с.
11. Гошин Г.Г. Устройства СВЧ и антенны: Учеб. Пособие. В 2-х частях. / Г.Г. Гошин // – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – Часть 2: Антенны. – 130 с.
12. Ващишак С.П. Рупорна антена для розширення можливостей безпроводних мереж передавання даних. / С.П. Ващишак // матеріали IV Всеукраїнського науково-практичного симпозиуму «Концептуальні проблеми розвитку сучасної гуманітарної та прикладної науки»: м. Івано-Франківськ, 15 травня 2020 року. - С.165-168.
13. SZA5044Z [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044\(Z\).pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044(Z).pdf)
14. Ващишак С.П. Активна рупорна антена діапазону 4,9 - 5,9 ГГц для моніторингу радіорелейних засобів широкосмугового радіо доступу. / С.П. Ващишак // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. «Прикладні науково-технічні дослідження», м. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. – с. 119.

#### References

1. Chenljan In', Lazebnij V.S. Analiz rezul'tativ doslidzhennja real'noi propuskoj zdatnosti bezprovodovih merezh standartu IEEE 802.11. / I. Chenljan, V.S. Lazebnij // Problemi informatizacii ta upravlinnja. 2019. №1(61). S30 – 39.
2. Oficijnij sajt Cisco [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html](https://www.cisco.com/c/ru_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html)
3. Katalog obladnannja [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <http://www.ubnt.ru/ubiquiti.htm>
4. Katalog bezprovidnogo obladnannja [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <https://www.mikrotik.ua/catalog/bezprovidni-systemy>
5. Pro radiochastotnij resurs Ukraїni [Elektronnij resurs] : zakon Ukraїni [priijnjato VR Ukraїni vid 07.12.2000 № 2120-III] // Vidomosti Verhovnoї Radi Ukraїni (VVR). – 2000. – № 36. – St. 298. – Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-14#Text>
6. Slobodjanjuk P.V., Blagodarnij V.G., Stupak V.S. Dovidnik z radiomonitoringu / Pid zag. red. P.V. Slobodjanjuka. – Nizhin: TOV "Vidavnictvo "Aspekt-Poligraf", 2008. - 588 S.
7. Aktivna napravlena antena vid 9 kGc do 7,5 GGC [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: [https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300\\_ti\\_ru.pdf](https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300_ti_ru.pdf)
8. Double-Ridged Waveguide Horn Antenna, HF 906 [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: [https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/HF906\\_brief\\_e.pdf](https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HF906_brief_e.pdf)
9. Ruporni anteni. Budova. Parametri. [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <https://intellect.icu/rupornye-antenny-postroeniya-parametry-diagramma-napravlenosti-koeffitsient-napravlenogo-dejstviya-357>
10. Hmel' V. F. i dr. Antenny i ustrojstva SVCh. Sbornik zadach: Ucheb. posobie / V. F. Hmel', A.F. Chaplin, I. I. Shumljanskij – 2-e izd., pererab. I dop. – K.: Vyshha shk., 1990. – 232 s.
11. Goshin G.G. Ustrojstva SVCh i anteny: Ucheb. Posobie. V 2-h chastjah. / G.G. Goshin // – Tomsk: Tomskij mezvuzovskij centr distancionnogo obrazovanija, 2003. – Chast' 2: Anteny. – 130 s.
12. Vashhishak S.P. Ruporna antena dlja rozshirenija mozhlivostej bezprovidnih merezh peredavannja danih. / S.P. Vashhishak // materialy IV vseukraїnskogo naukovopraktychnogo simpoziumu «Konceptual'ni problemi rozvitku suchasnoї humanitarnoї ta prikladnoї nauki»: m. Ivano-Frankivs'k, 15 travnja 2020 roku. -S.165-168.
13. SZA5044Z [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044\(Z\).pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044(Z).pdf)
14. Vashhishak S.P. Aktivna ruporna antena diapazonu 4,9 - 5,9 GGC dlja monitoringu radiorelejnih zasobiv shirokosmugovogo radio dostupu. / S.P. Vashhishak // Materialy II mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Prikladni naukovotekhnichni doslidzhennja», m. Ivano-Frankivs'k: Akademija tehnicnih nauk Ukraїni, 3-5 kvitnja 2018 r. – Ivano-Frankivs'k: Simfonia forte, 2018. – s. 119.