

Чорнобородова Н. П., Чорнобородов М. П.,  
Бугрова Т. І., Логачова Л. М., Морщавка С. В., Сметанін І. М.

## РОЗБІЖНІСТЬ ТЕОРІЇ Й ПРАКТИКИ СПІРАЛЬНИХ АНТЕН

*Предметом статті були одновиткові та тривиткові об'ємні спіральні антени діапазону 3..6 ГГц для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами. Метою статті було порівняння результатів тривимірного моделювання в середовищі HFSS з результатами вимірювань характеристик спрямованості та узгодження фізичних прототипів, які були виготовлені відповідно до геометрії та матеріалів моделі. Для досягнення мети було розраховано геометрію антен, створено моделі одновиткових та тривиткових спіральних антен у середовищі проектування мікрохвильових пристроїв HFSS та оптимізовано розміри за критерієм максимальної ширини діаграми спрямованості. Було встановлено частотні залежності характеристик спрямованості та узгодження з лінією живлення в середовищі HFSS, а саме: розраховано величини імпедансу, коефіцієнти стоячої хвилі, коефіцієнти посилення та діаграми спрямованості одновиткових та тривиткових спіралей з металевими екранами. Для порівняння результатів розрахунків та експериментів були виготовлені прототипи антен відповідно до розрахункових розмірів та експериментально досліджені шляхом безпосереднього вимірювання їх діаграм спрямованості на частоті 5,25 ГГц та якості узгодження з лінією живлення у вигляді коаксіального кабелю з хвильовим опором 50 Ом. Якість узгодження спіральних антен оцінювалася за значенням коефіцієнтів стоячої хвилі в діапазоні від 3 до 6 ГГц. Порівняння літературних, розрахункових та вимірних характеристик показало досить великі розбіжності, які виявилися досить суттєвими, особливо щодо ширини діаграм спрямованості. Було встановлено, що ступінь розбіжності результатів залежить від кількості витків об'ємної спіралі та зменшується зі збільшенням кількості витків. Розбіжність між моделюванням та експериментом коливалася від 20 % до 50 % у характеристиках збігу та від 34% до 50% у ширині діаграм спрямованості (38° та 50° для одновиткової спіралі в експерименті та моделі відповідно, та 25° та 36° для тривиткової спіралі), причому конвергенція зростала зі збільшенням кількості витків спіралі.*

**Ключові слова:** спіральна антена; діаграма спрямованості; КСХ; РЕБ; середовище моделювання; HFSS.

**Постановка проблеми.** Поява дронів на полі бою значно розширило номенклатуру радіотехнічних пристроїв, якими мусить бути озброєно бійця або підрозділ.

Для збільшення дальності дії безпілотного літального апарату (БЛА) операторові треба мати спрямовані антени, а для вільного маневрування – широку діаграму спрямованості.

Для захисту від радіокерованих безпілотних літальних апаратів почали масово використовувати бортові й окопні постановники активних шумових завад. Ефективність цих постановників, у тому числі, залежить й від параметрів антен. Для збільшення дальності протидії дронам постановника завад треба обладнувати антенами з великими коефіцієнтами підсилення, а для всебічного захисту – ширину діаграми спрямованості, максимально наближену до 180°.

Антени типу "хвильовий канал", дуже добре відомі, з усіх боків досліджені (від початку ефірного метрового телемовлення), будучи надзвичайно технологічними і забезпечуючи

великі коефіцієнти підсилення, на жаль, мають відносно великі габарити. Тобто вони незручні для переносних застосувань, а для стаціонарних – можуть бути занадто помітні.

Тому постала стала задача пошуку малогабаритних спрямованих антен (з коефіцієнтом підсилення, більшим за 6 дБ) з широкими діаграмами спрямованості: потрібна або розробка нових типів антен, або перерахунок добре відомих (старих) конструкцій на новий частотний діапазон. Враховуючи невинне збільшення асортименту антенної продукції на ринку, можна констатувати актуальність і нерозв'язаність цієї задачі.

Звичайно, для зменшення витрат на розробку нового виробу, спочатку вдаються до моделювання принципу (алгоритму) його роботи у відповідному середовищі проектування, де виконують перевірку працездатності пристрою й наступну оптимізацію параметрів, і лише потім виготовляють дослідний зразок. Якщо для цифрових схем розбіжності в результатах роботи моделі й фізичного пристрою можуть виникати лише через помилки з боку розробника симулятора (що трапляється рідко, але можливо виявити), то у випадку дослідження процесів поширення електромагнітних хвиль чи розробки пристроїв НВЧ, різниця між віртуальністю й дійсністю – велика.

Останній випадок може виникати через наступні причини:

- помилка розробника середовища (що трапляється не так рідко, але дуже складно визначити напевно: користувач можете безрезультатно битись над розв'язанням задачі хоч і довічно, доки усе раптом саме собою не владнається з черговим оновленням версії середовища),

- порушення користувачем правил застосування певного інструменту;

- помилка у розрахунках користувача;

- помилка в інженерних формулах, які використовують за викладу теорії для спрощеного або придатного до практичного використання опису складних процесів у науковій літературі.

Якщо отримання допомоги, наприклад, на вузькофахових форумах, часто дозволяє подолати як другу, так й третю причини, то з рештою причин не усе так просто.

Якщо порівнювати характеристики антен, викладені виробниками на своїх сайтах, з параметрами, які можна знайти у відповідній літературі, то складається враження, що теорія цілковито збігається з практикою. Але нерідкими є випадки, коли ми самостійно виготовляємо антену за тими ж самими розмірами, самостійно вимірюємо параметри і з подивом виявляємо істотну розбіжність у значеннях. Далі ми придбаємо таку ж саму антену у того самого виробника, знову самостійно вимірюємо її характеристики, вкотре пересвідчуємося, що зроблена нами антена і придбана мають однакові параметри (бо виготовлені за однаковими розмірами).

Звісно, перше що спадає на думку – ми не вміємо чи то вимірювати характеристики, чи то виготовляти самі антени, чи то усе разом. Але ми не спостерігаємо вище описаних проблем у випадку "хвильового каналу" (для частот ефірного телемовлення): його конструкції докладно описано і самостійно виготовлені антени мають такі ж самі параметри, як і промислові. І виміряні нами параметри "хвильового каналу" не відрізняються від даних з літературних джерел.

Спіральні антени є неосвоєним масовим виробництвом продуктом, тому вищеописані невідповідності мають місце. Пошуку причин цих розбіжностей і присвячено цю статтю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метаспрямовані теоретичні й експериментальні дослідження об'ємних спіральних антенних структур у широкосмуговому діапазоні демонструють їхню високу практичну значущість у сучасних радіотехнічних застосуваннях.

Так, в [1] описано поляризаційний еквівалент аксиально-модової спіральної антени. Проекції спіралі на циліндричну оболонку визначають один або декілька синусоїдальних

випромінювальних елементів. Забезпечено аксиально спрямоване випромінювання однією головною пелюсткою, що дозволяє синтезувати всі типи поляризації: лінійну, колову та подвійну. Шляхом комп'ютерного моделювання отримано ширину діаграми спрямованості не більше  $40^\circ$  за рівня бічних пелюсток не менше  $-12$  дБ й коефіцієнта підсилення  $12$  дБ для випадку 3 витків спіралі (періодів синусоїди). Її екранована модифікація [2] має ліпше узгодження, спрощену конструкцію схеми узгодження, але мало чим відрізняється за цікавими нам параметрами.

У [3] промодельовано й виготовлено компактну ближньопольову резонансну паразитну шпарувату тривиткову спіральну антену з широким осьовим співвідношенням смуги пропускання. Антена складається з однієї напівсферичної металевої поверхні, протравленої подвійними вигнутими спіральними пазами, та одного керованого спірального монополя, розташованого під нею. Результати вимірювань дослідного зразка добре узгоджуються з промодельованими значеннями: для трьох витків спіралі отримано ширину діаграми спрямованості  $120^\circ$  (шляхом моделювання) й  $90^\circ$  (виміряно) за значення коефіцієнта підсилення  $3,5$  дБ. Тому такі характеристики роблять її привабливою для застосування в багатьох ширококутових платформах з обмеженим простором, таких як аерокосмічні та мобільні комунікаційні системи. Аналогічні параметри неспрямованих (з коефіцієнтом підсилення, меншим за  $5$  дБ) спіральних антен для схожих застосувань було отримано шляхом моделювання у [4-7] для 1..3 витків.

У [8-9] розглядаються питання створення антен зі складною геометрією на прикладі переходу з хвилеводу на спіраль для застосувань у діапазонах X та E з центральними частотами  $10$  ГГц й  $66$  ГГц, відповідно. Отримано ширини смуги пропускання  $2,8$  ГГц за рівнем  $-10$  дБ й  $0,28$  ГГц за рівнем коефіцієнта відбиття  $-20$  дБ у X-діапазоні й  $5,2$  ГГц за рівнем коефіцієнта відбиття  $-20$  дБ й  $16$  ГГц за рівнем коефіцієнта відбиття  $-15$  дБ у E-діапазоні. За цього досягнуто ширини діаграм спрямованості до  $30^\circ$  за коефіцієнтів підсилення  $10..12$  дБ для  $10$  витків спіралі.

У [10] досліджується вплив спірального поляризатора, інтегрованого до апертури пірамідальної рупорної антени, призначеного для перетворення лінійно поляризованих полів, що поширюються хвилеводом, на право- або ліво- бічну колову поляризацію у двох різних діапазонах. Інтегрований поляризатор є повністю пасивним і функціонує як паразитний елемент, розташований між хвилеводом та випромінювальною апертурою. Тип поляризації визначається орієнтацією намотування інтегрованого спірального дроту. Досліджено два різні підходи до перетворення поляризації. У першому підході один спіральний дріт вирівнюється вздовж центру апертури рупора та призначений для забезпечення перетворення поляризації з піковим реалізованим коефіцієнтом підсилення  $14,3$  дБ у діапазоні частот від  $26$  ГГц до  $32$  ГГц. Другий метод включає два спіральні дроти як поляризатори: один розташовано у центрі апертури, а другий, намотаний протилежно, розташовано уздовж бічної стінки рупора. Така конфігурація забезпечує перетворення поляризації з максимальним реалізованим коефіцієнтом підсилення  $15,25$  дБ між  $33$  ГГц та  $37$  ГГц. Для обох діапазонів досягається рівень крос-поляризації, що перевищує  $23$  дБ. Експериментальне випробування обох конструкцій демонструє значну узгодженість між змодельованими та вимірними результатами, що підтверджує ефективність запропонованого методу перетворення поляризації за кількості витків спіралі від  $3$  до  $7$  й ширинами діаграми спрямованості до  $40^\circ$ .

В [11] розглядаються характеристики спіральних антен різної довжини (різної кількості витків) для L-діапазону для космічного модуля 3Cat-4, 1U CubeSat, які до виходу на орбіту знаходяться у стисненому стані (до  $26,8$  мм), а для приведення до робочого стану вона розпрямляється до  $506$  мм довжини. За цього антена зберігає стабільні параметри, забезпечуючи ширину діаграми спрямованості  $20^\circ..35^\circ$  за коефіцієнта підсилення  $11..7$  дБ.

В [12-15] теоретично та експериментально досліджено конформні надширококутні спіральні антени (на діелектричній півсфері, надувні циліндричні, тощо). Повідомляється про те, що було розроблено, виготовлено та випробувано велику кількість спіральних антен витікаючої хвилі. Результати вимірювань вказують на досить ширококутну поведінку таких антен, починаючи з 1,7 до 6 ГГц (1,8 октави) по узгодженню вхідних імпедансних характеристик. Кругова поляризація підтримується протягом 1,26 октави. Щодо ширини діаграми спрямованості, то вона варіюється в залежності від особливостей конструкції, робочої частоти та особливо кількості витків, від 26° до 50°.

Таким чином, аналізуючи доступну літературу, можна зробити наступні висновки щодо параметрів спіральних антен:

1. У переважній більшості випадків, для великої кількості витків спіралі, змодельовані й безпосередньо виготовлені зразки мають однакові характеристики, які добре узгоджуються з теорією: чим більша кількість витків, тим більший коефіцієнт підсилення, тим вужча діаграма спрямованості.

2. У переважній більшості випадків, для малої кількості витків спіралі, змодельовані й безпосередньо виготовлені зразки мають певну розбіжність характеристик: для 1..3 витків, змодельовані ширини діаграм спрямованості значно більші за практично отримані (наприклад, 120° проти 90°, відповідно). За цього, значення коефіцієнта підсилення або не вимірювалося, або визначалося лише за підсумками комп'ютерного моделювання: 1,5..3,5 дБ. А такі значення параметрів вже мають певну розбіжність з теорією.

**Мета дослідження.** Метою статті є порівняння ідеалізованих моделей антен НВЧ з їхніми втіленнями у фізичній формі шляхом аналізу основних характеристик. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні задачі:

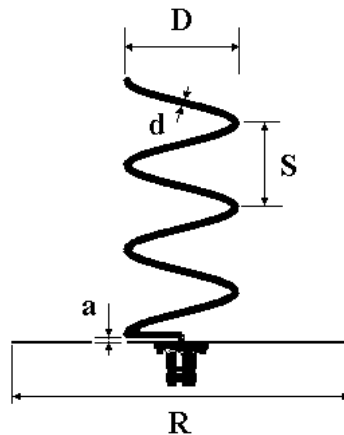
1. Вибрати й розрахувати топологію майбутньої антени.
2. Створити моделі одновиткової та тривиткової спіральних антен у середовищі проектування пристроїв НВЧ HFSS.
3. Здійснити оптимізацію розмірів моделі за критеріями досягнення максимуму ширини діаграми спрямованості й мінімуму коефіцієнта стоячої хвилі.
4. Змодельувати частотні залежності характеристик спрямованості та узгодження з лінією живлення в середовищі HFSS.
5. Виготовити антену за оптимізованими розмірами й виміряти її характеристики спрямованості та узгодження з лінією живлення.
6. Порівняти літературні, розрахункові і вимірні характеристики та знайти ступінь та причини їхньої розбіжності.

**Основний матеріал дослідження.** *Матеріали та методи* Об'єктом дослідження є спіральна циліндрична антена колової поляризації на частоту  $f = 5,2$  ГГц, предметом дослідження – її параметри: ширина діаграми спрямованості, коефіцієнт підсилення й кількість витків.

Методи дослідження: комп'ютерне моделювання й натурний експеримент.

Інструменти: Ansys HFSS, векторний аналізатор LibreVNA й 3D принтер.

Розрахунок топології прототипу спіральної антени (рис. 1) можна виконати за інженерними формулами, наведеними в [16, с. 144-146].



$d$  – діаметр дроту,  $D$  – діаметр спіралі,  $S$  – крок спіралі,  $a$  – відстань між спіраллю й екраном,  $R$  – діаметр екрану

Рисунок 1 – Геометрія спіральної антени

Довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{c}{f} = 58 \text{ мм.}$$

Діаметр дроту:

$$d = 0,02 \cdot \lambda = 1,1 \text{ мм.}$$

Діаметр спіралі:

$$D = 0,31 \cdot \lambda = 18 \text{ мм.}$$

Крок спіралі:

$$S = 0,24 \cdot \lambda = 14 \text{ мм.}$$

Діаметр екрану:

$$R = 2 \cdot D = 36 \text{ мм.}$$

Відстань між спіраллю й екраном:

$$a = 0,13 \cdot \lambda = 7,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок топології прототипу спіральної антени можна виконати і за допомоги калькулятора (наприклад, [17]). І хоча переважна більшість з них мусить працювати за одними й тими самими інженерними формулами, але відмінності можуть зустрічатись. Так, калькулятор [17] нараховує відстань між спіраллю й екраном у 15 разів меншу за інженерний розрахунок.

За розрахованою топологією прототипу спіральної антени (див. рис. 1) було створено модель у середовищі HFSS. З метою отримання максимально широкої діаграми спрямованості антени, було обрано кількість витків  $N=3$  [16, с. 145] і здійснено оптимізацію розмірів топології засобами HFSS з метою максимізації ширини діаграми спрямованості (первинний критерій) за умови мінімізації коефіцієнта стоячої хвилі (вторинний критерій). Для оцінювання підсумків комп'ютерного моделювання у смузі частот 3..6 ГГц було побудовано діаграму спрямованості (рис. 2), коефіцієнт стоячої хвилі (рис. 3), опір (рис. 4) й коефіцієнт підсилення (рис. 5) моделі спіральної антени. Діаграми спрямованості тут й надалі наведено у логарифмічному масштабі у вертикальному перерізі.

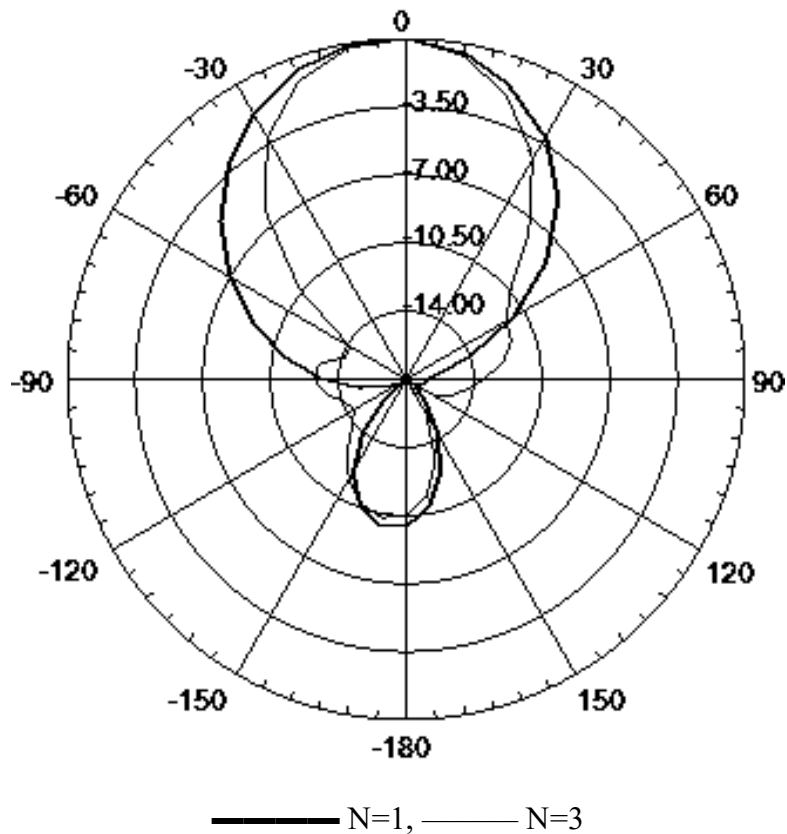


Рисунок 2 – Діаграма спрямованості моделі антени, отриманої засобами HFSS (f = 5,25 ГГц)

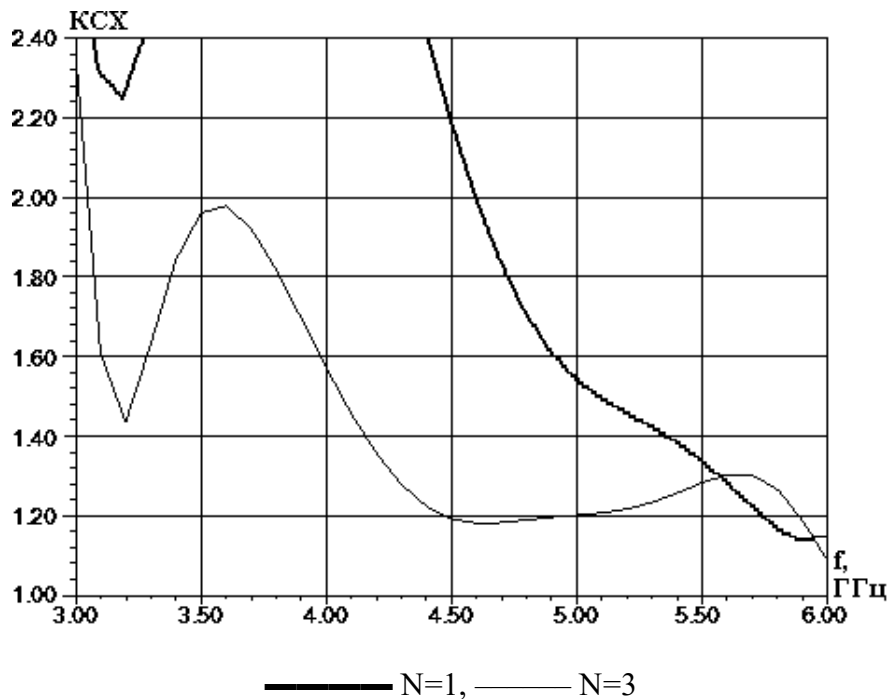


Рисунок 3 – Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою моделі антени, отриманої засобами HFSS

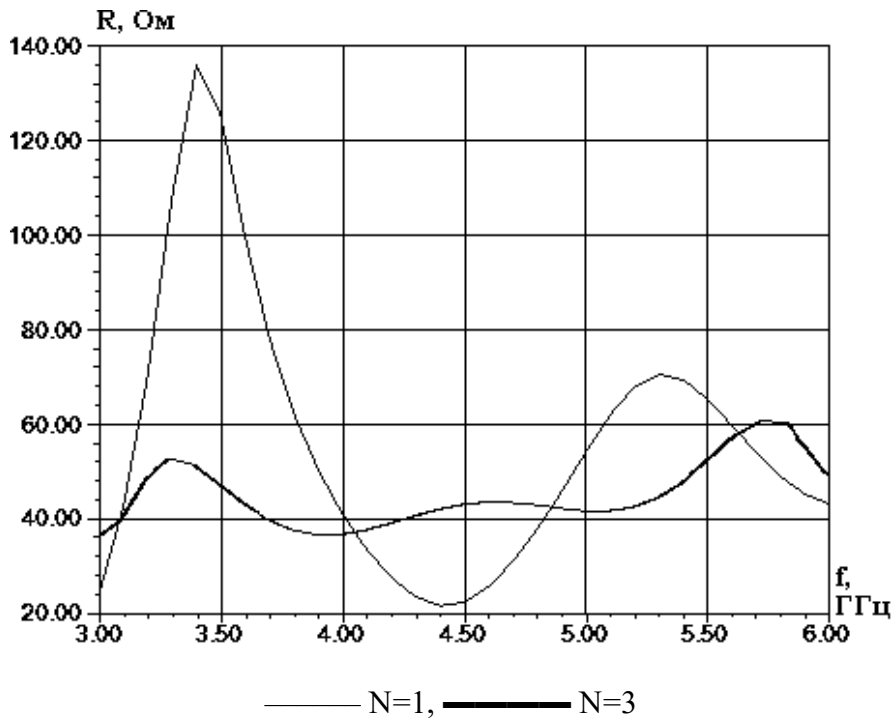


Рисунок 4 – Опір моделі спіральної антени, отриманої засобами HFSS

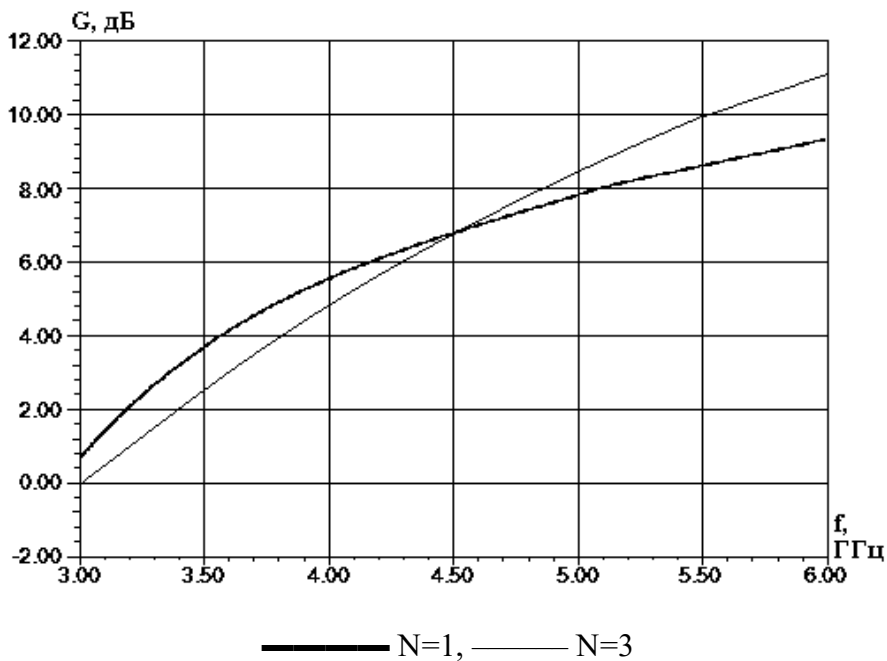


Рисунок 5 – Коефіцієнт підсилення моделі спіральної антени, отриманої засобами HFSS

Оскільки зменшення кількості витків призводить до розширювання діаграми спрямованості, то на рис. 2-5 наведено і результат моделювання одновиткової спіральної антени, яка має ті ж самі розміри (звісно, ж окрім кількості витків  $N$ ), що й тривиткова.

Порівнюючи форми діаграм спрямованості (див. рис. 2) й коефіцієнти підсилення (див. рис. 5), можна побачити, що підсумки комп'ютерного моделювання узгоджуються з теорією: чим більша кількість витків (довжина антени) - тим ліпші її спрямівні властивості. Також, порівнюючи коефіцієнт стоячої хвилі (див. рис. 3) й опір (див. рис. 4), можна побачити, що

чим більша кількість витків - тим ширший діапазон узгодженості, що пояснюється більшою стабільністю значення опору антени).

Для виготовлення спіральних антен за розрахованими розмірами, було використано 3D-принтер для створення оправок для намотування спіралі. На рисунках 6,7 наведено підсумки вимірювання параметрів виготовлених антен.

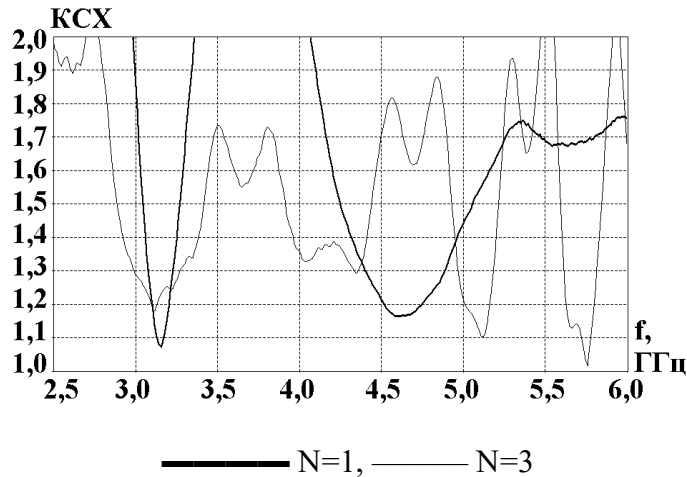


Рисунок 6 – Коефіцієнт стоячої хвилі фізично виготовленої спіральної антени

На рисунку 6 можна побачити, що тривиткова спіральна антена узгоджена у ширшому діапазоні частот, ніж одновиткова. Звісно, відмінності від підсумків моделювання (див. рис. 3) - є, але вони не настільки принципові.

На рисунку 7,а наведено діаграму спрямованості одновиткової спіральної антени в логарифмічному масштабі. Порівнюючи з промодельованими значеннями (див. рис. 2), можна помітити істотну розбіжність у ширинах головних пелюсток: 35° проти 70°. Отримано, що в діапазоні частот 4..5,4 ГГц одновиткова спіральна антена має ширину головної пелюстки 34°..35°. Це - вдвічі менше, ніж теоретично відомо [1, с. 146], тобто, розбіжність складає 100%.

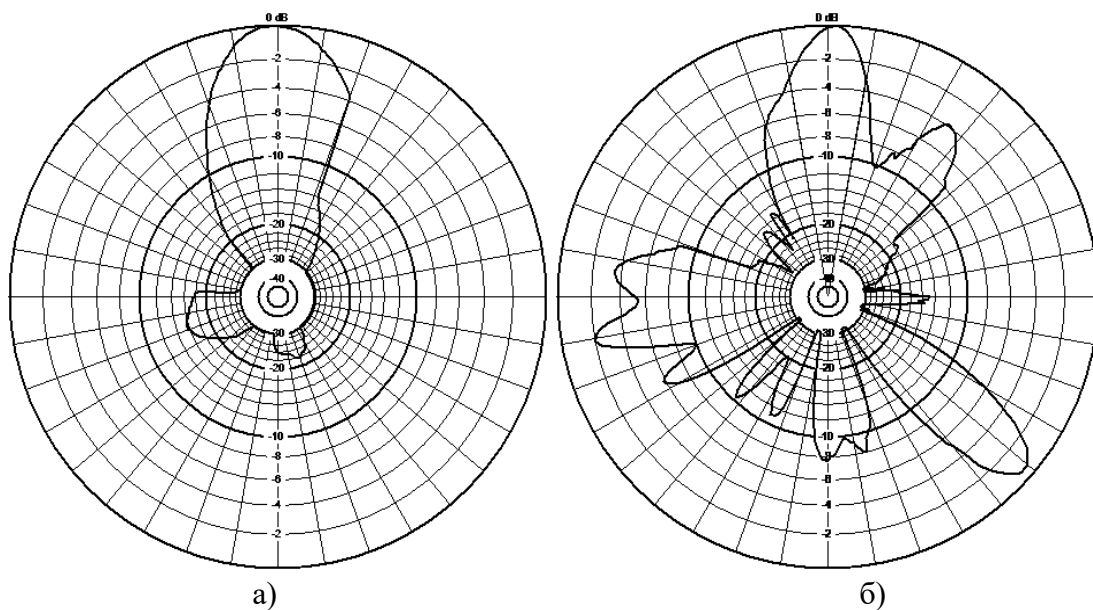


Рисунок 7 – Діаграма спрямованості фізично виготовленої спіральної антени (f=5,25 ГГц): а) – одновиткової; б) - тривиткової

На рис. 7,б наведено діаграму спрямованості тривиткової спіральної антени, виміряну на частоті  $f=5,25$  ГГц. Така багатопелюстковість спостерігалась в діапазоні частот від 4,9 ГГц до 5,6 ГГц, де антену треба вважати непрацездатною. В діапазоні 5,6..6,0 ГГц її ширина діаграми спрямованості становила  $20^\circ$ , а в діапазоні 2,8..3,3 ГГц -  $35^\circ$ .

Для об'єктивності, нами було зроблено контрольні заміри ширини діаграм спрямованості двох примірників спіральних антен, які виготовляються українським дрібносерійним виробником:  $24^\circ..30^\circ$  в діапазоні частот 5,2..5,9 ГГц для семивиткової антени (в [1, с. 146] дають  $40^\circ$ ) й  $20^\circ..22^\circ$  в діапазоні 5..5,3 ГГц для шістнадцятивиткової (в [1] дають  $26^\circ$ ).

### ВИСНОВКИ

В роботі порівняно результати електродинамічного моделювання в програмі HFSS ідеалізованих моделей об'ємних спіральних антен НВЧ з їх фізичними зразками шляхом аналізу основних характеристик.

Шляхом моделювання в HFSS досліджувалися характеристики спрямованості одно- та тривиткової спіралей у вигляді просторових діаграм спрямованості та характеристик узгодження цих антен з лініями живлення. Для цього розраховувались частотні залежності модуля вхідного імпедансу, коефіцієнту стоячої хвилі за напругою та коефіцієнту підсилення в діапазоні частот 3..6 ГГц.

Ширина головної пелюстки діаграми спрямованості одновиткової спіральної антени вдвічі вужча від її моделі:  $35^\circ$  проти  $70^\circ$  в діапазоні робочих частот 4..5,4 ГГц (де  $K_{CX}<2$  і антена мала спрямовані властивості).

За цих же геометричних розмірів (діаметра витка й кроку спіралі) тривиткова спіральна антена виявилась непрацездатною у діапазоні частот від 4,9 ГГц до 5,6 ГГц, оскільки її діаграма спрямованості - багатопелюсткова. В діапазоні частот 5,6..6,0 ГГц (де  $K_{CX}<2$  і антена мала спрямовані властивості) ширина діаграми спрямованості становила  $20^\circ$ , а в діапазоні 2,8..3,3 ГГц -  $35^\circ$  (але тут  $K_{CX}>2$ ). У той час у моделі цієї антени ширина головної пелюстки склала  $45^\circ$  й  $55^\circ$ , відповідно, а теорія дає  $61^\circ$  (для 5,25 ГГц).

Виявлені розбіжності викликають необхідність проведення докладних досліджень щодо сталості ширини діаграми спрямованості спіральних антен з малою ( $N<3$ ) кількістю витків та її розширення, оскільки це питання є дуже важливим для засобів радіоелектронної протидії і мало досліджено у літературі.

### Список використаних джерел

1. Parsche F. The All Polarization Helix Antenna: The Sine Wave Antenna. 2025 *IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, Cocoa Beach, FL, USA, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/iWAT64079.2025.10931211.
2. Parsche F. E. A New Axial Mode Helix Antenna: The Archimedean Screw Antenna. 2023 *IEEE Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, Melbourne, FL, USA, 2023, pp. 109-112, doi: 10.1109/WAMICON57636.2023.10124885.
3. He J. and Cao Z. A Low-profile and Wideband Normal Mode Helix Antenna with Parasitic Helical Structure. 2023 *IEEE 11th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, Guangzhou, China, 2023, pp. 1-2, doi: 10.1109/APCAP59480.2023.10469786.
4. Chen Z., Zhang Z., Zhu H. and Hu Z. Circularly Polarized Cross-Helix Antenna With Quasi-Hemispherical 3 dB Axial Ratio Coverage. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 24, no. 10, pp. 3804-3808, Oct. 2025, doi: 10.1109/LAWP.2025.3605606.

5. Attaran A., Mirhassani M., Aloi D. Internal Helix Antennas: A Practical Solution for Miniaturized UHF Wireless Audio Transmitters. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. January 2026 PP(99):1-1. doi: 10.1109/TCE.2026.3667826.
6. Yang X., Xu Y., Dou Y., Zhang M. A Dual-Linearly-Polarized Center-Fed Quadrifilar Helix Antenna Loaded With Reverse Helices. *IEEE Access*, vol. 13, pp. 132146-132154, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3592776.
7. Xu Y., Yang X., Dou Y., Zhang M. Compact Helical Antenna With Counter-Wound Structures for 5G-NR Applications. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 6, no. 5, pp. 1413-1422, Oct. 2025, doi: 10.1109/OJAP.2025.3583933.
8. Panusch D., Hubert F., Bachbauer F., Lomakin K., Gold G. Additively Manufactured Helix Antenna for X-Band Applications. 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Madrid, Spain, 2022, pp. 1-4, doi: 10.23919/EuCAP53622.2022.9769342.
9. Panusch D., Shi J., Lomakin K., Gold G. Additively Manufactured Endfire Bifilar Helix Antenna for E-Band. 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Florence, Italy, 2023, pp. 1-4, doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133371.
10. Ajam M. A., Tawk Y., Costantine J. Single and Dual Helical Polarizers for Millimeter-Wave Horn Antennas. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 7, no. 1, pp. 18-25, Feb. 2026, doi: 10.1109/OJAP.2025.3628165.
11. Sureda M. Design and Testing of a Helix Antenna Deployment System for a 1U CubeSat. *IEEE Access*, vol. 9, pp. 66103-66114, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075660.
12. Meiguni J., Pommerenke D. Theory and Experiment of UWB Archimedean Conformal Spiral Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2019. 67(10), 6371-6377. Article 8753658. <https://doi.org/10.1109/TAP.2019.2925183>
13. Lira-Valdés T., Rajo-Iglesias E., Pizarro F. 3-D-Printed Spiral Leaky Wave Antenna With Circular Polarization. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 4, pp. 427-433, 2023, doi: 10.1109/OJAP.2023.3264739
14. Shemelya C., Zemba M., Liang M., Yu X., Espalin D., Wicker R., Xin H., MacDonald E. Multi-Layer Archimedean Spiral Antenna Fabricated Using Polymer Extrusion 3D Printing. *Microwave and Optical Technology Letters*. Jul. 2016, vol. 58, no. 7, pp. 1662-1666, doi: 10.1002/mop.29881
15. Gupta E, Bonner C, Muhammed F, McParland K, Mirotznik M. Design and fabrication of multi-material broadband electromagnetic absorbers for use in cavity-backed antennas. *Heliyon*. 2023 Mar 6;9(3):e14164, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14164
16. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны: 11-е изд.: пер. с нем.: в 2 т. М.: Данвел, 2007. Т. 2. 416 с.
17. Helix antenna design and construction details. URL: <https://jccoppens.com/ant/helix/calc.en.php> (дата звернення: 20.03.2026)

**Chornoborodova N. P., Chornoborodov M. P., Bugrova T. I., Logacheva L. M.,  
Morshchavka S. V., Smetanin I. M.**

## DISCREPANCY BETWEEN THEORY AND PRACTICE OF HELIX ANTENNAS

*The subject of the article was single-turn and three-turn volumetric spiral antennas in the 3..6 GHz range for electronic warfare against unmanned aerial vehicles. The aim of the article was to compare the results of three-dimensional simulation in the HFSS environment with the results of measurements of directivity characteristics and matching of physical prototypes, which were*

*manufactured in accordance with the geometry and materials of the model. To achieve the goal, the geometry of the antennas was calculated, models of single-turn and three-turn spiral antennas were created in the HFSS microwave device design environment and the dimensions were optimized according to the criterion of maximum width of the directivity diagram. The frequency dependences of the directivity characteristics and matching with the power line in the HFSS environment were established, namely, the impedance magnitudes, standing wave coefficients, gain coefficients and directivity diagrams of single- and three-turn spirals with metal screens were calculated. To compare the results of calculations and experiments, prototypes of antennas were manufactured according to the calculated dimensions and experimentally investigated by directly measuring their radiation patterns at a frequency of 5.25 GHz and the quality of matching with a power line in the form of a coaxial cable with a wave impedance of 50 Ohms. The quality of matching of spiral antennas was estimated by the value of the standing wave coefficients in the range from 3 to 6 GHz. A comparison of the literature, calculated and measured characteristics showed quite large discrepancies, which turned out to be quite significant, especially with respect to the width of the radiation patterns. It was established that the degree of discrepancy of the results depends on the number of turns of the volumetric spiral and decreases with increasing number of turns. The discrepancy between the simulation and the experiment ranged from 20% to 50% in the matching characteristics and from 34% to 50% in the width of the directional patterns (38° and 50° for a single-turn helix in the experiment and in the model, respectively, and 25° and 36° for a three-turn helix), with the convergence increasing with an increase in the number of turns of the helix.*

**Keywords:** *helix antenna; radiation pattern; VSWR; EW; simulation environment; HFSS.*

*Стаття надійшла 05.04.2026*

*Стаття прийнята 07.04.2026р.*

*Стаття опублікована 30.04.2026р.*