

О. О. Костиря, А. А. Гризо, О. М. Додух, І. М. Невмержицький, О. А. Нагорнюк,
В. М. Міняйло

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БАГАТОДІАПАЗОННОГО ІМІТАТОРА ПОСТАНОВНИКА АКТИВНИХ ШУМОВИХ ПЕРЕШКОД

У статті висвітлено інформацію щодо результатів експериментальних досліджень багатодіапазонного програмно-апаратного комплексу імітації дії постановника активних шумових перешкод, який було створено для тренування операторів радіолокаційних станцій радіотехнічних військ.

Одним із важливих елементів фахової підготовки обслуг радіолокаційних станцій радіотехнічних військ протиповітряної оборони є їх навченість роботі в складних цільових та заводових умовах. Наявні тренажери з підготовки операторів не відповідають у повній мірі вимогам із якості навчання, оскільки формують лише вторинні позначки пеленга на постановник перешкод та не відтворюють ситуацію погіршення умов виявлення цілей унаслідок одночасної дії активної та пасивної перешкод, а також вплив автокомпенсатора перешкод на якість роботи радіолокатора, як це відбувається в реальній обстановці.

Запропонований пристрій імітації впливу активних перешкод побудовано за модульним принципом та реалізовано за допомогою технології програмновизначеного радіо, що дозволяє оперативно змінювати як вид перешкоди, так і її параметри. Підсилювачі потужності та антенні системи виконані для роботи в діапазонах 140–190 МГц, 470–900 МГц та 2500–3500 МГц, а для експериментальних досліджень залучалися радіолокаційні станції метрового, дециметрового та сантиметрового діапазонів хвиль. Обґрунтовано також методика застосування імітатора. Проведені дослідження показали, що для радіолокаційних станцій, у яких кутomisні промені діаграми спрямованості мають різні робочі частоти, є додаткова можливість імітації дії постановника активних перешкод за рахунок зміни частоти перешкоди, у разі роботи комплексу безпосередньо поблизу об'єкта подавлення, де діаграма спрямованості антени радіолокаційної станції ще не сформована. Обґрунтовано методика застосування комплексу як для навчальних занять, так і в ході тактичних навчань підрозділу радіотехнічних військ для імітації дії постановника перешкод повітряного базування або передавача перешкод, що закидається.

Ключові слова: *активна шумова перешкода; імітація; програмно-апаратний комплекс; радіолокаційна станція; програмновизначене радіо.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Досвід застосування підрозділів радіотехнічних військ (РТВ) під час агресії російської федерації проти України свідчить про нагальну необхідність суттєвого покращення якості підготовки розрахунків радіолокаційних станцій (РЛС) до бойової роботи в складних сигнально-перешкодових

© О. О. Костиря, А. А. Гризо, О. М. Додух, І. М. Невмержицький, О. А. Нагорнюк, В. М. Міняйло, 2022

умовах [1–3]. Це спричинено широким застосуванням малорозмірних засобів повітряного нападу (ЗПН), особливо безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а також одночасним впливом активних та пасивних перешкод, що зумовлює раптовість і прихованість дій повітряного противника [4–6]. Оператори мають бути готові до дій у такій обстановці, що потребує отримання та закріплення практичних навичок як із виявлення самого факту постановки перешкоди, так і з визначення її виду, напрямку, з якого вона діє, щоб оптимізувати режими огляду простору та обрати оптимальні режими роботи систем захисту від перешкод й оцінити їх ефективність.

Наземні оглядові РЛС РТВ, які знаходяться на типових позиціях, зазвичай ведуть розвідку повітряного простору за умов дії пасивних перешкод, що мають переважно природний характер. Вони, зазвичай, викликані відбиттям від підстильної поверхні та гідрометеорів.

Активні шумові перешкоди (АШП), як правило, мають навмисний характер, їх застосовують для прикриття дій ЗПН [7–9], що робить неможливим проведення тренувань. Власні засоби радіоелектронного подавлення, які перебувають на озброєнні Збройних Сил (ЗС) України, не можуть використовуватися для тренування операторів за необхідності забезпечення заходів протидії іноземним технічним розвідкам, а також виконання умов електромагнітної сумісності з іншими працюючими радіоелектронними засобами. Наявні тренажерні системи підготовки операторів забезпечують формування лише вторинних позначок пеленга на джерело перешкодового сигналу та не можуть відображати більш «тонкі» особливості роботи апаратури, а саме ефект погіршення якості компенсації перешкод у разі, коли одночасно діють активні та пасивні перешкоди. Також неможливо відтворити вплив роботи автокомпенсатора перешкод на якість виявлення цілей.

Окремий клас постановників активних перешкод (ПАП), який має свої особливості, – постановники перешкод, що закидаються (ППЗ). Конструктивне виконання ППЗ визначає тактику їх застосування в ближній зоні діаграми спрямованості антени (ДСА), де вона ще не сформувалася, що робить неможливим визначення пеленга на ПАП та ефективне формування провалів у зоні виявлення в напрямку на ПАП, а тому ефективність роботи автокомпенсатора АШП падає. Оператор має бути підготовленим та мати практичні навички роботи з виявлення факту дії ППЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика застосування імітаторів ПАП для проведення тренувань операторів та полігонних випробувань РЛС широко висвітлюється в літературі, а також розробляються методики використання таких пристроїв. Щодо загальних тенденцій, основних понять та вимог до сучасних комплексів імітації постановників перешкод відносно РЛС РТВ, то слід звернути увагу на [10]. В [11, 12] запропоновано варіант методики визначення основних параметрів наземних передавачів перешкод малої потужності, які б здійснювали на роботу РЛС такий самий вплив, як і реальні постановники АШП. Загальні принципи побудови програмно-апаратного імітатора первинних радіолокаційних сигналів диспетчерського радіолокатора розглянуто в [13]. Запропонований пристрій може бути використано для відтворення моделей вхідних сигналів радіолокатора, а також для тренування операторів. У роботі [14] розглянуто особливості проведення полігонних випробувань за допомогою імітаторів ПАП, проаналізовано вимоги до визначення їх місця розташування. Залежно від відстані

постановника перешкод до РЛС розглянуто такі моделі впливу: ПАП знаходиться в дальній зоні виявлення, тому перевідбиттям сигналу від підстильної поверхні можна знехтувати; у другій моделі враховується спотворення ДСА за рахунок перевідбиття електромагнітної енергії; третя модель відображає особливості розміщення імітатора ПАП у ближній зоні виявлення, оскільки дозволяє враховувати сферичність фазового фронту радіохвиль. Зазначено, що коли імітатор ПАП знаходиться в ближній зоні, то кутовий розмір позначки пеленга на екрані РЛС збільшується майже в півтора раза та знижується потенційна якість роботи системи перешкодозахисту. Тобто із ближньої зони імітатор ПАП впливає сильніше, ніж еквівалентний за потужністю ПАП зі стандартної відстані 200 км.

Аналіз літератури показує, що автори переважно зосереджувалися на визначенні тактико-технічних характеристик РЛС в умовах дії активних перешкод, для чого і розроблялися методики використання імітаторів ПАП та їх принципи побудови. Оскільки тренування операторів передбачає лише відтворення на екрані робочого місця, подібного саме до реального відображення прояву перешкоди, то іншими вимогами до імітаторів можна знехтувати, а це дозволяє суттєво спростити варіант побудови пристрою імітації ПАП.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розробка методики застосування та висвітлення результатів експериментальних випробовувань програмно-апаратного комплексу імітації дії постановника радіоперешкод, який забезпечує імітацію впливу АШП в усіх частотних діапазонах, що використовуються оглядовими РЛС РТВ, та дозволяє здійснювати тренування операторів в умовах, максимально наближених до реальних.

Виклад основного матеріалу

Побудова та принцип роботи програмно-апаратного комплексу імітації ПАП

Найпоширенішим способом застосування постановників АШП повітряного базування під час прориву системи протиповітряної оборони є колективне прикриття, коли бортові комплекси радіоелектронної боротьби перебувають поза межами зон ураження вогневими засобами противника [1, 3, 9]. У такому разі ПАП баражують на висоті 1,5–3 км на відстані близько 100–150 км від РЛС. За таких умов кутомісне положення ПАП відносно РЛС, яка подавляється, становить близько 1° – 2° , тобто перешкода діє в першому промені ДСА. Така тактика застосування ПАП є найбільш доцільною для противника, оскільки дозволяє здійснити прикриття переважної більшості засобів повітряного нападу (ударні літаки, вертольоти, БпЛА різного призначення), які і мають виявлятися саме в цьому промені. У свою чергу, боєздатність підрозділу РТВ значною мірою залежить від спроможності операторів РЛС вести повітряну розвідку саме у такій складній цільовій та перешкодовій обстановці. Тому необхідно проводити систематичні тренування із супроводу повітряних цілей у складних перешкодових умовах, а для цього замість реальних польотів ПАП доцільно використовувати малопотужні імітаційні пристрої, встановлені на позиції РЛС.

У ході досліджень розроблено принцип побудови та створено діючий макет такого імітатора ПАП. На рис. 1 наведено структурну схему пристрою.

Імітатор ПАП побудовано за відомою схемою «малопотужний збуджувач – підсилювач потужності». Як джерело сигналу використовується пристрій HackRF ONE, який керується персональним комп'ютером. Цей пристрій побудовано за технологією

SDR (англ. Software-defined radio), згідно з термінологією, запропованою в [15], трактується як програмновизначене радіо. Програмновизначене радіо – це методи побудови радіосистем, якими передбачається реалізація функцій фізичного рівня за рахунок програмного забезпечення. Тобто сутність технології SDR полягає в тому, що базові параметри приймально-передавальних пристроїв та алгоритми обробки сигналів визначаються не апаратною конфігурацією, а використаним програмним забезпеченням.

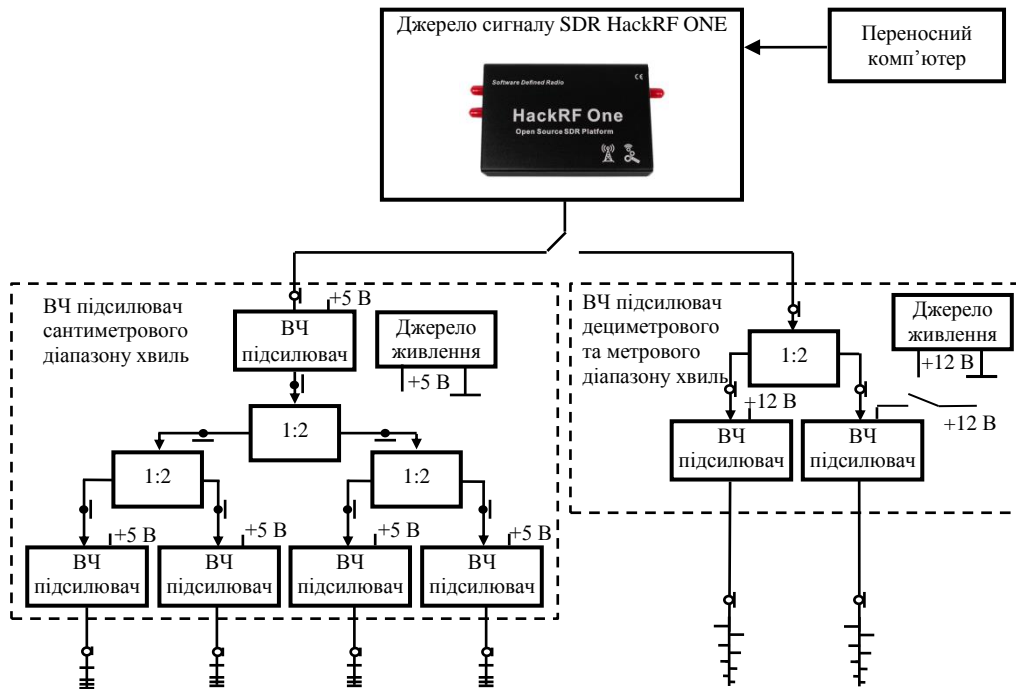


Рис. 1. Структурна схема імітатора ПАП

Програмне забезпечення для пристрою імітації дії ПАП створено за допомогою вільно розповсюдженого програмного продукту GNU Radio Companion (GRC). GNU Radio – це відкритий і безкоштовний пакет програм, призначений для цифрової обробки сигналів у наукових, освітніх або комерційних цілях. Система складається з великої кількості готових блоків. До GNU Radio входить також візуальний редактор, який дозволяє з'єднувати блоки в готовий «пристрій», взагалі не використовуючи мову програмування [16, 17].

Модульна побудова з використанням COTS-технології забезпечує простоту, високу швидкість розробки та низьку вартість технічних рішень, що застосовуються. Використання SDR-технології в побудові збуджувача сигналу дозволяє генерувати сигнали різних видів у діапазоні 1–6000 МГц, що охоплює всі зразки РЛС РТВ.

Функціонально імітатор складається з програмованого джерела радіосигналів, керування яким здійснюється за допомогою переносного комп'ютера, та двох схожих за принципом побудови блоків височастотного (ВЧ) підсилення з антенними системами.

Сформований сигнал із виходу HackRF ONE подається на ВЧ підсилювач сантиметрового або дециметрового (метрового) діапазону хвиль. ВЧ підсилювач метрового та дециметрового діапазону, зовнішній вигляд якого та використану елементну базу наведено на рис. 2а, забезпечує роботу в діапазоні частот 1–2000 МГц. Однак під час експерименту його вихідні сигнали обмежувалися діапазонами 140–190 МГц та 470–900 МГц, що визначалося

характеристиками випромінювальних антен. Цей підсилювач є двоканальним з просторовим складанням потужності, однак його можна використовувати й в одноканальному режимі, вимикаючи живлення одного з підсилювачів.

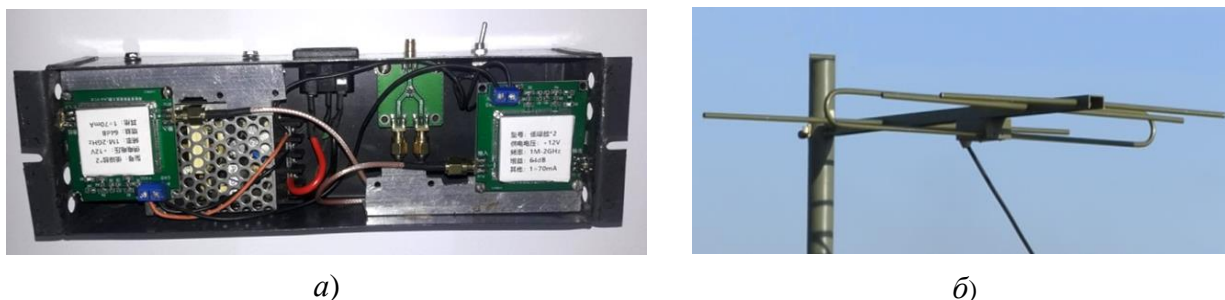


Рис. 2. Зовнішній вигляд, елементна база підсилювача дециметрового і метрового діапазонів хвиль (а) та антена метрового діапазону хвиль зі щоглою (б)

Для роботи імітатора ПАП у метровому діапазоні хвиль використано антени типу «хвильовий канал» зі складу компенсаційного каналу РЛС П-18 «Малахіт» (рис. 2б).

Антенна система дециметрового діапазону є двоелементною антенною решіткою. Як елемент системи застосовано широкосмугову логоперіодичну антену загального користування для приймання 21–69 телевізійних каналів. За коефіцієнтом підсилення така антена еквівалентна три-чотириелементній антені типу «хвильовий канал», яка використовується в метровому каналі. Підключення антен до ВЧ підсилювачів здійснюється коаксіальними лініями однакової електричної довжини.

Кутомісні канали виявлення РЛС 19Ж6 (35Д6), П-37 працюють на різних робочих частотах, а тому шляхом зміни середньої частоти вихідного сигналу імітатора ПАП можна забезпечити наявність АШП окремо в кожному з кутомісних променів, коли імітаційний комплекс діє «з поверхні» поруч з РЛС, також у подальшому можна використовувати будь-які радіосигнали, змінюючи програмне забезпечення за незмінної побудови, що надає розробленому пристрою гнучкості та адаптивності.

ВЧ підсилювач сантиметрового діапазону має чотириканальну побудову із просторовим складанням потужності. Його виконано із застосуванням смужкової технології. Зовнішній вигляд та побудову підсилювача сантиметрового діапазону з антенною системою 10 см діапазону наведено на рис. 3. Сигнал спочатку подається на вхідний ВЧ підсилювач, за допомогою якого забезпечується рівень потужності, достатній для подальшого поділу на чотири канали. Поділ потужності здійснюється через послідовне включення смужкових ділянок на два. ВЧ підсилювальні модулі TQP3M9009 включені безпосередньо в смужкові лінії та мають жорстке кріплення, корпус підсилювача – це силова складова антенної системи, що є чотириелементною антенною решіткою.

Створений багатодіапазонний програмно-апаратний імітаційний комплекс забезпечує отримання операторам РЛС РТВ практичних навичок бойової роботи за умов реального впливу АШП. Комплекс може бути використано під час навчальних занять, а також у ході тактичних навчань підрозділу РТВ для імітації дії постановника АШП повітряного базування або впливу ППЗ. У наведеному варіанті побудови комплексу застосовані

підсилювальні елементи можуть імітувати вплив ПАП у діапазоні 1–4000 МГц. Конкретний частотний діапазон обирається використанням відповідних антенних систем.

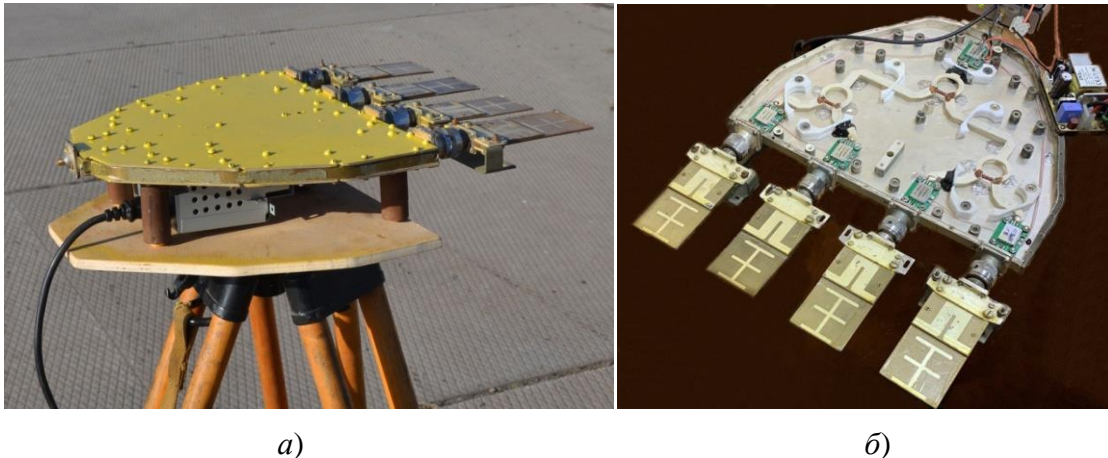


Рис. 3. Зовнішній вигляд (а), побудова (б) підсилювача сантиметрового діапазону з антенною системою

Обґрунтування методики використання імітатора ПАП

Методика застосування імітатора ПАП полягає у визначенні відстані та положення пристрою відносно об'єкта подавлення, що і було перевірено під час експериментальних досліджень на позиції навчально-тренувального комплексу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.

Для знаходження потрібного віддалення імітатора від РЛС, що подавляється, скористаємося виразом для визначення дальності дії ПАП [18].

Дальність подавлення залежить від енергетичних потенціалів, форм ДСА РЛС і ПАП та їх взаємного просторового положення. Максимальне віддалення, на якому може знаходитися ПАП для забезпечення потрібного значення коефіцієнта подавлення з потужності K_{Π} (у межах відстані об'єкт прикриття – РЛС, яка подавляється), знаходимо за формулою [18]

$$D_{\text{ПАП}} \leq D_{\text{РЛС}}^2 \sqrt{\frac{4\pi P_{\text{ПАП}} G_{\text{ПАП}} \Delta f_{\text{РЛС}} \gamma_n}{P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}} \Delta f_{\text{ПАП}} K_{\Pi} \sigma_{\text{ц}}}} \quad (1)$$

за умови, що $\Delta f_{\text{ПАП}} > \Delta f_{\text{РЛС}}$,

де $D_{\text{РЛС}}$ – дальність виявлення цілі РЛС, м;

$P_{\text{ПАП}}$, $P_{\text{РЛС}}$ – потужності сигналу ПАП та зондувальних сигналів РЛС відповідно, Вт;

$G_{\text{ПАП}}$, $G_{\text{РЛС}}$ – коефіцієнт підсилення антен ПАП та РЛС відповідно;

$\Delta f_{\text{РЛС}}$ – ширина смуги пропускання лінійної частини радіоприймача РЛС, Гц;

γ_n – коефіцієнт поляризаційної недосконалості перешкоди, що враховує відмінність поляризації сигналу та перешкоди ($0 \leq \gamma_n \leq 1$);

$\Delta f_{\text{ПАП}}$ – ширина спектра перешкоди, що випромінюється ПАП, Гц;

σ_y – ефективна поверхня розсіювання цілі, що прикривається, м².

Коефіцієнт подавлення з потужності K_{Π} – це мінімально необхідне співвідношення потужності перешкоди P_n та корисного сигналу P_c на вході лінійної частини радіоприймача, за якої досягається необхідний ступінь подавлення РЛС, визначається за формулою [18]

$$K_{\Pi} = (P_n / P_c)_{\min} = Lq^2 / 2,$$

де L – коефіцієнт втрат корисного сигналу в приймальному тракті;

$q^2 = 2E / N_0$ – параметр виявлення;

E – енергія корисного сигналу;

N_0 – спектральна щільність потужності власних шумів приймального пристрою РЛС.

Для виконання необхідних розрахунків за виразом (1) скористаємося паспортними характеристиками РЛС, які залучалися до проведення експериментальних досліджень, а саме метрового діапазону хвиль П-18 «Малахіт», дециметрового діапазону П-19МА та сантиметрового діапазону 19Ж6.

Визначимо параметри імітатора ПАП.

Для підсилювача дециметрового та метрового діапазонів з відповідними антенними системами (рис. 2а) $G_{ПАП} \approx 1,4$, сумарна потужність $P_{ПАП}$ становить близько 250 мВт, ширина спектра вихідного сигналу $\Delta f_{ПАП} = 2$ МГц. Розрахунки за формулою (1) показують, що для подавлення РЛС П-18 «Малахіт» необхідно розміщувати імітатор на відстані до 400 м від антени. Варіювання віддаленням імітатора разом із двоступінчатою зміною потужності вихідного сигналу забезпечують зміну інтенсивності АШП у широких межах та дають змогу створювати різновиди заводової обстановки.

Для каналу імітатора ПАП сантиметрового діапазону (рис. 3) $G_{ПАП} \approx 4$, сумарна потужність дорівнює приблизно 500 мВт, ширина спектра перешкоди 2 МГц. З підстановки до формули (1) випливає, що для імітації дії ПАП пристрій має бути розміщено на відстані до 200 м від антени.

Слід зауважити, що в разі розміщення імітатора ПАП на малих відстанях від антен РЛС провали ДСА розпливаються та згладжуються, сектор ефективного подавлення значно розширюється відносно тієї ширини, що була б за дії стандартного ПАП. Крім того, реальний ПАП може бути розташованим у напрямку інтерференційного провалу, що призведе до зниження рівня перешкоди на 10–13 дБ, а тому прояв імітованої перешкоди буде більш інтенсивним [11].

Результати експериментальних досліджень макета імітатора ПАП

Для перевірки працездатності розробленого макета імітатора ПАП та методики його застосування було проведено низку натурних експериментів із залученням РЛС різних частотних діапазонів.

Щодо можливості використання імітатора метрового та дециметрового діапазонів хвиль фактично йдеться про дослідження його впливу на працездатність РЛС типів П-18 (5Н84А), П-19 та їх подальших модернізацій, а саме П-18 «Малахіт», П-18МА, 5Н84АМА,

П-19МА. Ці РЛС, відповідно до загальної класифікації, є двокоординатними, тому під час впливу ПАП з різних кутомісних напрямів вигляд їх екранів кругового огляду буде однаковим, відмінності визначатимуть тільки енергетичні співвідношення та особливості технічної реалізації самих РЛС. Експериментальна перевірка імітатора ПАП у метровому діапазоні хвиль проводилася із використанням РЛС П-18 «Малахит» (рис. 4а), а в дециметровому – РЛС П-19МА (рис. 5а).

На рис. 4 демонструється вплив імітатора ПАП, який діє в ближній зоні, на роботу РЛС П-18 «Малахит». Рис. 4б відображає екран робочого місця оператора РЛС, коли імітатор ПАП не працює. На екрані бачимо лише відбиття від місцевих предметів. На рис. 4в наведено фото монітора в умовах дії АШП, унаслідок чого спостерігається засвічення практично всієї зони виявлення, що можна пояснити малою відстанню імітатора від антени РЛС, а тому відбувається суттєве збільшення ефективності подавлення порівняно з дією стандартного ПАП, тобто сектор дії АШП додатково розширився на 70–150%. Рис. 4в також свідчить про те, що провали у ДСА згладжуються та розпливаються, це й призводить до наявного ефекту. Така ж ситуація реально може спостерігатися під час впливу ПАП великої потужності або ж у разі розташування ППЗ поблизу РЛС.

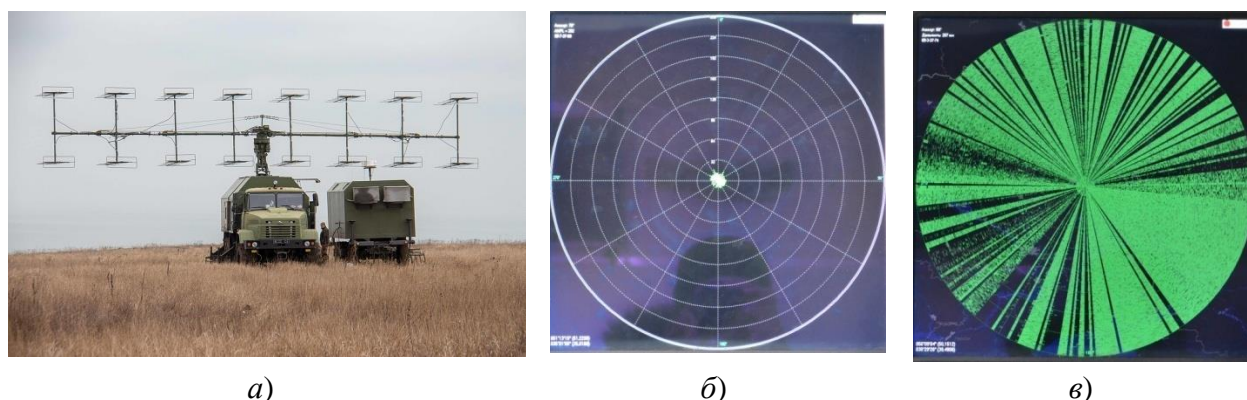


Рис. 4. РЛС метрового діапазону хвиль П-18 «Малахит» (а), фото екрана робочого місця оператора без перешкод (б) та за наявності потужної АШП (в)

Для РЛС типу П-18, П-18МА, 5Н84А, 5Н84АМА результат буде схожим.

На рис. 5б, 5в наведено фото екрана робочого місця оператора РЛС П-19МА відповідно за відсутності АШП та за її наявності. На екрані монітора спостерігається «шумова доріжка» – це колоподібна лінія на змінній дальності, яка відображає загальну перешкодову обстановку. Вона показує оператору інтегральний рівень шумових перешкод та як змінюється зона виявлення РЛС у відповідному напрямку залежно від цього рівня.

За наявності перешкоди «шумова доріжка» суттєво викривляється в сторону зменшення зони виявлення та частково спотворюється в цілому, що вірогідно спричинено перевідбиттям сигналу перешкоди від місцевих предметів. Основна АШП діє з напрямку 160° (рис. 5в), унаслідок чого значна частина «шумової доріжки» зазнала спотворення порівняно із ситуацією, наведеною на рис. 5б.

Для дослідження впливу імітатора ПАП на РЛС 19Ж6 (рис. 6а) його було розміщено в ближній зоні антени та за допомогою HackRF ONE здійснювалося послідовне формування АШП для кутомісних каналів РЛС.

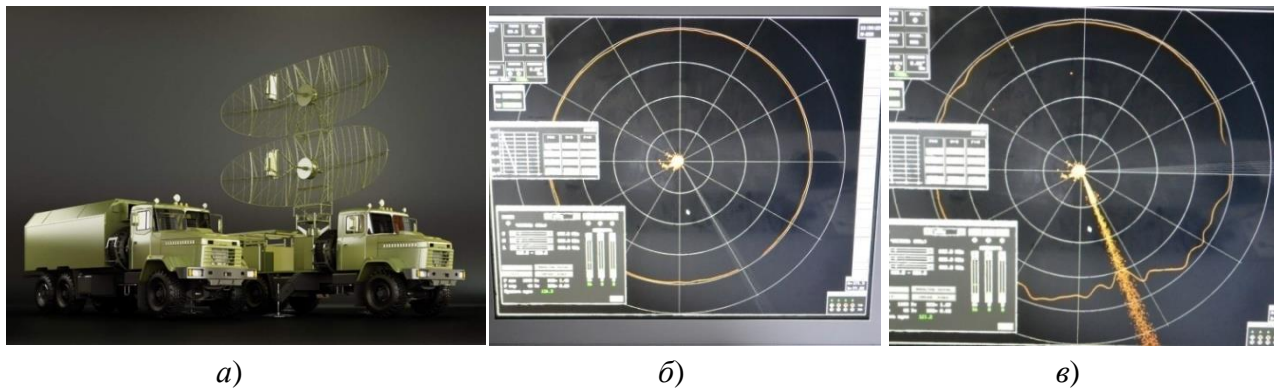


Рис. 5. РЛС дециметрового діапазону хвиль П-19МА (а), фото екрана робочого місця оператора без перешкод (б) та за наявності активної перешкоди з напрямку 160° (в)

На рис. 6б для порівняння з наступними наведено фото екрана робочого місця оператора РЛС 19Ж6 за відсутності перешкод.

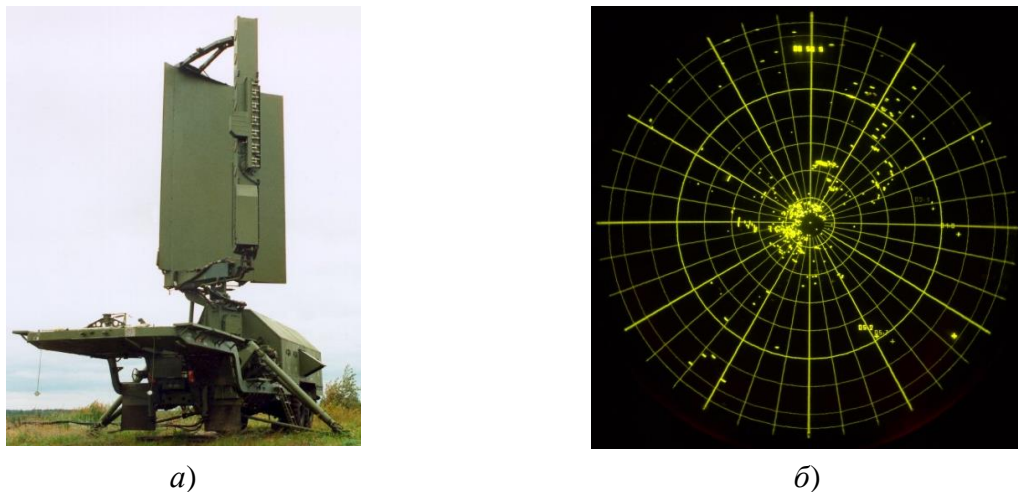


Рис. 6. РЛС сантиметрового діапазону хвиль 19Ж6 (а) та фото екрана робочого місця оператора без перешкод (б)

Фото екрана робочого місця оператора РЛС під час формування АШП на чотирьох різних частотах наведено на рис. 7. Позначки пеленга формуються апаратурою РЛС поза робочою ділянкою дистанції виявлення на тих азимутальних напрямках, з яких діє АШП. Напрямуку на імітатор ПАП відповідає пеленг за азимутом 95° , інші пеленги спричинені перевідбиттями сигналів перешкоди від розташованих поблизу РЛС споруд.

Щодо методики використання розробленого імітатора для підготовки операторів отримані результати можна інтерпретувати таким чином. Спочатку розглянемо ситуацію, яку зображено на фото індикатора кругового огляду рис. 7а. Вона відповідає умовам, коли під час роботи РЛС 19Ж6 застосовується ПАП типу Мі-8ППА, який баражує на висоті 5 км у зоні розміром 50–100 км на відстані від РЛС 100–150 км. Борт обладнано станцією перешкод СПС-63, яка випромінює АШП з довжиною хвилі $\lambda = 10$ см та спектральною щільністю потужності перешкоди $P = 50 \dots 250$ Вт/МГц. У разі застосування такого способу постановки АШП кутове положення і відстань ПАП відносно РЛС змінюються в незначних межах, а тому постановник перешкод постійно перебуває в першому кутомісному промені.

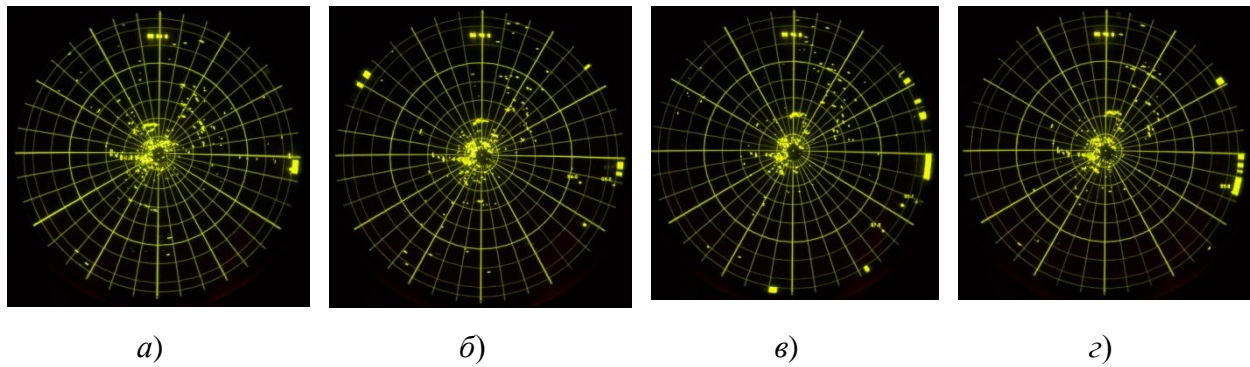


Рис. 7. Фото екрана робочого місця оператора РЛС 19Ж6 під час роботи імітатора ПАП на чотирьох різних частотах кутомісних променів

Інша ситуація спостерігається, коли для постановки перешкод використовуються середні за розміром БпЛА тактичного рівня типу «Орлан-10», які діють на висотах до 3 км на відстані 50–70 км від РЛС. За таких обставин перешкода може потрапляти в перший, другий та третій кутомісні промені та при незмінній висоті польоту за умов, наприклад, наближення до РЛС з дальності 70 км до 50 км, пеленг буде спостерігатися спочатку в першому – другому променях з переміщенням до другого – третього (рис. 7а, 7б, 7в).

Для інших РЛС, у яких зона виявлення також створюється за допомогою куточастотних каналів, – це П-37 та 35Д6, у разі впливу імітатора ПАП спостерігатимуться схожі результати.

Перешкоди великої потужності випромінюються спеціалізованими ПАП, як правило, повітряного базування, а малогабаритні ПАП типу ППЗ використовують для формування АШП з невеликою потужністю. Створений імітатор ПАП дозволяє в широких межах регулювати потужність перешкоди, змінюючи відстань від РЛС та потужність вихідного сигналу імітатора. Крім того, можна оперативно змінювати параметри випромінюваних перешкод і таким чином відтворювати необхідну ситуацію щодо застосування АШП з метою покращення якості підготовки бойових обслуг радіолокаційних станцій РТВ ППО.

Висновки. Результати експериментальних досліджень багатодіапазонного програмно-апаратного комплексу імітації дії ПАП показали доцільність його використання для підготовки бойових розрахунків РЛС, які перебувають на озброєнні РТВ Повітряних Сил Збройних Сил України. Комплекс забезпечує можливість проведення тренувань операторів радіолокаційних засобів в умовах, максимально наближених до реальних, що сприяє більш досконалому опануванню військової техніки. Дослідження проводилися для частотних діапазонів 140–190 МГц, 470–900 МГц та 2500–3500 МГц, що охоплює наявну номенклатуру РЛС РТВ. Обґрунтовано методику практичного використання розробленого імітатора, достовірність якої підтверджено в ході експериментальних досліджень. Застосування технології програмновизначеного радіо забезпечує оперативне керування видом та параметрами вихідних перешкод імітатора без зміни його принципової схеми. Досліджений пристрій дозволяє відтворювати різновиди перешкодової обстановки, які охоплюють переважну більшість можливих варіантів застосування ПАП. Програмно-апаратний комплекс можна застосовувати для проведення тактичних навчань підрозділу РТВ та під час навчальних занять для імітації дії ПАП повітряного базування або ППЗ. Перспективою подальших досліджень у цьому напрямку

є доопрацювання комплексу та методики його використання для перевірки ефективності роботи систем компенсації перешкод діючих зразків РЛС РТВ.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз застосування угруповання повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці / С. І. Корсунов, О. В. Лезік, Ю. О. Галкін та ін. // Зб. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. Харків : ХНУПС, 2020. № 4 (66). С. 7–18. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01>
2. Шамко В. Є., Жарик О. М., Коваль В. В. Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних умовах ведення збройної боротьби // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХНУПС, 2018. № 2 (31). С. 9–15. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01>
3. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС / С. П. Корнійчук, О. В. Турінський, Г. В. Певцов та ін. [За заг. ред. С. П. Корнійчука]. Харків : ДІСА ПЛЮС, 2020. 1220 с.
4. Алімпієв А. М., Певцов Г. В. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХНУПС, 2017. Вип. 2 (27). С. 19–25.
5. Аксьонов П. Чому Азербайджан виграв війну у Карабаху? Відповідають військові експерти. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54912350> (дата звернення: 01.06.2022).
6. Російські засоби РЕБ у бойових діях на Донбасі. URL: <http://www.ukrmilitary.com/2016/05/russian-reb-v-donbasse.html> (дата звернення: 10.06.2022).
7. Lavrov A. Russian UAVs in Syria // Moscow Defense Brief. 2017. № 2 (58). URL: <http://mdb.cast.ru/mdb/2-2017/item3/article4/> (last accessed: 10.06.2022).
8. Яцук К. В., Стафеев М. С., Казаринов С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах // Молодой ученый. 2016. № 25. С. 107–111. URL: <https://moluch.ru/archive/129/35666/> (дата обращения: 10.06.2022).
9. Кучеренко Ю. Ф., Гузько О. М. Деякі особливості сучасних локальних війн // Зб. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. Харків : ХНУПС, 2008. № 2 (17). С. 20–23.
10. Грызо А. А., Гриб Д. А., Лещенко С. П. Анализ опыта построения имитационных комплексов // Системы обработки інформації. Харків : ХНУПС, 2006. Вип. 5. С. 17–24.
11. Методика використання малопотужних наземних передавачів активних шумових перешкод для імітації перешкодової обстановки оглядовим радіолокаційним станціям / В. Й. Климченко, С. В. Кукобко, В. О. Тютюнник, Г. В. Рибалка // Системи озброєння і військова техніка. Харків : ХНУПС, 2018. Вип. 4. С. 27–34. <https://DOI:10.30748/soivt.2018.56.04>
12. Климченко В. Й., Лупандін В. А., Закіров С. В. Удосконалення методики розрахунку захищеності оглядових радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових перешкод // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХНУПС, 2020. Вип. 1 (34). С. 51–57. <https://DOI:10.30748/nitps.2019.34.07>
13. Хмарский П. А., Алирио Р. – К. Д., Соловйов А. И. Программно-аппаратный имитатор первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2017. Вып. 4. С. 112–121.

14. Зюкин В. Ф., Свистунов Д. Ю., Белавин А. В. Требования к удалению имитаторов активных помех при полигонных испытаниях РЛС // Системы обработки інформації. Харків : ХНУПС, 2013. Вип. 1. С. 56–60.
15. Павлюк В. В. Програмно визначене радіо. Вигляд ізсередини. Житомир : Вид-вець О. О. Євенок, 2021. 680 с.
16. Бібліотека gr-osmosdr B210. URL: <https://packages.debian.org/ru/sid/gr-osmosdr> (last accessed: 10.06.2022).
17. Модуль GNURadio DTV. URL: <https://github.com/gnuradio/gnuradio/tree/master/gr-dtv> (last accessed: 10.06.2022).
18. Сіденко В. П., Кубрак О. М. Основи теорії радіоелектронного подавлення та радіоелектронної розвідки. Ч. 1. Основи теорії радіоелектронного подавлення. Житомир : ЖВІРЕ, 2006. 248 с.

Стаття надійшла до редакції 01.07.2022.

REFERENCES

1. Korsunov, S. I., Lezik, O. V., & Halkin, Yu. O. et al. (2020). Analiz zastosuvannia uhrupovannia povitriano-kosmichnykh syl Rosiiskoi Federatsii u Syriiskii Arabskii Respublitsi [Analysis of the use of the air and space forces of the Russian Federation in the Syrian Arab Republic]. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Collection of Sciences. works of the Kharkiv National Air Force University]*, 4 (66), 7–18. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01> Kharkiv [in Ukrainian].
2. Shamko, V. Ye., Zharyk, O. M., & Koval, V. V. (2018). Rozvytok form i sposobiv zastosuvannia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy v suchasnykh umovakh vedennia zbroinoi borotby [Development of forms and methods of use of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine in modern conditions of armed struggle]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of Ukraine]*, 2 (31), 9–15. Kharkiv: KhNAFU. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01> [in Ukrainian].
3. Korniiichuk, S. P., Turinskyi, O. V., & Pievtsov, H. V. et al. (2020). *Suchasne озброєння i viiskova tekhnika Zbroinykh Syl Rosiiskoi Federatsii. Dovidnyk uchasnyka OOS [Modern weapons and military equipment of the Armed Forces of the Russian Federation. Handbook of the OOS participant]*. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Alimpiiev, A. M., & Pievtsov, H. V. (2017). Osoblyvosti hibrydnoi viiny RF proty Ukrainy. Dosvid, shcho otrymani Povitrianymy Sylamy Zbroinykh Syl Ukrainy [Features of the hybrid war of the Russian Federation against Ukraine. Experience gained by the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of Ukraine]*, 2 (27), 19–25. Kharkiv: KhNAFU [in Ukrainian].
5. Aksonov, P. (n.d.). *Chomu Azerbaidzhan vyhrav viinu u Karabakhu? Vidpovidaiut viiskovi eksperty [Why did Azerbaijan win the war in Karabakh? Military experts are responsible]*. Retrieved from <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54912350> [in Ukrainian].
6. *Rosiiski zasoby REB u boiovykh diiakh na Donbasi [Russian EW means in combat operations in Donbas]*. (n.d.). Retrieved from <http://www.ukrmilitary.com/2016/05/russian-reb-v-donbasse.html> [in Ukrainian].

7. Lavrov, A. (2017). Russian UAVs in Syria. *Moscow Defense Brief*, 2 (58). Retrieved from <http://mdb.cast.ru/mdb/2-2017/item3/article4/>
8. Iatsuk, K. V., Stafeev, M. S., & Kazarinov, S. V. (2016). Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lokal'nykh konfliktakh i voynakh [Application of unmanned aerial vehicles in local conflicts and wars]. *Molodoi uchenyi [Young scholar]*, 25, 107–111. Retrieved from <https://moluch.ru/archive/129/35666/> [in Russian].
9. Kucherenko, Yu. F., & Huzko, O. M. (2008). Deiaki osoblyvosti suchasnykh lokalnykh viin [Some features of modern local wars]. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Collection of Sciences. works of the Kharkiv National Air Force University]*, 2 (17), 20–23. Kharkiv [in Ukrainian].
10. Gryzo, A. A., Grib, D. A., & Leshchenko, S. P. (2006). Analiz opyta postroeniia imitatsionnykh kompleksov [Analysis of the experience of building simulation complexes]. *Systemy obrobky informatsii [Information processing systems]*, 5, 17–24. Kharkiv [in Ukrainian].
11. Klymchenko, V. Y., Kukobko, S. V., Tiutiunyk, V. O., & Rybalka, H. V. (2018). Metodyka vykorystannia malopotuzhnykh nazemnykh peredavachiv aktyvnykh shumovykh pereshkod dlia imitatsii pereshkodovoi obstanovky ohliadovym radiolokatsiynym stantsiiam [The technique of using low-power ground transmitters of active noise interference for simulating the interference situation of surveillance radar stations]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Armament systems and military equipment]*, 4, 27–34. <https://DOI:10.30748/soivt.2018.56.04> Kharkiv [in Ukrainian].
12. Klymchenko, V. Y., Lupandin, V. A., & Zakirov, S. V. (2020). Udoskonalennia metodyky rozrakhunku zakhyshchenosti ohliadovykh radiolokatsiynykh stantsii radiotekhnichnykh viisk vid aktyvnykh shumovykh pereshkod [Improvement of the methodology for calculating the protection of surveillance radar stations of the radio engineering troops against active noise interference]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of Ukraine]*, 1 (34), 51–57. Kharkiv: KhNAFU. <https://DOI:10.30748/nitps.2019.34.07> [in Ukrainian].
13. Khmarskii, P. A., Alirio, R. – K. D., & Soloviov, A. I. (2017). Programmno-apparatnyi imitator pervichnykh radiolokatsionnykh signalov dispetcherskogo radiolokatora [Hardware-software simulator of primary radar signals of dispatching radar]. *Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, iazyk [Crede Experto: transport, society, education, language]*, 4, 112–121 [in Russian].
14. Ziukin, V. F., Svistunov, D. Iu., & Belavin, A. V. (2013). Trebovaniia k udaleniiu imitatorov aktivnykh pomekh pri poligonnykh ispytaniakh RLS [Requirements for the removal of active interference simulators during field testing of radar stations]. *Systemy obrobky informatsii [Information processing systems]*, 1, 56–60. Kharkiv: KhNAFU [in Russian].
15. Pavliuk, V. V. (2021). *Prohramno vyznachene radio. Vyhliad izseredyny [Software Defined Radio. View from the inside]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
16. Biblioteka gr-osmosdr B210. [Library gr-osmosdr B210]. (n.d.). Retrieved from <https://packages.debian.org/ru/sid/gr-osmosdr> [in Ukrainian].
17. Modul GNU Radio DTV. (n.d.). Retrieved from <https://github.com/gnuradio/gnuradio/tree/master/gr-dtv> [in Ukrainian].

18. Sidenko, V. P., & Kubrak, O. M. (2006). *Osnovy teorii radioelektronnoho podavlennia ta radioelektronnoi rozvidky. Ch. 1. Osnovy teorii radioelektronnoho podavlennia [Basics of the theory of radio electronic suppression and radio electronic intelligence. Part 1. Basics of the theory of radio electronic suppression]*. Zhytomyr [in Ukrainian].

O. O. Kostyria, A. A. Hryzo, O. M. Dodukh, I. M. Nevmerzhytskyi, O. A. Nahorniuk, V. M. Miniailo

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF MULTI-BAND SIMULATOR OF THE MANUFACTURER OF ACTIVE NOISE JAMMER

The article provides information on the results of experimental studies of a multi-band hardware and software complex for simulating the action of an active noise jammer, which has been created for the training of operators of radar stations of radio engineering troops.

One of the important elements of the professional training of the radar stations operators of the air defense radio engineering forces is their ability to work in difficult target and jamming conditions.

The existing simulators for training operators do not fully meet the requirements of the quality of training, since they form only secondary bearing marks on the jammer manufacturer and do not reproduce the situation of deterioration of target detection conditions as a result of the simultaneous action of active and passive noise jammer, as well as the influence of the autocompensator of jammer on the quality of the radar, as it happens in real situation.

The offered device for simulating the influence of active jammer has been built according to the modular principle and implemented using software-defined radio technology, which allows to quickly change both the type of signal and its parameters. Power amplifiers and antenna systems have been designed to operate in the 140–190 MHz, 470–900 MHz, and 2500–3500 MHz bands, and for experimental research radar stations in the meter, decimeter, and centimeter wave ranges have been involved.

The method of using the simulator has been substantiated, and the conducted studies showed that for radar stations in which the angular beams of the directional pattern have different operating frequencies, there is an additional possibility of simulating the action of the active jammer by changing the frequency of the jammer in the case of operation of the complex directly near the suppression object, where the directional pattern of the radar station antenna has not yet been formed. The method of using the complex both for training sessions and during tactical exercises of the radio technical troops unit to simulate the action of an air-based jamming device or a dropped jamming transmitter has been substantiated.

Keywords: active noise jammer; simulation; hardware and software complex; radar station; programmed radio.