

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ведення радіоелектронної боротьби є невід'ємною частиною протиборства будь-якого масштабу. Одним з найефективніших її способів є постановка навмисних завад (НЗ), що дозволяє одночасно виконати завдання з блокування доступу до радіообміну та порушення цілісності повідомлень. Сучасні комплекси (засоби) постановки НЗ мають досить якісні характеристики та дозволяють залишатися непомітними навіть при знаходженні поруч з противником.

Досвід виконання службово-бойових завдань у 2014 році в місті Києві та проведенні Антитерористичної операції (АТО) на сході України показав, що штатні радіозасоби УНФ діапазону, які стоять на озброєнні Національної гвардії України (НГУ), не забезпечені будь-якими механізмами захисту від впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника. Застосування в силових структурах стандартних засобів захисту від НЗ для потреб НГУ неможливо через особливості виконання СБЗ. Для забезпечення роботи радіомереж НГУ УНФ діапазону в умовах радіопридушення необхідне вдосконалення наукових засад та технічних засобів підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку.

Порівняльний аналіз відомих методів захисту від НЗ в умовах обмеження матеріальних ресурсів показав, що одним з можливих є енергетичний метод захисту. Суть цього методу полягає у створенні енергетичної переваги корисного сигналу над завадою за рахунок використання екранів та спрямованих антен.

Ефективність застосування енергетичного методу захисту радіоканалів від НЗ суттєво залежить від двох складових: наявності екранів та спрямованих антен і точності визначення просторового розташування цих засобів, їх орієнтації відносно джерел НЗ та засобів радіозв'язку, що здійснюють радіообмін. Результати аналізу праць свідчать про чисельні дослідження в напрямку застосування екранування та спрямованих антен для захисту від НЗ. Однак більшість з розглянутих теоретичних положень не враховують реальних вимог до їх мобільності, скритності та зручності розгортання. Виконання цих вимог, як показують останні дослідження, можливо при використанні у якості екранів та спрямованих антен спеціального спорядження військовослужбовців НГУ у поєднанні зі штатними засобами радіозв'язку УНФ діапазону підрозділів НГУ. Використання таких пристроїв можливо за умови визначення характеристик таких засобів та урахування додаткових чинників, які впливають на стан роботи радіоканалу при використанні цих екранів та спрямованих антен.

Обмежений оперативний простір, особливо при виконанні завдань підрозділами НГУ в міських умовах, вимагає точного визначення можливих варіантів розташування радіозасобів по відношенню до засобів постановки НЗ. Існуючий математичний апарат не дозволяє враховувати всі чинники, що впливають на

визначення зони, в якій забезпечується стійкий радіообмін при дії засобів придушення. Існуючий метод визначення зон стійкого радіообміну використовує в розрахунках діаграми спрямованості (ДС) антен в формі кола (штирьової антени). Тому ці методи ґрунтуються на визначенні радіусу кіл з відстанями в десятки та сотні кілометрів, спираючись на табличні дані, які були розраховані десятиріччя тому. Оптимальна орієнтація екранів та спрямованих антен з ДС нестандартної форми дозволяє збільшити зони стійкого радіообміну, які при цьому мають неправильну форму. Тому при плануванні проведення операцій керівник повинен враховувати форми зон та мати дані для оптимальної орієнтації радіозасобів, особливо при дії в обмеженому оперативному просторі, де відстані становлять десятки та сотні метрів. Це надасть змогу керівнику визначити можливі варіанти розташування радіозасобів з урахуванням особливостей місцевості. Отже, для підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів НГУ необхідно вирішити наукове завдання, яке полягає в удосконаленні методу визначення зон стійкого радіозв'язку з урахуванням ДС екранів та антен.

Таким чином, тема дисертаційної роботи "Методи підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України" є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до плану наукової роботи Національної академії Національної гвардії України в межах науково-дослідних робіт (НДР): шифр "Поляна", державний реєстраційний номер 0111U008896, шифр "Регіон", державний реєстраційний номер 0113U003371, шифр "Поляна-1", державний реєстраційний номер 0115U002860.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження – підвищення стійкості радіоприйому в мережах радіозв'язку підрозділів НГУ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз науково-методичного апарату оцінювання стану системи радіозв'язку Національної гвардії України в умовах радіопридушення та визначення напрямку подальших досліджень;
- визначення характеристик екранів, спрямованих антен, спецзасобів та штатних радіозасобів UHF діапазону, які використовують підрозділи НГУ;
- розробка імітаційної моделі радіоканалу радіомережі UHF діапазону в умовах радіопридушення;
- проведення експериментальних досліджень характеристик екранів та спрямованих антен радіоканалу UHF діапазону, отримання емпіричних оцінок стану каналу радіозв'язку (КРЗ) від їх просторового розташування;
- розробка методу визначення зони стійкого радіозв'язку UHF діапазону підрозділів НГУ в умовах радіопридушення;

- перевірка достовірності та обґрунтованості отриманих результатів та сформульованих висновків;

- надання практичних рекомендацій щодо застосування методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах радіозв'язку підрозділів НГУ.

**Об'єкт дослідження** – процес радіообміну підрозділів НГУ в умовах радіопридушення.

**Предмет дослідження** – засоби захисту від навмисних завад, моделі радіоканалів та методи визначення зон стійкого радіоприйому за умови використання штатних засобів підрозділів НГУ в обмеженому оперативному просторі.

**Методи дослідження** визначаються сукупністю вирішуваних завдань і включають: експериментальне встановлення параметрів спрямованих антенних пристроїв; методи системного аналізу, дискретної математики, які використані для удосконалення методу розрахунку коефіцієнтів спрямованості антенних пристроїв та моделювання стану каналу радіозв'язку; методи теорії ймовірностей.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Отримала подальший розвиток математична модель радіоканалу в умовах радіопридушення, яка, на відміну від відомих, використовує принцип суперпозиції при розрахунку коефіцієнту придушення радіозасобів від декількох джерел та дозволяє одночасно врахувати форму діаграми спрямованості екранів і антен при зміні просторових показників їх взаємного розташування та орієнтації;

2. Отримала подальший розвиток імітаційна модель радіоканалу в умовах радіопридушення, яка, на відміну від відомих, використовує кінцевий автомат Мура для опису процесу радіообміну в точках оперативного простору та дозволяє врахувати коефіцієнт придушення при визначенні станів роботи радіоканалу;

3. Удосконалено метод визначення зони стійкого радіозв'язку в умовах радіопридушення, який відрізняється від відомих застосуванням хвильового алгоритму визначення ізоляції такої зони та імітаційної моделі радіоканалу, та дозволяє використати у якості граничних значення станів радіоканалу з оптимальною орієнтацією екранів та антен.

#### **Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Надані практичні рекомендації зі створення і використання екранів та спрямованих антен на основі протиударних алюмінієвих щитів, що дозволяє збільшити потужність сигналу в напрямку головної пелюстки більш ніж на 12 дБ та зменшити дію завад до 3 дБ; при цьому додаткові матеріальні витрати не потребуються. Проведено статистичні дослідження екрануючих та спрямованих властивостей запропонованих екранів та спрямованих антен, отримані емпіричні залежності оцінок значень форми ДС від зміни положень фокусу. Встанов-

лено, що для забезпечення потрібних коефіцієнтів підсилення антени необхідно забезпечити виконання певних обмежень на відстань фокусу від дзеркала та бокове відхилення від центру фокусу. Так, при використанні одного дзеркала фокусна відстань складає 17 см з максимальним відхиленням  $\pm 1,5$  см, а бокове відхилення – до 3 см;

2. Розроблено спеціальне математичне та програмне забезпечення для розрахунку зони стійкого радіозв'язку UHF діапазону підрозділів НГУ в умовах радіопридушення. Отримано збільшену зону стійкого радіозв'язку із застосуванням запропонованих екранів та спрямованих антен на основі протиударних алюмінієвих щитів. Розроблено практичні рекомендації щодо розрахунку зон стійкого радіообміну в реальному часі, а не тільки на етапі планування проведення операції;

3. Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати емпіричні оцінки стану радіоканалу UHF діапазону в умовах радіопридушення, які повністю співпали з теоретичними розрахунками, що підтверджує достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та сформульованих висновків. Зокрема, для використання одного щита в якості дзеркала екрану та спрямованої антени середнє значення ДС співпадає з розрахунковими даними з точністю  $\varepsilon = 0,2$  та довірчою ймовірністю  $P_a \approx 0,95$ ;

4. Запропонована імітаційна модель радіоканалу UHF діапазону в умовах радіопридушення та методика дослідження зміни форм і розмірів зон стійкого радіообміну доведені до практичної реалізації та знайшли своє відображення в реальних радіомережах НГУ, а також в навчальному процесі вищих військових навчальних закладів.

Отримані наукові та практичні результати впроваджено при виконанні НДР, що пов'язані з дослідженнями та обґрунтуванням режимів роботи системи радіозв'язку НГУ. Зокрема, метод визначення зон стійкого радіообміну впроваджений та успішно використовується в діяльності управління спеціальних операцій Головного управління НГУ при проведенні АТО у Луганський та Донецький областях (акт впровадження від 15.04.2015 р.).

Результати дисертації впроваджені в навчальний процес Національної академії Державної прикордонної служби ім. Б. Хмельницького (акт впровадження від 08.04.2015 р.), де використовуються при викладанні навчальних дисциплін "Зв'язок у прикордонних підрозділах" та "Зв'язок у Державній прикордонній службі", і Національної академії Національної гвардії (акт впровадження від 08.06.2015 р.), де використовуються при викладанні дисциплін "Організація зв'язку" та "Антени та поширення радіохвиль".

**Особистий внесок здобувача.** У спільних наукових публікаціях за тематикою роботи особисто здобувачу належать такі положення: у [1] – проаналізовано методику кількісно-якісного аналізу рівня інформаційної безпеки; у [2] –

проаналізовано моделі зменшення впливу та нейтралізації інформаційних ризиків; у [3] – визначені можливі шляхи побудови системи мобільного радіозв'язку, проблемні питання створення системи інформаційної безпеки мобільних командних центрів; у [4] – запропоновано практичні шляхи створення спрямованих антен та екранів для захисту радіообміну мобільних об'єктів підрозділів НГУ з використанням штатних засобів; у [5] – проаналізовано основні аспекти радіоелектронного захисту системи радіозв'язку; у [6] – запропоновано подальший розвиток математичної моделі радіоканалу та подальший розвиток імітаційної моделі радіоканалу в умовах радіопридушення; у [7] – науково обґрунтовано метод визначення меж зони стійкого радіообміну мобільних об'єктів підрозділів НГУ в умовах радіопридушення; у [8] – запропоновано порядок застосування програмно-технічного комплексу підвищення завадостійкості КРЗ підрозділів НГУ; у [9] – запропоновано комплексний метод підвищення завадостійкості радіоканалів мобільних об'єктів підрозділів НГУ; у [10] – розглянуто особливості когерентного та некогерентного прийому сигналу та його вплив на якість цифрового каналу зв'язку.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційного дослідження оприлюднені у Національній академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького на V Всеукраїнській науково-практичній конференції у 2012 р. [16], на науково-практичних конференціях в Академії внутрішніх військ МВС України у 2011-2014 р. [11-15, 17-23] та в Національній академії Національної гвардії України у 2014-2015 р. [25, 26], у Харківському Національному університеті радіоелектроніки на 3-й Міжнародній науково-практичній конференції 2014 р. [24], а також на конференції, яка проходила під егідою IEEE [27, 28] і внесена до наукометричної бази Scopus та IEEE Xplore Digital Library.

**Публікації.** Результати дисертаційних досліджень опубліковані у 10 статтях у наукових фахових виданнях та збірниках наукових праць [1-10], список яких затверджений ВАК України (п'ять з яких входять до міжнародної наукометричної бази та одна – в закордонному збірнику), у 18 тезах доповідей на науково-практичних конференціях [11-28] та одному патенті на корисну модель [29].

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 118 сторінок, 62 рисунки на 45 сторінках, 5 таблиць на 4 сторінках, 6 додатків на 66 сторінках, список використаних джерел із 105 найменувань на 13 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** викладено аналіз науково-методичного апарату оцінювання стану системи радіозв'язку Національної гвардії України в умовах радіопридушення з урахуванням тактики дій підрозділів НГУ та досвіду практичного застосування сучасних засобів та методів ведення радіоелектронної боротьби. Аналіз принципів побудови системи зв'язку та оперативно-тактичні вимоги до зв'язку НГУ показав, що вони досі орієнтовані на системи військового зв'язку оперативного та вищих рівнів управління. Аналіз вразливості системи зв'язку показав особливу вразливість мережі радіозв'язку мобільних об'єктів НГУ. Це обумовлено тим, що в умовах безпосереднього контакту з противником для забезпечення радіообміну потрібно мати точні оцінки можливостей стійкої роботи КРЗ в різних точках оперативного простору. Отже, постає потреба в наявності методичного апарату, який враховує характеристики засобів радіозв'язку, що стоять на озброєнні НГУ, ймовірні способи постановки противником НЗ та можливі шляхи захисту від цих загроз.

Результати аналізу можливостей противника з подавлення мережі радіозв'язку мобільних об'єктів підрозділів НГУ показав, що найбільшу загрозу для мережі радіозв'язку мобільних об'єктів становить адитивна прицільно зосереджена по частоті завада, що обумовлює необхідність вибору методів завадозахисту та можливих організаційно-технічних шляхів їх реалізації.

Порівняльний аналіз відомих методів і засобів радіоелектронного захисту у мережах радіообміну мобільних об'єктів УHF діапазону НГУ показав, що в зв'язку з неможливістю використання стандартних спрямованих антенних пристроїв доцільно розглянути можливість захисту КРЗ екранами та антенами, які б мали енергетичну перевагу, з одного боку, та відповідали вимогами скритності та мобільності, з іншого. Аналіз способів створення екранів та спрямованих антен показав, що серед розглянутих типів антен для потреб захисту радіозв'язку найбільш придатним в якості дзеркала можна вважати параболічний циліндр (до якого за формою наближається захисний металевий щит із спеціальних засобів НГУ), а в якості випромінювача – штиркову антену від радіостанції типу Kenwood, Motorola та ін. Таке поєднання дозволить дотриматися вимог щодо скритності та мобільності даних антен, які будемо називати додатковим засобом захисту від навмисних завад (ДЗЗНЗ). Передбачуване використання ДЗЗНЗ у різних умовах оперативної обстановки та можливий вплив на стійкість радіообміну засобів радіозв'язку мобільних об'єктів НГУ в умовах міста потребують визначення критерію їх оцінювання.

За критерій ефективності методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ в міських умовах можна прийняти цільову функцію, за якою потрібно знайти максимум відношення між площею стійкого радіозв'язку із залу-

ченням заходів захисту та без таких:

$$\max[F(X) = S_z(X)/S_0(X)], X \in D \quad (1)$$

де  $X$  – вектор параметрів, що забезпечують максимальне значення критерію оптимальності;

$D$  – область допустимих значень елементів вектора  $X$ ;

$S_z$  – площа стійкого обміну із захистом;

$S_0$  – площа стійкого обміну без захисту.

Недоліком існуючого підходу оцінювання стійкості радіообміну мобільних об'єктів підрозділів НГУ є обмеження на кількість завод, а також неможливість врахування їх потужностей, розташування відносно центру зв'язку (ЦЗ), впливу ДС мобільного засобу захисту. Тому в загальному випадку форма зони досяжності перестає бути правильним колом і може бути визначена тільки чисельними методами.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір напряму досліджень та перспективні шляхи побудови способів захисту радіообміну в КРЗ підрозділів НГУ, проведено аналіз результатів досліджень в галузі побудови систем захисту, викладено загальну методика проведення дисертаційного дослідження.

У розділі обґрунтовуються можливі напрямки та шляхи вирішення завдань дисертаційного дослідження, пов'язаних, зокрема, з використанням екранів і спрямованих антен для захисту від НЗ, які складаються із спецзасобів військовослужбовців НГУ та штатних радіозасобів, із визначенням реальної форми зони стійкого радіообміну при дії в обмеженому оперативному просторі, з оцінюванням ефективності застосування розроблених моделей і методів та ін., а також методичний підхід до вирішення цих завдань. Для цього передбачається застосувати різноманітні методи з різних галузей науки, що має призвести до кінцевого результату – надання практичних рекомендацій застосування отриманих результатів в повсякденній службово-бойовій діяльності підрозділів НГУ.

У **третьому розділі** визначені характеристики ДЗЗНЗ за умови використання протиударного алюмінієвого щита (ПАЩ) та антен стандартних засобів зв'язку Kenwood ТК-2270 і Kenwood ТК-2260 (рис. 1) та здійснено визначення її ДС.

Проведено розрахунок характеристик спрямованої дзеркальної антени з дзеркалом типу параболічний циліндр розміром з ПАЩ. Виходячи з вимог



Рис. 1. ПАЩ та антени Kenwood

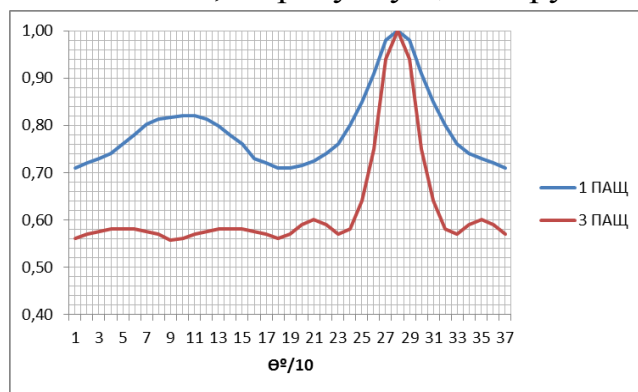
скритності, простоти конструкції, легкої установки, мобільності та цілісності поверхні, в якості імпровізованого рефлектора розглянемо ПАЩ – вирізку з циліндра радіусом  $a = 520$  мм, висотою 1000 мм і шириною  $h = 615$  мм. В його центрі розміщено утримувач з симетричним вертикальним вібратором. З урахуванням отриманого оцінимо характеристики системи з симетричним одноелементним випромінювачем, який імітує штиркову антену, і циліндричною відбивною поверхнею для UHF діапазону ( $f_{\text{сеп}} = 435$  МГц). Результати отримані за наступними показниками (табл. 1):

Таблиця 1

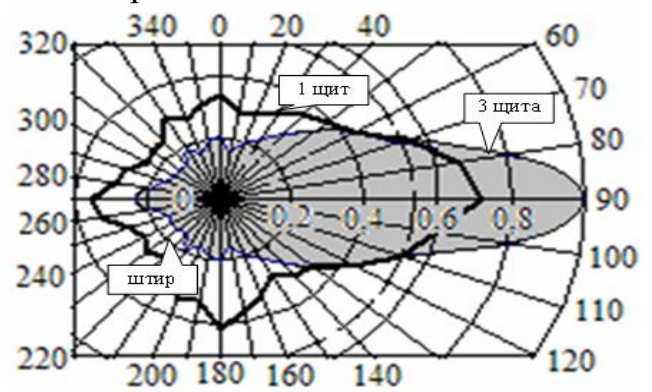
Характеристики системи з симетричним одноелементним випромінювачем і циліндричною відбивною поверхнею для UHF діапазону

Показники	UHF діапазон (421 МГц)	
	1	3
$N$ , м – кількість ПАЩ, використаних для створення дзеркала	1	3
$G$ , дБ – коефіцієнт підсилення у напрямку головної пелюстки	7,34	14,53
$\Theta_{0,1}(H)$ – ширина ДС в горизонтальній площині	$136^\circ$	$76^\circ$
$\Theta_{0,1}(E)$ – ширина ДС у вертикальній площині	$84^\circ$	$79^\circ$
$K_{\text{сеп}}$ – коефіцієнт стоячої хвилі	1,8	2,11

На рис. 2 наведені результати оцінювання ДС решітки із одного і трьох ПАЩ з опромінювачами. На рис. 2, а подано нормовані ДС одно- і трьохелементної антени, на рисунку 2, б – кругові ДС одно- і трьохелементної антени.



а)



б)

Рис. 2. Нормовані і кругові ДС одно- і трьохелементної антени

Таким чином, висунуто наступну гіпотезу:

- геометричні характеристики ПАЩ можна порівняти з характеристиками дзеркала у формі циліндричного параболоїду;
- ДС ПАЩ співпадає з ДС спрямованої антени з дзеркалом форми циліндричного параболоїду для одного і трьох ПАЩ.

Для підтвердження запропонованої гіпотези проведемо комп'ютерне мо-



делювання на основі одного та трьох ПАЩ з використанням спеціального програмного забезпечення HFSS Ansoft.

Порівнюємо отримані теоретичні ДС спрямованої дзеркальної антени з ДС дзеркала типу параболічний циліндр, отриманими в результаті моделювання програмою HFSS Ansoft. На рис. 3, а подано порівняння ДС теоретично та шляхом моделювання для одного ПАЩ, а на рис. 3, б – порівняння ДС теоретично та шляхом моделювання для трьох ПАЩ. Результати порівняльного аналізу говорять, що дані, отримані в результаті моделювання, значно не відрізняються від теоретичних. Відмінність в отриманих даних говорить про те, що неправильна форма ПАЩ та використання при теоретичних розрахунках симетричного диполя має незначний вплив на характеристики антени. Тому для проведення подальших досліджень роботи КРЗ при використанні запропонованих ДЗЗНЗ на основі ПАЩ НГУ краще використовувати дані, які отримані в результаті моделювання.

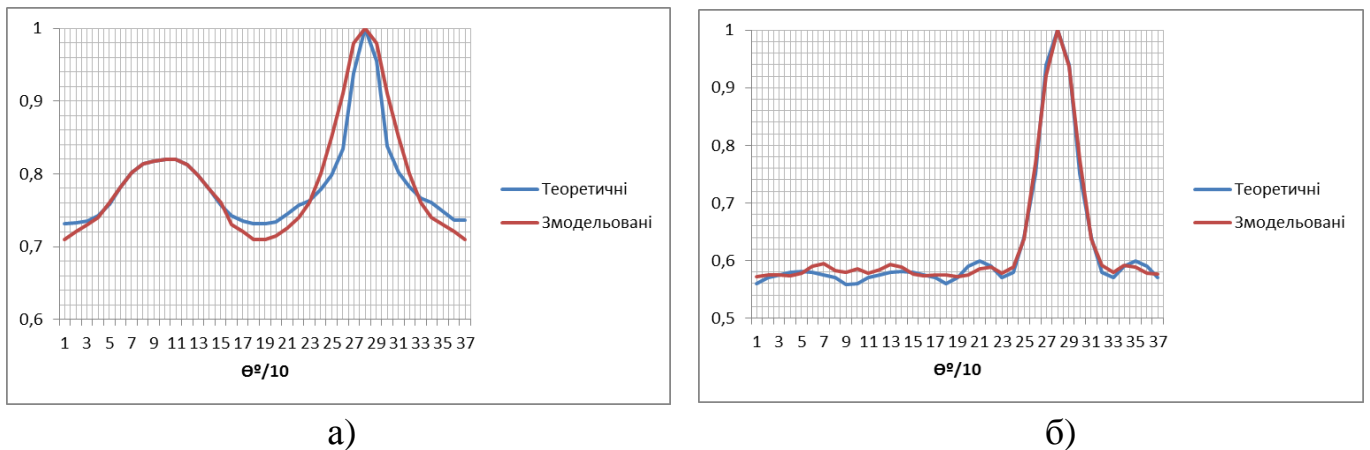


Рис. 3. Порівняння ДС для одно- і трьохелементної антени

Удосконалення імітаційної моделі радіоканалу НГУ в умовах радіопридушення здійснимо наступним шляхом.

Спочатку для спрощення виразу

$$K_n = \frac{P_3}{P_c} = \frac{P_{np\partial z} G_{np\partial z} G_{npмз} \eta_3 R_c^2}{P_{np\partial c} G_{np\partial c} G_{npмc} R_3^2} \quad (2)$$

покладемо  $\eta_3 = 1$ ,  $G_{np\partial z} = G_{np\partial c} = 1$ ,  $G_{npмз} = G_{npмc} = G(\theta)$ , де  $G(\theta)$  – нормована діаграма спрямованості запропонованого ДЗЗНЗ;  $\theta$  – кут напрямку на джерело сигналу або завади відносно нульового напрямку діаграми  $N_0$ . Позначимо кут, який утворює нульовий напрямок діаграми  $N_0$  з напрямком на північ, через азимут  $\theta_0$  (рис. 4, а).

Маючи дані про азимут на джерело завад  $\theta_z$  та азимут на центр зв'язку  $\theta_c$ , для одиночного джерела завад (рис. 4, б) одержимо коефіцієнт придушення у вигляді:

$$K_n(\theta_0) = \frac{P_{\text{продз}} G(\theta_3 - \theta_0) R_c^2}{P_{\text{прдс}} G(\theta_c - \theta_0) R_3^2}. \quad (3)$$

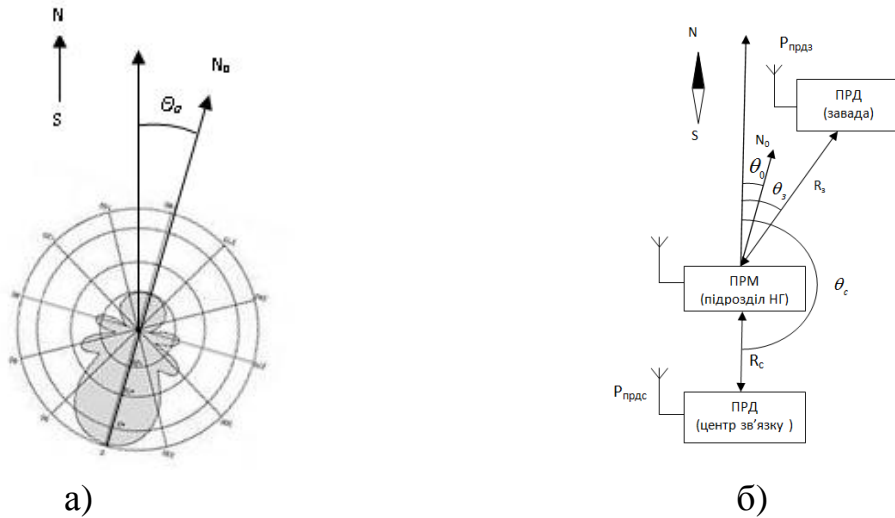


Рис. 4. Схема захисту мобільних об'єктів підрозділів НГУ

Для комплексу радіоелектронного придушення, який складається з  $N$  джерел завод, за принципом суперпозиції маємо

$$K_n(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{\text{прдс}} G(\theta_c - \theta_0)} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{прдз}_i} G(\theta_{3_i} - \theta_0)}{R_{3_i}^2}. \quad (4)$$

З одержаної формули витікає, що для розв'язання задачі

$$K_n = \frac{P_3}{P_c} \leq K_{\text{нор}}, \quad (5)$$

яка потребує збільшення площі стійкого обміну із захистом  $S_z$ , можна з метою зменшення коефіцієнту придушення маніпулювати наступними параметрами:  $P_{\text{прдс}}$  – потужність передавача корисного радіосигналу ЦЗ;  $P_{\text{прдз}_i}$  – потужність передавача  $i$ -ї заводи ( $i = 1..N$ );  $R_c$  – відстань між передавачем ЦЗ та радіоприймачем підрозділу НГУ;  $R_{3_i}$  – відстань між радіоприймачем підрозділу НГУ та передавачем  $i$ -ї заводи ( $i = 1..N$ );  $\theta_c$  – кут напрямку ДЗЗНЗ на передавач ЦЗ;  $\theta_{3_i}$  – кут напрямку ДЗЗНЗ на передавач  $i$ -ї заводи ( $i = 1..N$ ).

Таким чином, отриману математичну модель радіоканалу можна описати функцією:

$$K_n = F(P_{\text{прдс}}, P_{\text{прдз}_i}, R_c^2, R_{3_i}^2, \theta_c, \theta_{3_i}). \quad (6)$$

Ця математична модель дозволяє:

- визначити коефіцієнт придушення КРЗ у будь-якій точці оперативного простору;
- визначити оптимальний кут спрямування ДЗЗНЗ відносно одного або декількох джерел завод та своїх засобів радіозв'язку, при якому  $K_n$  приймає мі-

німальне значення.

Отримана удосконалена математична модель КРЗ може бути використана при імітаційному моделюванні роботи КРЗ в умовах радіопридушення як основний механізм визначення станів радіоканалу.

З метою формалізації задачі (1) подамо імітаційну модель КРЗ підрозділів НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення у вигляді кінцевого автомата Мура. Вхідним алфавітом моделі є множина  $X = \{Z, D\}$ , де  $Z$  – режим роботи радіозаводи ( $\bar{Z}$  – завада відсутня,  $Z$  – завада присутня);  $D$  – режим роботи захисту ( $\bar{D}$  – захист відсутній,  $D$  – захист встановлено).

Залежно від ситуативного сполучення параметрів засобів радіоелектронного впливу для КРЗ між ЦЗ та підрозділом НГУ, що виконує бойову задачу, маємо множину станів  $Q = \{Q_0, Q_1, Q_2\}$ , де:  $Q_0$  – якісний зв'язок між ЦЗ та підрозділом НГУ без захисту  $\bar{D}$  за відсутності завади  $\bar{Z}$ ;  $Q_1$  – відсутність радіозв'язку внаслідок придушення завадою  $Z$  радіозв'язку між ЦЗ та підрозділом НГУ за відсутності захисту  $\bar{D}$ ;  $Q_2$  – наявність радіозв'язку між ЦЗ та підрозділом НГУ в умовах радіопридушення завадою  $Z$  при встановленому захисті  $D$ .

Вихідним алфавітом моделі є множина  $Y = \{Y_0, Y_1\}$ , де  $Y_0$  – відсутність радіозв'язку,  $Y_1$  – наявність радіозв'язку.

При дискретному поданні модельного часу  $t=0,1,2,\dots$  функції переходів  $Q(t+1) = \delta(Q(t), X(t))$  та функції виходів  $Y(t) = \lambda(Q(t))$ , а модель задається співвідношеннями

$$\begin{aligned} \delta(Q_0, \bar{Z}, \bar{D}) &= Q_0; \delta(Q_0, Z, \bar{D}) = Q_1; \delta(Q_0, Z, D) = Q_2; \\ \delta(Q_1, Z, \bar{D}) &= Q_1; \delta(Q_1, Z) = Q_0; \delta(Q_1, Z, D) = Q_2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \delta(Q_2, Z, D) &= Q_2; \delta(Q_2, \bar{Z}) = Q_0; \delta(Q_2, Z, \bar{D}) = Q_1, \\ \lambda(Q) &= \begin{cases} Y_1 \text{ при } \delta(Q, X) = Q_0 \\ Y_1 \text{ при } \delta(Q, X) = Q_2, K_n \leq K_{\text{нор}} \\ Y_0 \text{ в інших випадках} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

де  $K_n$  – потужність, що визначається за виразом (4).

Граф станів моделі наведений на рис. 5.

На рис. 6 приведено схему імітаційної моделі КРЗ підрозділів НГУ з мобільним ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення.

Значення ДС ДЗЗНЗ визначають наступними виразами:

$$\rho_{ox_i}(\theta) = 10 \lg \left( \frac{P_{x_i}(\theta)}{P_{ex}} \right) = \rho_{x_i}(\theta) - \rho_{ex}, \quad (9)$$

де  $P_{x_i}(\theta)$  – потужність сигналу для  $i$ -го ДЗЗНЗ в точці, що вимірюється в залежності від кута повороту антени  $\theta$

$$\rho_{x_i}(\theta) = 10 \lg \left( \frac{P_{x_i}(\theta)}{P_e} \right). \quad (10)$$

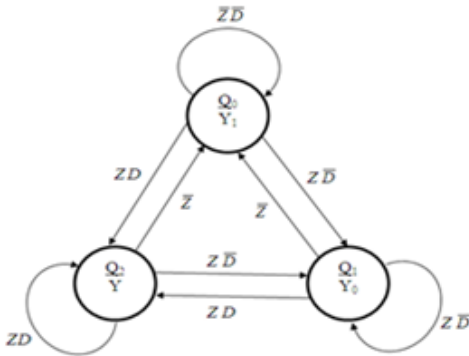


Рис. 5. Граф станів моделі КРЗ

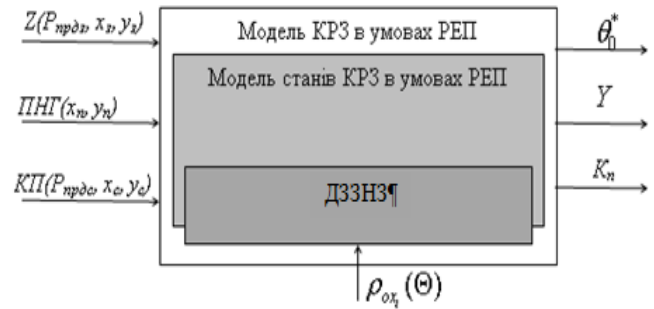


Рис. 6. Схема імітаційної моделі

Таким чином, вирішено друге наукове завдання та удосконалено імітаційну модель КРЗ НГУ в умовах радіопридушення (вирази (7), (8)). На основі формалізованого опису роботи КРЗ можна провести комп'ютерне моделювання.

Розроблена імітаційна модель реалізується у вигляді наступного алгоритму.

Введемо наступні позначення:

- $t$  – модельний час;
- *Alltime* – часовий інтервал моделювання.

Алгоритм моделювання КРЗ НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення:

Крок 1. Покласти  $t:=0$ ;  $Q:=Q_0$ ;  $Z := \bar{Z}$ ;  $D := \bar{D}$ .

Крок 2. Якщо  $t=Alltime$ , перейти до кроку 13, інакше перейти до кроку 3.

Крок 3. Ввести значення  $Z$  та  $D$  для поточного значення  $t$ .

Крок 4. Якщо  $Z=True$ , перейти до кроку 5, інакше перейти до кроку 9.

Крок 5. Якщо  $D=True$ , перейти до кроку 6, інакше перейти до кроку 11.

Крок 6. Покласти  $Q:=Q_2$ .

Крок 7. Обчислити  $K_n$  за формулами (3), (4).

Крок 8. Якщо  $K_n \leq K_{нор}$ , перейти до кроку 9, інакше перейти до кроку 12.

Крок 9. Покласти  $Y:=Y_1$ .

Крок 10. Покласти  $t:=t+1$ , перейти до кроку 2.

Крок 11. Покласти  $Q:=Q_1$ .

Крок 12. Покласти  $Y:=Y_0$  та перейти до кроку 10.

Крок 13. Кінець.

На основі запропонованого алгоритму створено спеціальну програму на мові Delphi. Даний програмний продукт отримав назву IMRC.

Розроблена імітаційна модель КРЗ НГУ в умовах радіопридушення та її програмна реалізація може використовуватися при визначенні ізолінії в класичному хвильовому алгоритмі.

Формалізуємо завдання визначення зони стійкого радіообміну.

Вектор параметрів, що оптимізуються, має вигляд:

$$X = (P_{npdc}, P_{npdz}, R_c, R_{z_i}, \theta_c, \theta_{z_i}), i = 1..N. \quad (11)$$

Оскільки потужності передавачів можна вважати фіксованими, а можливості маніпулювання відстанями у міських умовах є обмеженими, на перший план виходить розв'язання задачі (5) шляхом вибору для мобільного ДЗЗНЗ у кожній точці  $S_z$  оптимального кута  $\theta_0^*$  зі співвідношення (4) такого, що

$$K_n(\theta_0^*) = \min K_n(\theta_0). \quad (12)$$

Узагальнюючи сказане, сформулюємо правило визначення площі стійкого обміну із захистом  $S_z$  в задачі (5) для точок оперативної мапи  $x, y \in \Omega$  (де  $\Omega$  – множина точок оперативної мапи, що належить області бойових дій):

$$S_z = \left\{ \forall (x, y) \in \Omega \mid K_n(x, y, \theta_0^*) = \min K_n(x, y, \theta_0) \leq K_{nop} \right\}, \quad (13)$$

$$K_n(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{npdc} G(\theta_c - \theta_0)} \sum_{i=1}^N \frac{P_{npdz_i} G(\theta_{z_i} - \theta_0)}{R_{z_i}^2}, \quad (14)$$

$$R_c = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}, \quad (15)$$

$$R_{z_i} = \sqrt{(x - x_{z_i})^2 + (y - y_{z_i})^2}, i = 1..N, \quad (16)$$

$$K_{nop} \leq 10 \text{ Db}, \quad (17)$$

де  $x_c, y_c$  – координати джерела корисного сигналу ЦЗ на мапі;

$x_{z_i}, y_{z_i}$  – координати і-го джерела завади на мапі,  $i = 1..N$ .

Для площі стійкого обміну без захисту  $S_0$  відповідно маємо:

$$S_0 = \left\{ \forall (x, y) \in \Omega \mid K_n(x, y, \theta_0) \leq K_{nop} \right\}, \quad (18)$$

$$K_n(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{npdc}} \sum_{i=1}^N \frac{P_{npdz_i}}{R_{z_i}^2}. \quad (19)$$

Для швидкого і точного вибору можливих варіантів розташування засобів радіозв'язку на оперативній мапі при використанні ДЗНЗЗ можна застосовувати імітаційну модель станів КРЗ НГУ та алгоритм визначення меж зон  $S_z$  та  $S_0$  на основі хвильового алгоритму.

Класичний хвильовий метод працює на прямокутному дискретному робочому полі (ДРП), розбитому на квадратні комірки. У ДРП визначаються віль-

ні комірки, проходження хвилі через які дозволено, і "перепони" - комірки, проходження хвилі через які заборонено.

Метою методу є пошук найкоротшого шляху від стартової до фінішної комірки. Робота алгоритму складається з трьох етапів: ініціалізація, розповсюдження хвилі та прокладання шляху.

Етап ініціалізації полягає у визначенні властивостей комірок ДРП (вільні/перепони), запам'ятовуються стартова та фінішна комірки.

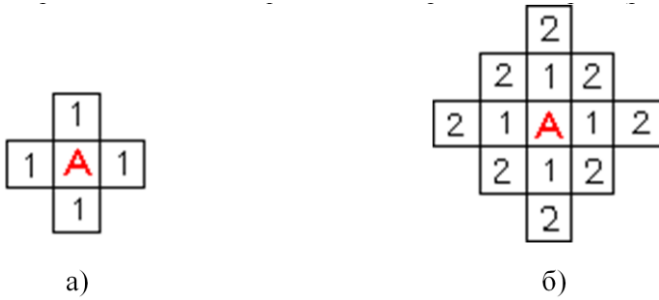


Рис. 7. Розповсюдження хвилі

Етап розповсюдження хвилі починається зі стартової комірки, з якої у чотирьох напрямках у вільні сусідні комірки ДРП записується номер фронту хвилі - число, яке дорівнює кількості кроків від стартової комірки (рис. 7, а).

Надалі кожна комірка, що отримала номер фронту, стає стартовою, і з неї виконуються чергові кроки у сусідні комірки з утворенням наступного фронту хвилі (рис. 7, б). Елементи другого фронту хвилі генерують хвилю третього фронту і т.д. Процес закінчується, коли буде досягнута фінішна комірка або утворення нового фронту хвилі стане неможливим.

Етап прокладання шляху полягає у пересуванні в зворотному напрямку від фінішної до стартової комірки з послідовним вибором комірки ДРП, яка має номер фронту, менший на одиницю від поточного.

У рамках поставленого завдання побудови ізоляції, точки якої відповідають умові (5), в роботі запропоновано наступний метод, заснований на розповсюдженні хвилі.

Будемо розглядати піксельну матрицю зображення оперативної мапи у якості ДРП. Введемо наступні поняття та позначення:

- мапа – двовимірна матриця  $Bitmap_{x,y}$  ( $x=1..N, y=1..M$ ), яка містить піксельне зображення оперативної мапи;
- бітова маска – двовимірна матриця  $B_{x,y}$  ( $x=1..N, y=1..M$ ), яка у кожній комірці приймає значення 0 або 1;
- довжина попереднього фронту хвилі –  $Lfold$ ;
- довжина нового фронту хвилі –  $Lf$ ;
- масиви координат попереднього фронту хвилі –  $FoldXi, FoldYi$  ( $i=1..Lfold$ );
- масиви координат нового фронту хвилі –  $FrontXi, FrontYi$  ( $i=1..Lf$ );
- індикатор можливості подальшого просування хвилі –  $Stop$ , змінна логічного типу; значення  $Stop = True$  є ознакою неможливості подальшого просу-

вання хвилі;

- поточні координати точки ДРП, навколо якої обстежується стан сусідніх точок  $-X_0, Y_0$ ;
- масив прирощень координати  $X$  точки  $(X_0, Y_0)$  в циклі обстеження стану сусідніх точок ДРП –  $DX_i (i=1..4)$ ; має фіксовані значення  $(0,1,0,-1)$ ;
- масив прирощень координати  $Y$  точки  $(X_0, Y_0)$  в циклі обстеження стану сусідніх точок ДРП –  $DY_i (i=1..4)$ ; має фіксовані значення  $(-1,0,1,0)$ ;
- лічильник ненульових точок, що є сусідніми для поточної точки бітової маски –  $Okprix$ , змінна цілого типу.

Розглянемо зазначені етапи стосовно визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку в умовах радіопридушення.

Етап ініціалізації полягає у визначенні властивостей комірок ДРП: усі комірки є вільними, визначається стартова комірка (точка розташування ЦЗ, яка завжди знаходиться в середині зони досяжності). Усі елементи бітової маски  $B_{x,y}$  приймають значення 0.

Етап розповсюдження хвилі полягає в наступному. У процесі утворення нового фронту обчислюється  $K_n$  за формулою (14) та перевіряється виконання умови (5). Якщо точка-кандидат з координатами  $(x, y)$  є вільною та в ній виконується дана умова, то вона включається до нового фронту, і відповідний елемент бітової маски  $B_{x,y}$  приймає значення 1.

Процес розповсюдження хвилі закінчується на межі зони досяжності, коли для будь-яких точок-кандидатів перестає виконуватися умова (5).

Визначимо алгоритм розповсюдження хвилі.

Крок 1. Покласти  $Lf:=0$ ;  $stop:=True$ ;  $i:=1$ .

Крок 2. Покласти  $X_0:=FoldX[i]$ ;  $Y_0:=FoldY[i]$ ;  $j:=1$ .

Крок 3. Покласти  $x:=X_0+DX[j]$ ;  $y:=Y_0+DY[j]$ . Якщо  $B[x,y]=1$ , перейти до кроку 7, інакше перейти до кроку 4.

Крок 4. Обчислити  $K_n$  за формулою (14).

Крок 5. Якщо  $K_n \geq K_{nop}$ , перейти до кроку 7, інакше перейти до кроку 6.

Крок 6. Покласти  $Lf:=Lf+1$ ;  $FrontX[Lf]:=x$ ;  $FrontY[Lf]:=y$ ;  $B[x,y]=1$ ;  $stop:=False$ .

Крок 7. Якщо  $j<4$ , покласти  $j:=j+1$  та перейти до кроку 3, інакше перейти до кроку 8.

Крок 8. Якщо  $i<Lfold$ , покласти  $i:=i+1$  та перейти до кроку 1, інакше перейти до кроку 9.

Крок 9. Покласти  $i:=1$ .

Крок 10. Покласти  $FoldX[i]:=FrontX[i]$ ;  $FoldY[i]:=FrontY[i]$ .

Крок 11. Якщо  $i<Lf$ , покласти  $i:=i+1$  та перейти до кроку 9, інакше перей-

ти до кроку 12.

Крок 12. Покласти  $Lfold:=Lf$ .

Крок 13. Якщо  $Stop = True$ , перейти до кроку 14, інакше перейти до кроку 1.

Крок 14. Кінець.

Етап прокладання ізоляції полягає в наступному. На цьому етапі формується масив координат точок ізоляції шляхом сканування бітової маски  $B_{x,y}$  за наступним правилом: точка з координатами  $(x, y)$  належить ізоляції, якщо  $B_{x,y} = 1$  та принаймні одна з оточуючих сусідніх точок має нульовий стан.

Визначимо алгоритм прокладання ізоляції.

Крок 1. Покласти  $X_0:=2$ .

Крок 2. Покласти  $Y_0:=2$ .

Крок 3. Покласти  $OkrPix:= 0$ .

Крок 4. Покласти  $j:=1$ .

Крок 5. Покласти  $x:=X_0+DX[j]$ ;  $y:=Y_0+DY[j]$ . Якщо  $B[x,y]=1$ , перейти до кроку 7, інакше перейти до кроку 6.

Крок 6. Покласти  $OkrPix:= OkrPix+1$ .

Крок 7. Якщо  $j<4$ , покласти  $j:=j+1$  та перейти до кроку 5, інакше перейти до кроку 8.

Крок 8. Якщо  $0<OkrPix<4$ , перейти до кроку 9, інакше перейти до кроку 10.

Крок 9. Змінити колір точки  $Bitmap[x,y]$ .

Крок 10. Якщо  $Y_0<M-1$ , покласти  $Y_0:= Y_0+1$  та перейти до кроку 3, інакше перейти до кроку 11.

Крок 11. Якщо  $X_0<N-1$ , покласти  $X_0:= X_0+1$  та перейти до кроку 2, інакше перейти до кроку 12.

Крок 12. Кінець.

Таким чином, було удосконалено метод визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення. Основні складові методу зображені на рис. 8.

Метод визначення зони стійкого радіообміну, на відміну від відомого, враховує наступне:

1. При визначенні зони надійного прийому в радіомережах НГУ додатково врахувати характеристики ДЗЗНЗ;

2. Можливо використати хвильовий алгоритм визначення ізоляції;

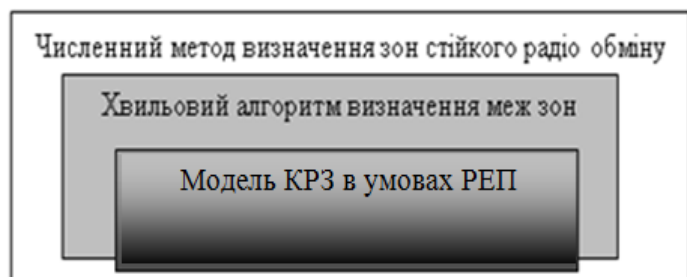


Рис. 8. Схема методу



3. Розроблений алгоритм побудови ізолінії використовує імітаційну модель роботи КРЗ в умовах радіопридушення для визначення граничних значень.

Трудомісткість запропонованого методу значно менша порівняно з алгоритмом Marching Squares за рахунок того, що обчислення  $K_n$  за формулою (14) в ньому виконується не в усіх точках мапи, а тільки у точках розповсюдження хвилі. Етап прокладання ізолінії, на якому виконується сканування бітової маски мапи, не потребує складних обчислень.

Таким чином, вирішено третє наукове завдання та удосконалено метод визначення зон стійкого радіообміну засобами радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення.

У **четвертому розділі** розроблено програмне забезпечення та проведено оцінку ефективності реалізації методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення.

Проведено експериментальні дослідження. Метою досліджень є порівняння результатів теоретичних оцінок та імітаційного моделювання з результатами експерименту. Доведено можливість використання штатних засобів індивідуального захисту типу захисного металевого щита для забезпечення заданого рівня стійкості радіообміну та візуальної скритності засобів радіозв'язку підрозділів НГУ.

Вимірювання були проведені в два етапи.

На першому етапі на базі Метрологічного центру військових еталонів (військова частина А-0785) був зібраний вимірювальний комплекс, до складу якого входять: генератор сигналів височастотний спеціального призначення РГ4-08; щит "Вітраж" титановий; антена штатної радіостанції Kenwood; пристрій для вимірювання фокусної відстані; поворотно-вимірювальний механізм (Лімб); еталон щільності потоку енергії ВЕ ЗСУ 09-00-05-09; перетворювач вимірювальний первинний М5-29; вимірювач потужності термісторний М2-22А.

Схема експериментальної установки представлена на рис. 9.

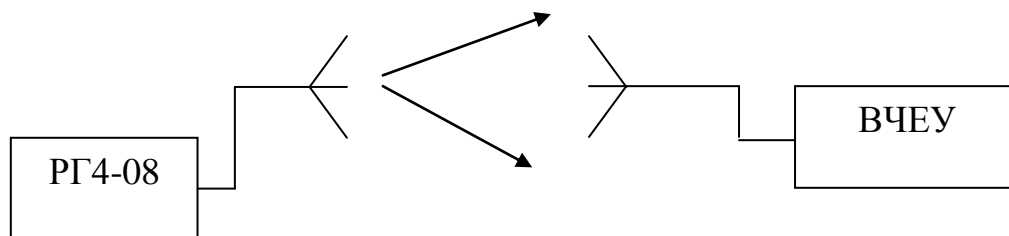


Рис. 9. Схема експериментальної установки

Другим етапом було підтвердження достовірності отриманої моделі КРЗ радіомережі UHF діапазону НГУ.

Порівняння теоретично та практично отриманих даних I та II частини експерименту для ДЗЗНЗ з одного щита подані на рис. 10.

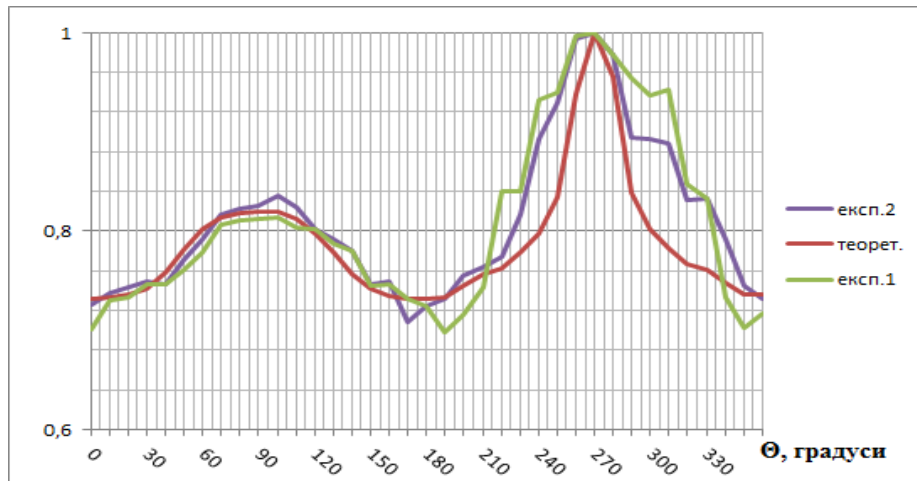


Рис. 10. Нормовані ДС для теоретично та практично отриманих даних I та II частини експерименту з одного щита

Результати аналізу ДС для теоретично та практично отриманих даних I та II частини експерименту при використанні ДЗЗНЗ з одним ПАЩ в якості ДЗЗНЗ показали, що перевагу слід віддавати експериментальним даним. При цьому приведена похибка не перевищує 12%, що відповідає метрологічним характеристикам використовуваних засобів вимірювальної техніки. Для трьох ПАЩ отримані такі самі оцінки, які співпадають з попередніми.

Проведено оцінювання достовірності отриманих експериментальних даних, яке показало, що для всіх результатів максимальне значення приведеної випадкової похибки не перевищує  $\pm 1,0\%$ . Тобто, сумарна похибка вимірювання не перевищує  $\pm 11\%$ ; значення довірчої ймовірності  $P = 0,95$  показує ступінь довіри до отриманих експериментальних даних. Надання рекомендацій щодо застосування підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ дозволяє практично оцінити стан радіообміну за наявності декількох джерел завад. Проведено оцінювання ефективності використання програмної реалізації методу визначення зони стійкого радіообміну, яке показало, що запропонований програмний продукт повністю відповідає вимогам ефективності для використання особовим складом підрозділів НГУ.

Метод підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення – це поєднання комп'ютерної моделі роботи каналу радіозв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення та властивостей розробленого ДЗЗНЗ. Відповідно до визначеного критерію ефективності методу підвищення стійкості радіозв'язку в умовах радіопридушення (1) проведемо порівняльний аналіз визначених зон стійкого радіообміну для окремого випадку, приведенного на рис. 11 (із вказанням площі покриття, часу, необхідного для розрахунку, та коефіцієнту покриття).

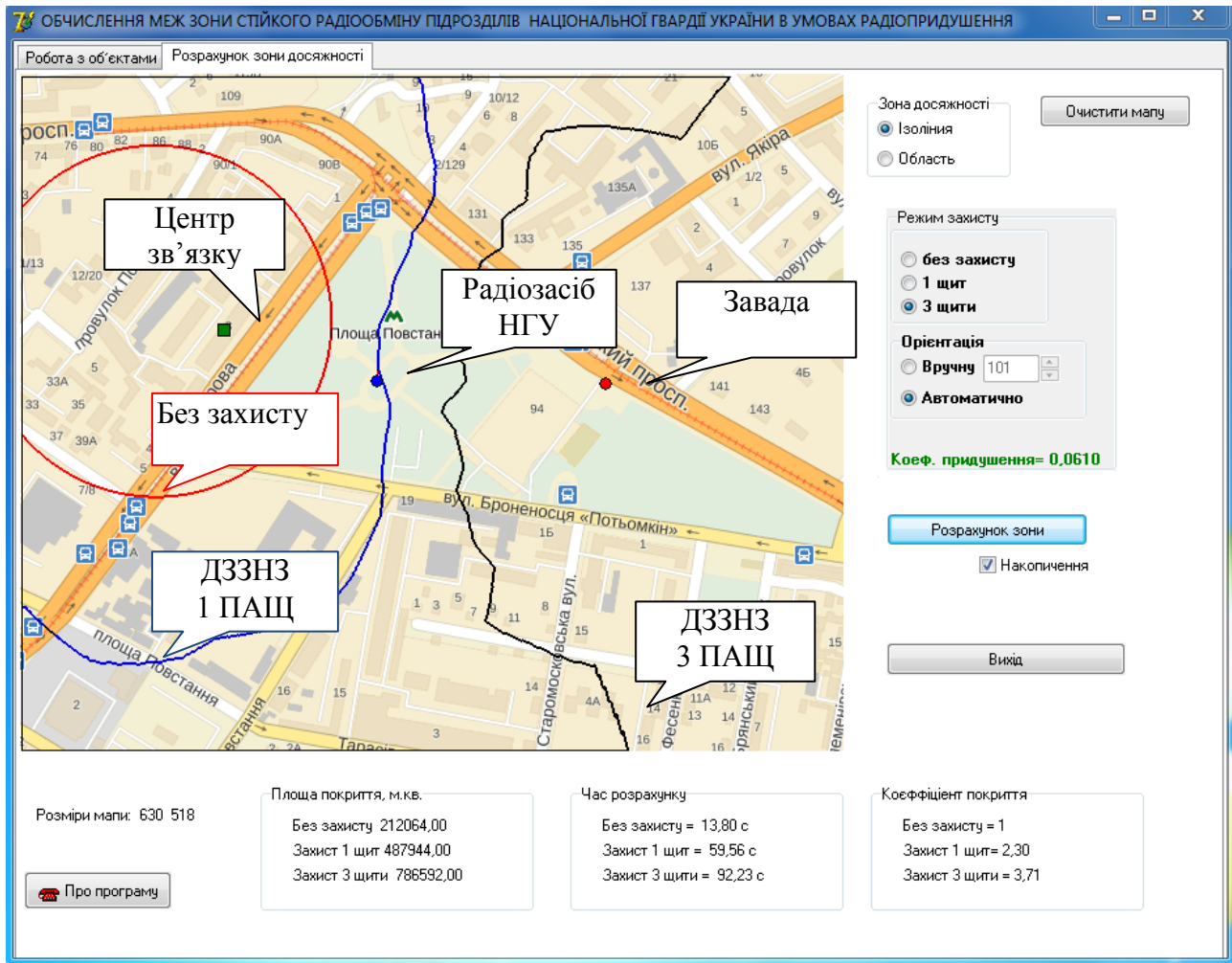


Рис. 11. Зони стійкого радіообміну з використанням ДЗЗНЗ

Таким чином можна стверджувати, що зона стійкого радіообміну збільшується в 2,3 рази з одним ПАЩ та в 3,71 з трьома ПАЩ по відношенню до площі без використання запропонованих ДЗЗНЗ. Це обумовлює безперечну ефективність використання ДЗЗНЗ у поєднанні з методом визначення зон стійкого радіообміну засобами радіозв'язку НГУ при постановці противником навмисних завод.

## ВИСНОВКИ

Найбільш важливими науковими та практичними результатами, що одержані в роботі, є:

1. Рекомендації зі створення та використання додаткового засобу захисту від НЗ, які створені на основі ПАЩ та штатних радіозасобів підрозділів НГУ. Рекомендації ґрунтуються на методах аналізу спрямованих циліндричних параболічних антен та підтверджені експериментально.

2. Математична модель КРЗ в умовах радіопридушення на основі принципу суперпозиції при врахуванні дії декількох засобів придушення, просторо-

вих координат взаємного розташування та коефіцієнтів спрямованої дії ДЗЗНЗ відносно всіх радіозасобів.

3. Імітаційна модель роботи КРЗ, яка формалізує процес ведення радіоелектронного протистояння, базується на теорії кінцевих автоматів Мура, математичній моделі каналу радіозв'язку в умовах радіопридушення та дозволяє визначити коефіцієнт придушення в кожній точці оперативного простору та оптимальні азимути напрямку додаткового засобу захисту від НЗ.

4. Метод визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення, який удосконалює існуючий науково-методичний апарат завдяки поєднанню чисельного алгоритму розповсюдження хвилі та імітаційної моделі роботи КРЗ в умовах радіопридушення, що дозволяє отримати уточнені значення ізолінії при використанні додаткового засобу захисту від НЗ.

5. Алгоритм побудови зони стійкого радіозв'язку, який дозволяє провести комп'ютерне моделювання та автоматизувати процес визначення вихідних даних для побудови системи радіозв'язку підрозділів НГУ в умовах ведення РЕБ.

6. Метод підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення, який поєднує комп'ютерну модель роботи КРЗ підрозділів НГУ в умовах радіопридушення та властивості розробленого ДЗЗНЗ і дозволяє збільшити зону стійкого радіозв'язку.

Розроблені теоретичні положення, математичні моделі, методики, алгоритми, технічні рішення є основою для побудови зон стійкого радіозв'язку УНФ діапазону підрозділів НГУ з межею максимального значення приведеної випадкової похибки  $\pm 10\%$  та значенням довірчої ймовірності  $P = 0,95$ . Статичний пороговий коефіцієнт придушення корисного сигналу дорівнює 10 дБ. Коефіцієнт підсилення у напрямку головної пелюстки для ДЗЗНЗ становить: для одного ПАЩ  $\approx 7$  дБ; для трьох ПАЩ  $\approx 14,5$  дБ. Ширина діаграми спрямованості в горизонтальній площині для ДЗЗНЗ становить: для одного ПАЩ  $\approx 136^\circ$ ; для трьох ПАЩ  $\approx 76^\circ$ . Застосування методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення дозволяє збільшити зону стійкого радіозв'язку в 2,3 рази з одним ПАЩ та в 3,71 з трьома ПАЩ по відношенню до площі без використання запропонованих ДЗЗНЗ.

Обґрунтованість та достовірність отриманих у роботі результатів підтверджується: обґрунтованим вибором вихідних даних та основних припущень, прийнятих у процесі постановки завдань; практичною збіжністю результатів, одержаних теоретичним шляхом, з результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень; несуперечністю відомим результатам теоретичних та експериментальних досліджень; використанням науковими установами та під час проведення АТО.

Наукове використання отриманих результатів може полягати у вдосконаленні науково-методичного апарату оцінювання стану системи зв'язку в умовах

ведення РЕБ, а практичне використання – в обґрунтуванні напрямів вдосконалення, оцінки та прогнозування радіообміну засобами радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення.

Отримані у роботі нові науково-обґрунтовані результати в сукупності вирішують важливу для теорії та практики наукову задачу – удосконалення методу визначення зон стійкого радіозв'язку з урахуванням діаграм спрямованості екранів та антен, а поставлену мету – підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів НГУ – роблять досягнутою.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пузиренко О. Г. Методика кількісно-якісного аналізу та визначення рівня інформаційної безпеки / О. Г. Пузиренко, О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 1 (33). – С. 123-128.

2. Пузиренко О. Г. Моделі зменшення впливу та нейтралізації інформаційних ризиків в інформаційно-телекомунікаційних системах спеціального призначення / О. Г. Пузиренко, О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 1 (10). – С. 132-136

3. Іохов О. Ю. Визначення можливих шляхів побудови системи мобільного радіозв'язку внутрішніх військ МВС України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, О. В. Сєверінов // Системи управління навігацією та зв'язку. – 2011. – Вип. 3(19). – С. 254-257.

4. Белокурсський Ю. П. Захист інформації у каналах управління підрозділами внутрішніх військ МВС України / Ю. П. Белокурсський, О. М. Горбов, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич. // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – Вип. 1 (21). – С. 63-65

5. Іохов О. Ю. Основні аспекти радіоелектронного захисту системи радіозв'язку тактичної ланки управління внутрішніх військ МВС України під час виконання завдань за призначенням в умовах міста / О. Ю. Іохов, В. В. Антонєць, В. В. Овчаренко, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Честь і закон. – 2012. – № 4. – С. 40-47.

6. Малюк В. Г. Оцінювання завадостійкості каналу радіозв'язку тактичної ланки управління підрозділами внутрішніх військ методом імітаційного моделювання / В. Г. Малюк, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць Полтавського НТУ ім. Ю. Кондратюка, 2013. – Вип. 3 (27). – С. 153-158.

7. Малюк В. Г. Метод визначення меж зони стійкого радіообміну підрозділів внутрішніх військ в умовах радіоподавлення / В. Г. Малюк, О. Ю. Іохов,

- І. В. Кузьминич // Системи озброєння і військова техніка, ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. – № 1 (37). – С. 56-62.
8. Кузьминич І. В. Порядок застосування програмно-технічного комплексу підвищення перешкодостійкості радіоканалу тактичної ланки управління / І. В. Кузьминич // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4 (17) – С. 48-50.
9. Іохов О. Ю. Комплексний метод підвищення завадостійкості радіоканалів мобільних об'єктів підрозділів Національної гвардії України / О. Ю. Іохов, С. А. Горелишев, І. В. Кузьминич // Збірник Наукових Праць –Х.: Акад. ВВ МВС України 2015. – № 3 (25). – С.63-66.
10. Поповский В. В., Кузьминич И. В. Метод поляризационной модуляции и мультиплексирования в волоконно-оптических линиях связи / В. В. Поповский, И. В. Кузьминич // Вестник научных конференций – ООО "Консалтинговая компания Юком" (Тамбов) 2016. – № 10-2 (14). – С. 94-100.
11. Іохов О. Ю. Обґрунтування шляхів побудови системи мобільного радіозв'язку внутрішніх військ МВС України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Проблеми розвитку, удосконалення та експлуатації озброєння та військової техніки у внутрішніх військах: наук.-практ. конф., 29 листопада 2011 р., Зб. тез доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2011. – С. 32-34.
12. Іохов О. Ю. Загрози інформаційній безпеці радіомереж внутрішніх військ під час виконання завдань за призначенням / О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // IV науково-практична конференція "Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України": Зб. тез доповідей, 22 лютого 2012 р.– Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2012. – С. 112.
13. Іохов О. Ю. Напрямки розвитку засобів радіозв'язку в тактичній ланці управління внутрішніх військ МВС України / О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // III науково-практична конференція "Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України": Зб. тез доповідей, 30 березня 2011 р.– Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2011. – С. 73-76.
14. Іохов О. Ю. Шляхи забезпечення підвищення скритності управління в радіомережах ВВ МВС України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // III науково-практична конференція "Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України": Зб. тез доповідей, 30 березня 2011 р.– Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2011. – С. 77-78.
15. Іохов О. Ю. Підвищення скритності управління в радіомережах ВВ МВС України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф.,

17-18 березня 2011р., Зб. тез. доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2011. – С. 42.

16. Горбов О. М. Обґрунтування необхідності підвищення ефективності зв'язку під час виконання службово-бойових завдань внутрішніми військами міністерства внутрішніх справ України / О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // V Всеукраїнська наук.-практ. конф. "Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів військових формувань України": Зб. тез. доповідей, 7 груд. 2012 р. – Хмельницький: Національна акад. ДПС ім. Б. Хмельницького. – С. 36.

17. Долгов О. В. Рекомендації щодо підвищення стійкості радіообміну мобільних обертів захисту системи радіозв'язку тактичної ланки управління внутрішніх військ МВС України в умовах міста / О. В. Долгов, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, С. А. Орехов // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф., 12-13 бер. 2014 р., Зб. тез. доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2014. – С. 50-51.

18. Іохов О. Ю. Проблеми захисту системи радіозв'язку тактичної ланки управління внутрішніх військ МВС України в умовах міста / О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф., 20-21 бер. 2013 р., Зб. тез. доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2013. – С. 30-32.

19. Іохов О. Ю. Шляхи підвищення скритності в системах радіозв'язку з OFDM / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф., 21-22 бер. 2012 р., Зб. тез. доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2012. – С. 97.

20. Іохов, О. Ю. Аналіз підсистем безпеки радіомереж військового призначення / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Актуальні проблеми технічного забезпечення внутрішніх військ МВС України: програма наук.-практ. семінару м. Харків 25 квітня 2012 р., Академія ВВ МВС України. – Х.: Академія ВВ МВС України, 2012 – С. 8-9.

21. Іохов О. Ю. Погляди на систему захисту інформації у внутрішніх військах під час виконання завдань / О. Ю. Іохов, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // IV науково-практична конференція "Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України": Зб. тез доповідей, 22 лютого 2012 р.– Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2012. – С. 40-41.

22. Белокурський Ю. П. Активний екран захисту каналів радіозв'язку підрозділів внутрішніх військ [Текст] / Ю. П. Белокурський, О. О. Лищенко,

О. О. Щербіна, В. Є. Козлов, І. В. Кузьминич, О. М. Горбов // V науково-практична конференція "Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України", Секція 2: Зб. тез доповідей, 28 березня 2013 р.– Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2012. – С. 103-105.

23. Белокурський Ю. П. Захист інформації каналів управління підрозділами внутрішніх військ МВС України / Ю. П. Белокурський, В. Є. Козлов, О. О. Щербіна, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф., 20-21 березня 2013 р., Зб. тез. доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2013. – С. 14-15.

24. Іохов О. Ю. Інформаційна система забезпечення зони стійкого радіообміну мобільних об'єктів в умовах радіоподавлення / О. Ю. Іохов, В. Г. Малюк, І. В. Кузьминич // Информационные системы и технологии: матер. 3-й Международ. науч.-техн. конф., г. Харьков, 15-21 сентября 2014 г.: тезисы докладов / [редкол.: А.Д. Тевяшев (отв. ред.) и др.]. – Х.: ТОВ "ДРУКАРНЯ МАДРИД", 2014. – С. 64.

25. Іохов О. Ю. Метод визначення зони стійкого радіообміну мобільних об'єктів в умовах радіоподавлення / О. Ю. Іохов, В. Г. Малюк, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф., 18-19 березня 2015 р., Зб. тез. доповідей – Х.: НАНГУ, 2015. – С. 36-38.

26. Аналіз методів дослідження ІТ-засобів на сприятливість до завад / Ю. П. Белокурський, О. О. Щербіна, О. М. Горбов та ін. // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: зб. тез. доп. наук.-практ. семінару, м. Харків, 16 жовт. 2014 р. – Х.: Національна акад. НГ України, 2014. – С. 12–14.

27. Kuzminich I. Minimization Process of the Total Weighted Holding Time in a P2PNetwork / I. Kuzminich, K. Popovska / INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE "PROBLEMS OF INFOCOMMUNICATIONS. SCIENCE AND TECHNOLOGY" (PICS&T -2016) Volume II, October 6, 2016 Kharkov, Ukraine pp. 133-135.

28. Moskalets M. Methods of Femtocells Planning Using Methods of Packaging Optimization / M. Moskalets, I. Kuzminich // Problems of Infocommunications. Science and Technology (IEEE). – Kharkiv, Ukraine. 2016. –P. 61-64.

29. Пат. 105732 Україна, Антенний пристрій. / Ю. П. Белокурський, О. Ю. Іохов, В. Є. Козлов, І. В. Кузьминич, О. О. Морозов, О. О. Щербіна. – № а 2015 09069; заявка 21.09.2015 ; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7.



## АНОТАЦІЯ

**Кузьминич І. В. Методи підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Національна академія Національної гвардії України. – Харківський національний університет радіоелектроніки. – м. Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методу визначення зон стійкого радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України та розробці додаткових засобів захисту від навмисних завад і моделей радіоканалів, що дозволяє підвищити стійкість радіозв'язку.

За результатами аналізу стану системи радіозв'язку Національної гвардії України виявлені недоліки щодо управління підрозділами Національної гвардії та визначені шляхи підвищення стійкості радіоприйому в умовах радіопридушення. Визначено, що одним з можливих напрямів підвищення стійкості радіозв'язку є розробка методів ефективного застосування додаткових засобів захисту від навмисних завад.

Визначено критерій оцінювання стійкості радіообміну, який ґрунтується на максимізації площі стійкого радіообміну.

Обґрунтовано напрямки та шляхи з використання екранів і спрямованих антен, які складаються із спецзасобів військовослужбовців Національної гвардії України та штатних радіозасобів, для захисту від навмисних завад, визначення реальної форми зони стійкого радіообміну при дії в обмеженому оперативному просторі, оцінювання ефективності застосування розроблених моделей і методів та ін., а також методичний підхід до вирішення цих завдань.

Запропонована математична модель радіоканалу в умовах радіопридушення, яка використовує принцип суперпозиції при розрахунку коефіцієнту придушення радіозасобів від декількох джерел. Така модель дозволяє одночасно врахувати форму діаграми спрямованості екранів і антен при зміні просторових показників їх взаємного розташування та орієнтації.

Отримано імітаційну модель роботи каналу радіозв'язку, яка формалізує опис процесу ведення радіоелектронного обміну в умовах радіоподавлення використовуючи теорію кінцевих автоматів Мура та математичну модель каналу радіозв'язку. Ця імітаційна модель дозволяє визначити коефіцієнт придушення в кожній точці оперативного простору та оптимальні азимуту спрямування додаткового засобу захисту від навмисних завад.

Удосконалено метод визначення зони стійкого радіозв'язку в умовах радіопридушення, який відрізняється від відомих застосуванням хвильового алго-

ритму визначення ізоляції такої зони та імітаційної моделі радіоканалу. Такий метод дозволяє використати у якості граничних значення станів радіоканалу з оптимальним орієнтуванням екранів та антен. Програмна реалізація цього методу дозволяє отримати уточнені значення ізоляції та надає необхідну вихідну інформацію для планування заходів радіоелектронної протидії. Використання цього методу дозволяє збільшити зону стійкого радіозв'язку в 2,3 та 3,71 рази при використанні в якості дзеркала (відбивача) додаткового засобу захисту від навмисних завад відповідно одного та трьох протиударних алюмінієвих щитів.

Розроблені рекомендації зі створення та використання додаткового засобу захисту від навмисних завад, які створені на основі протиударного алюмінієвого щита та штатних радіозасобів підрозділів Національної гвардії України.

Отримані в ході дисертаційного дослідження результати підтверджені експериментами та впроваджені в навчальний процес вищих військових навчальних закладів.

**Ключові слова:** підрозділи Національної гвардії, стійкість радіоприйому, радіопридушення, зона стійкого радіозв'язку, навмисна завада, діаграма спрямованості, фокусна відстань, коефіцієнт радіопридушення, хвильовий алгоритм, канал радіозв'язку, ізоляція, імітаційна модель.

## АННОТАЦІЯ

**Кузьминич И. В. Методы повышения устойчивости радиоприема в сетях связи подразделений Национальной гвардии Украины. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций. – Национальная академия Национальной гвардии Украины. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – г. Харьков, 2017.

Диссертационная работа посвящена усовершенствованию метода определения зон устойчивой радиосвязи подразделений Национальной гвардии Украины, разработке дополнительных средств защиты от преднамеренных помех и моделей радиоканалов, позволяющих повысить устойчивость радиосвязи.

Предложена математическая модель радиоканала в условиях радиоподавления на основе принципа суперпозиции при расчете коэффициента подавления радиосредств от нескольких источников.

Получена имитационная модель работы канала радиосвязи на основе теории конечных автоматов Мура для определения коэффициента подавления в каждой точке оперативного пространства и оптимальных азимутов направления дополнительного средства защиты от преднамеренных помех.

Усовершенствован метод определения зоны устойчивой радиосвязи в условиях радиоподавления на основе волнового алгоритма определения изолинии.

Разработаны рекомендации по созданию и использованию дополнительного средства защиты от преднамеренных помех на основе противоударного алюминиевого щита и штатных радиосредств подразделений Национальной гвардии Украины.

**Ключевые слова:** подразделения Национальной гвардии, устойчивость радиоприема, радиоподавление, зона устойчивой радиосвязи, преднамеренная помеха, диаграмма направленности, фокусное расстояние, коэффициент радиоподавления, волновой алгоритм, канал радиосвязи, изолиния, имитационная модель.

## ANNOTATION

**Kuzmynych I.V. Methods of increasing the stability of radio reception in communications networks of the National Guard units of Ukraine. – Manuscript.**

The thesis for a candidate degree (Ph.D.) in specialty 05.12.13 – radio engineering devices and telecommunications. – National Academy of the National Guard of Ukraine. – Kharkiv National University of Radio Electronics. – Kharkiv, 2017.

Dissertation is devoted to the development of additional means of protection against jamming, radio model and method of determining the areas of stable radio communications of the National Guard units of Ukraine that will improve the stability of the radio.

A mathematical model of a radio channel is proposed in jamming conditions based on the superposition principle when calculating the coefficient of suppression of radio facilities from several sources.

A simulation model of the radio channel operation is derived on the basis of the Moore theory of finite automata for determining the suppression rate in each point of the operational space and optimal azimuths for directing an additional means of protection against intentional interference.

The method for determining the area of sustainable radio communication in jamming conditions is improved on the basis of the wave algorithm for determining the contours. The recommendations on the creation and use of an additional means of protection against intentional interference on the basis of a shockproof aluminum shield and the standard radio facilities of National Guard units of Ukraine are developed.

**Keywords:** National Guard units of Ukraine, radio reception stability, radio suppression, stable radio communication area, intentional interference, directional diagram, focal length, radio suppression rate, wave algorithm, radio communication channel, contours, simulation model.