

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЗЬМИНИЧ ІЛЛЯ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 2:004.056.53, 351.743, 55.351.5

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РАДІОПРИЙОМУ В МЕРЕЖАХ
ЗВ'ЯЗКУ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ**

05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І.В.Кузьминич

Науковий керівник Іохов Олександр Юрійович, кандидат технічних наук,
доцент

Харків - 2017

АНОТАЦІЯ

Кузьминич І.В. Методи підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методу визначення зон стійкого радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України та розробці моделей радіоканалів і додаткових засобів захисту від навмисних завад, 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 подавлення в кожній точці оперативного простору та оптимальні азимути спрямування додаткового засобу захисту від навмисних завад.

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. 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.

Одержані 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, ізолінія, імітаційна модель.

Список публікацій здобувача:

1. 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.

2. 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. Антонець, В. В. Овчаренко, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Честь і закон. – 2012. – № 4. – С. 40-47.

3. Белокурський Ю. П. Захист інформації у каналах управління підрозділами внутрішніх військ МВС України / Ю. П. Белокурський, 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.

4. 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.

5. 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.

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. 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.

8. 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.

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. Підвищення скритності управління в радіомережах ВВ МВС України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 17-18 березня 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 42.

12. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 30 березня 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. –

С. 73-76.

13. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 30 березня 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 77-78.

14. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 29 листопада 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 32-34.

15. 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", Секція 2: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 22 лютого 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 112.

16. 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", Секція 1: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 22 лютого 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 40-41.

17. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 21-22 бер. 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 97.

18. Іохов О. Ю. Аналіз підсистем безпеки радіомереж військового призначення / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Актуальні проблеми технічного забезпечення внутрішніх військ МВС України: матеріали наук.-практ. семінару, Харків, 25 квітня 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 48-49.

19. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Хмельницький, 7 груд. 2012 р. – Хмельницький: Національна акад. ДПС ім. Б. Хмельницького. – С. 36.

20. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 20-21 бер. 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – С. 30-32.

21. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 20-21 березня 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – С. 14-15.

22. Белокурський Ю. П. Активний екран захисту каналів радіозв'язку підрозділів внутрішніх військ / 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 28 березня 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 103-105.

23. Долгов О. В. Рекомендації щодо підвищення стійкості радіообміну мобільних обертів тактичної ланки управління внутрішніх військ МВС України / О. В. Долгов, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, С. А. Орехов // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 12-13 бер. 2014 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2014. – С. 50-51.

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., Харьков, 15-21 сентября 2014 г.: тезисы докладов / [редкол.: А.Д. Тевяшев (отв. ред.) и др.]. – Х.: ТОВ "ДРУКАРНЯ МАДРИД", 2014. – С. 64-65.

25. Іохов О. Ю. Проблеми захисту інформаційного обміну в радіомережах підрозділів Національної гвардії України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, К. М. Ткаченко // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 28 жовт. 2015 р. – Х.: НАНГУ, 2015. – С. 26–27.

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

27. Kuzminich I. Minimization Process of the Total Weighted Holding Time in a P2PNetwork / I. Kuzminich, K. Popovska / Problems of Infocommunications. Science and Technology (IEEE). – Kharkiv, Ukraine. 2016. – P. 154-155.

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. 211-213.

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.

ANNOTATION

Kuzmynych I.V. Methods of increasing the stability of radio reception in communications networks of the National Guard units of Ukraine. – Qualification research work as a 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.

The thesis is devoted to the development of additional means of protection against jamming, radio channel models and improving the method of determining the areas of stable radio communications of the National Guard units of Ukraine, which makes it possible to improve the stability of radio communication.

As a result of the analysis of the state of the radio communication system of the National Guard of Ukraine, there were revealed shortcomings in the management of the National Guard units. The analysis has shown the necessity of improving the radio reception stability in jamming conditions. It was determined that one of the possible ways of increasing the radio communication stability is the development of methods of the efficient use of additional means of protection against intentional interference.

A criterion for estimating the radio-exchange stability is defined. It is based on maximizing the area of stable radio-exchange.

The directions and ways of using screens and directional antennas to protect against intentional interference are grounded, which consist of special equipment Ukraine National Guard and standard radio facilities. The definition of the real form of the stable radio-exchange areas under the action in a limited operational space is made. The evaluation of the effectiveness of the developed models application and methods, etc., was carried out.

A mathematical model of a radio channel in jamming conditions is proposed, which uses the superposition principle when calculating the suppression rate of radio facilities from several sources. This model allows us to simultaneously take into account the shape of the directional diagram of the screens and antennas as the spatial coordinates of relative position and orientation change.

We obtain a simulation model of the radio channel, which formalizes the description of the process of conducting electronic exchange in the jamming conditions by applying the Moore theory of finite automata and a mathematical model of the radio channel in the jamming conditions. This simulation model gives a possibility to determine the suppression rate in each point of space and optimal direction azimuth of additional means of protection with respect to the jamming sources.

The method of determining the zone of stable radio communication in jamming conditions was improved, which differs from those known by the use of the wave algorithm for determining the contours of the area and the simulated radio channel model. This method allows you to use as boundary conditions mentioned radio with optimal orientation screens and antennas. Software implementation of this method provides a specified value contours and provides all the necessary background information for planning countermeasures of electronic counter measures. Using this method allows to increase the stable communication area in 2,3 and 3,71 by using as mirror (baffler) in additional protection against jamming in one and three shockproof aluminum shields accordingly.

Recommendations are developed for the creation and use of additional means of protection against intentional interference, which are based on a shockproof aluminum shield and the standard radio facilities of the National Guard units of Ukraine.

Obtained in the course of the research confirmed the results of experiments and implemented in the educational process of higher military educational institutions.

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.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Перелік умовних позначень..... | 16 |
| Вступ..... | 17 |
| Розділ 1 Аналіз стану системи радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України та визначення шляхів підвищення стійкості радіоприйому в умовах радіопридушення..... | 24 |
| 1.1 Аналіз впливу засобів радіоелектронної боротьби на систему радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України при виконанні службово-бойових завдань | 24 |
| 1.1.1 Аналіз засобів та суб'єктів впливу на засоби радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України | 25 |
| 1.1.2 Аналіз можливостей системи радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України протистояти засобам радіоелектронної боротьби противника | 28 |
| 1.2 Аналіз відомих методів і засобів радіоелектронного захисту у радіомережах | 30 |
| 1.2.1 Аналіз способів створення екранів та спрямованих антен | 33 |
| 1.3 Визначення критерію ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережі радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України | 35 |
| 1.4 Аналіз методів побудови зон стійкого радіообміну підрозділів Національної гвардії України | 39 |
| Висновки по 1 розділу..... | 41 |
| Розділ 2 Обґрунтування завдань дослідження та методичного підходу щодо їх вирішення..... | 43 |
| 2.1 Обґрунтування технології побудови екранів та спрямованих антен для радіомережі UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України та методики дослідження їх характеристик..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 2.2 Обґрунтування підходів до вдосконалення імітаційної моделі каналу радіозв'язку UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення | 46 |
| 2.3 Обґрунтування підходів щодо удосконалення методу визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення..... | 49 |
| 2.4 Методика експериментального дослідження характеристик додаткових засобів захисту від навмисних завад..... | 52 |
| 2.5 Порядок надання практичних рекомендацій використання методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України | 56 |
| 2.6 Методика оцінки ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України..... | 58 |
| 2.7 Загальна методика дослідження..... | 60 |
| Висновки по 2 розділу..... | 63 |
| Розділ 3 Удосконалення методу визначення зон стійкого радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення..... | 64 |
| 3.1 Визначення характеристик додаткових засобів захисту від навмисних завад при умові використання протиударного алюмінієвого щита та антен стандартних засобів зв'язку Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260 та визначення їх діаграм спрямованості..... | 64 |
| 3.1.1 Розрахунок характеристик спрямованої дзеркальної антени з дзеркалом типу параболічний циліндр за розміром протиударного алюмінієвого щита | 64 |
| 3.1.2 Комп'ютерне моделювання дзеркальних спрямованих антен на основі одного та трьох протиударних алюмінієвих щитів | 68 |
| 3.2 Удосконалення імітаційної моделі радіоканалу підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення..... | 79 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.1 Удосконалення математичної моделі радіоканалу з використанням додаткових засобів захисту від навмисних завад при дії засобів радіоелектронного впливу..... | 79 |
| 3.2.2 Розробка імітаційної моделі роботи каналу радіозв'язку в умовах радіопридушення..... | 81 |
| 3.2.3 Розробка алгоритму моделювання роботи каналу радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України з додатковим засобом захисту від навмисних завад в умовах радіопридушення..... | 83 |
| 3.3 Удосконалення методу визначення зони стійкого радіозв'язку засобами радіозв'язку UHF діапазону в умовах радіопридушення..... | 85 |
| 3.3.1 Формалізація завдання визначення зони стійкого радіообміну в умовах радіопридушення..... | 85 |
| 3.3.2 Розробка алгоритму визначення ізоліній зони досяжності за допомогою хвильового методу | 86 |
| Висновки по 3 розділу..... | 93 |
| Розділ 4 Розробка програмного забезпечення та оцінка ефективності реалізацій методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення.... | 95 |
| 4.1 Експериментальні дослідження характеристик додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита та штатних радіозасобів UHF діапазону | 95 |
| 4.1.1 Визначення вимог та порядку проведення експериментальних досліджень діаграми спрямованості додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита | 95 |
| 4.1.2 Визначення характеристик діаграми спрямованості додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита | 96 |
| 4.1.3 Аналіз експериментальних даних та визначення відповідності до даних, отриманих в результаті моделювання..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.4 Оцінка достовірності отриманих експериментальних даних..... | 105 |
| 4.2 Надання практичних рекомендацій для підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення | 106 |
| 4.2.1 Рекомендації з використання методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення | 106 |
| 4.2.2 Рекомендації зі створення та використання додаткового засобу захисту від навмисних завад..... | 113 |
| 4.3 Оцінювання ефективності функціонування комп'ютерної моделі роботи каналу радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України UHF діапазону в умовах радіопридушення..... | 115 |
| 4.4 Оцінювання ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення | 117 |
| Висновки по 4 розділу..... | 118 |
| Висновки..... | 119 |
| Список використаних джерел..... | 121 |
| Додаток А Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження..... | 134 |
| Додаток Б Аналіз існуючих підходів до розрахунку зони придушення радіоелектронних засобів..... | 139 |
| Додаток В Склад експериментальної установки..... | 157 |
| Додаток Г Розміри протиударного алюмінієвого щита..... | 165 |
| Додаток Д Результати експериментальних досліджень..... | 167 |
| Додаток Е Текст програми IMRC..... | 175 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

| | |
|-------|--|
| АСУ | – автоматизована система управління |
| АТО | – антитерористична операція |
| ВпЧЕУ | – випромінювальна частина експериментальної установки |
| ВЧЕУ | – вимірювальна частина експериментальної установки |
| ДС | – діаграма спрямованості |
| ДЗЗНЗ | – додатковий засіб захисту від навмисних завад |
| ДРП | – дискретне робоче поле |
| ЗСУ | – Збройні сили України |
| КРЗ | – канал радіозв'язку |
| КСХ | – коефіцієнт стоячої хвилі |
| НВЧ | – надвисокі частоти |
| НГУ | – Національна гвардія України |
| НДР | – науково-дослідна робота |
| НЗ | – навмисні завади |
| ПАЩ | – протиударний алюмінієвий щит |
| ПЗ | – програмний засіб |
| РЕБ | – радіоелектронна боротьба |
| РЕЗ | – радіоелектронний захист |
| РЕП | – радіоелектронне придушення |
| СБЗ | – службово-бойові завдання |
| СКВРВ | – середнє квадратичне відхилення результату вимірювань |
| ЦЗ | – центр зв'язку |
| UHF | – ultra high frequency |

ВСТУП

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 [1-8]. Сучасні комплекси (засоби) постановки НЗ мають досить якісні характеристики та дозволяють залишатися непомітними навіть при знаходженні поруч з противником.

Досвід виконання службово-бойових завдань (СБЗ) у 2014 році в місті Києві та проведенні Антитерористичної операції (АТО) на сході України показав, що штатні радіозасоби UHF діапазону, які стоять на озброєнні Національної гвардії України (НГУ), не забезпечені будь-якими механізмами захисту від впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника [9-12]. Застосування в силових структурах стандартних засобів захисту від НЗ для потреб НГУ неможливо через особливості виконання СБЗ. Для забезпечення роботи радіомереж НГУ UHF діапазону в умовах радіопридушення необхідне вдосконалення наукових засад та технічних засобів підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку [13-27].

Порівняльний аналіз відомих методів захисту від навмисних завад в умовах обмеження матеріальних ресурсів показав, що одним з можливих є енергетичний метод захисту [28-36]. Суть цього методу полягає у створенні енергетичної переваги корисного сигналу над завадою за рахунок використання екранів та спрямованих антен [37-39].

Ефективність застосування енергетичного методу захисту радіоканалів від навмисних завад 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 [40-44] 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 [45-48], можливо при використанні у якості екранів та спрямованих антен спеціального спорядження військовослужбовців НГУ у поєднанні зі штатними засобами радіозв'язку УНФ діапазону підрозділів НГУ [29, 38, 49, 50]. 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 зв'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 одержаних результатів:

– 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;

– 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;

– удосконалено метод визначення зони стійкого радіозв'язку в умовах радіопридушення, який відрізняється від відомих застосуванням хвильового алгоритму визначення ізолінії 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 у такому:

– 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. Встановлено, 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;

– 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;

– 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 $P_a \approx 0,95$;

– 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 Луганській та Донецькій 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" (додаток А).

Особистий внесок здобувача. У спільних наукових публікаціях за тематикою роботи особисто здобувачу належать такі положення: у [25] – проаналізовано методику кількісно-якісного аналізу рівня інформаційної безпеки; у [26] – проаналізовано моделі зменшення впливу та нейтралізації інформаційних ризиків; у [28] – визначені можливі шляхи побудови системи мобільного радіозв'язку, проблемні питання створення системи інформаційної безпеки мобільних командних центрів; у [29] – запропоновано практичні шляхи створення спрямованих антен та екранів для захисту радіообміну мобільних об'єктів підрозділів НГУ з використанням штатних засобів; у [50] – проаналізовано основні аспекти радіоелектронного захисту системи радіозв'язку; у [51] – запропоновано подальший розвиток математичної моделі радіоканалу та подальший розвиток імітаційної моделі радіоканалу в умовах радіопридушення; у [52] – науково обґрунтовано метод визначення меж зони стійкого радіообміну мобільних об'єктів підрозділів НГУ в умовах радіопридушення; у [53] – запропоновано порядок застосування програмно-технічного комплексу підвищення завадостійкості КРЗ підрозділів НГУ;

у [54] – запропоновано комплексний метод підвищення завадостійкості радіоканалів мобільних об'єктів підрозділів НГУ; у [55] – 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. [10], на науково-практичних конференціях в Академії внутрішніх військ МВС України у 2011-2014 р. [5-9, 12, 14, 30, 34-36, 39] та в Національній академії Національної гвардії України у 2014-2015 р. [27, 58], у Харківському Національному університеті радіоелектроніки на 3-й Міжнародній науково-практичній конференції 2014 р. [57], а також на конференції, яка проходила під егідою IEEE [59, 60] 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 [25, 26, 28, 29, 50-55], 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 [5-10, 12, 14, 27, 30, 34-36, 39, 57-60] та одному патенті на корисну модель [56].

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 133 сторінки, 61 рисунок на 46 сторінках, 5 таблиць на 3 сторінках, 6 додатків на 62 сторінках, список використаних джерел із 105 найменувань на 13 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ
ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ
РАДІОПРИЙОМУ В УМОВАХ РАДІОПРИДУШЕННЯ

1.1 Аналіз впливу засобів радіоелектронної боротьби на систему радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України при виконанні службово-бойових завдань

Події у 2014 р. в Києві, Донецькій та Луганській областях України виявили низку недоліків в управлінні силами, задіяними в АТО, та нездатність ефективно протистояти засобам РЕБ Російської Федерації.

Проаналізуємо дії засобів РЕБ на систему радіозв'язку НГУ у два етапи.

При виконанні завдань з припинення масових заворушень у 2014 р. в місті Києві з боку "натовпу" постійно проводились заходи з ведення РЕБ. Вони мали такий характер:

- прослуховування інформаційного радіообміну аналогових засобів радіозв'язку UHF діапазону, про що свідчать записи, викладені в Internet;
- блокування входу до радіомережі засобів радіозв'язку UHF діапазону шляхом введення радіостанцій в режим прийому;
- радіопридушення роботи цифрових захищених засобів радіозв'язку UHF діапазону, комерційних мереж стільникового зв'язку GSM.

Головними причинами вдалого застосування засобів РЕБ противником було таке:

- можливість прихованого застосування засобів РЕБ противника у безпосередній близькості до засобів зв'язку підрозділів НГУ;
- відсутність у засобів радіозв'язку UHF діапазону НГУ механізмів захисту від НЗ;
- відсутність засобів радіомоніторингу, механізмів оцінки стану

радіозв'язку в умовах ведення РЕБ та рекомендацій з протидії;

- знання противником всіх характеристик радіозасобів НГУ, частот та порядку ведення радіообміну.

При виконанні бойових завдань підрозділами НГУ в Донецькій та Луганській областях при проведенні АТО з 2014 р. по теперішній час противником постійно проводяться заходи з ведення РЕБ. Вони мають такий характер:

- прослуховування радіообміну аналогових засобів радіозв'язку UHF та інших діапазонів;

- радіоелектронне придушення цифрового захищеного радіозв'язку UHF діапазону та космічного зв'язку, що примушує органи управління переходити на аналоговий незахищений зв'язок або використання цивільних мереж стільникового зв'язку GSM;

- придушення цивільних мереж стільникового зв'язку GSM одних компаній та прослуховування інших.

Причини вдалого застосування засобів РЕБ схожі з попередніми. Крім того, важливим є використання сучасних засобів РЕБ Російської федерації.

Результати аналізу, яки викладені в [1-12], показали, що система радіозв'язку НГУ на даний час не забезпечує виконання вимог з оперативності, достовірності та прихованості радіозв'язку та потребує додаткових засобів захисту для ведення РЕБ.

1.1.1 Аналіз засобів та суб'єктів впливу на засоби радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України

За здатністю впливати на вразливі місця системи радіозв'язку підрозділів НГУ можна умовно виділити три категорії суб'єктів [13, 28, 50].

Перша категорія – організовані злочинні угруповання, які ставлять за мету досягнення економічної вигоди будь-яким шляхом і мають у своєму розпорядженні певний фінансовий потенціал.

Друга категорія – радикально-екстремістські (націоналістичні, релігійні) рухи нашої країни, які мають для досягнення політичних та інших цілей фінансову підтримку від політичних партій та закордонних "спонсорів", зацікавлених у нестабільності нашої держави.

Третя категорія – висококваліфіковані фахівці – особи, які працюють на замовлення і займаються створенням проблем гуманітарного та політичного характеру, збудженням мас населення, штовхаючи їх до масових заворушень, які інколи супроводжуються терористичними проявами.

Визначимо можливі способи радіоелектронного придушення (РЕП) мереж радіозв'язку мобільних об'єктів підрозділів НГУ.

Загалом, метою РЕП є перешкоджання роботі радіоелектронних систем і засобів протидіючої сторони. Під завадами у загальному випадку розуміють будь-які сторонні впливи, що призводять до спотворення переданої інформації. Спеціально організовані дії при цьому називають навмисними завадами.

Вплив НЗ може бути здійснено в будь-якій точці перетворення інформації чи інформаційних сигналів. Для систем радіозв'язку, що використовують відкрите середовище за переносник інформації, найбільш просто організувати радіозавади або спеціально організовані (навмисні) електромагнітні випромінювання в діапазоні робочих частот радіоліній 420-480 МГц. Класифікація навмисних завад наведена на рисунку 1.1.

Тактико-технічні характеристики засобів та використовуваний діапазон радіозв'язку (таблиця 1.1) дозволяють виділити декілька особливостей Kenwood ТК-2260, Kenwood ТК-2270, Kenwood ТК-7760, що є у вільному продажу, за умови їх застосування для придушення радіомереж:

- режим роботи "псевдотранкінг" дозволяє блокувати зайнятий канал на певному просторі безперервно близько 9 хв.;
- радіостанції без особливих витрат можна перепрограмувати на видачу в ефір шумових завад.

Як наслідок, розглянуті засоби радіозв'язку забезпечують можливість постановки активних завад у будь-якому місці оперативного простору,

залишаючись візуально непоміченими. Такий підхід може використовуватися усіма категоріями противника. Виходячи з того, що радіозасоби використовують заздалегідь відомі параметри сигналу, найбільш ефективною буде прицільна завада.

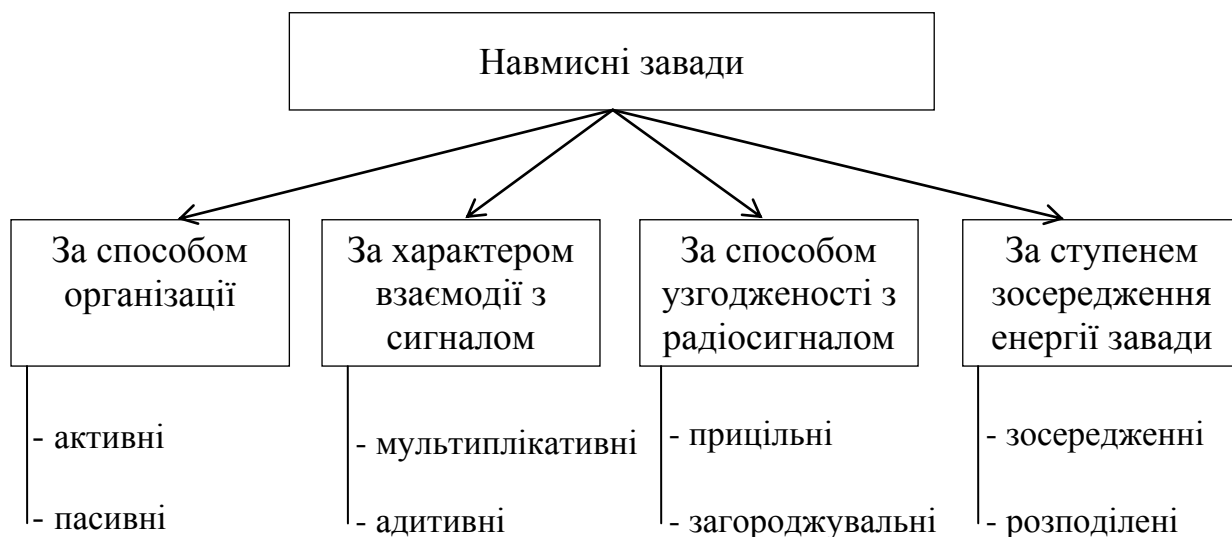



Рисунок 1.1 – Класифікація навмисних завад

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики засобів радіозв'язку мобільних об'єктів, які знаходяться на озброєнні

| Характеристики | Kenwood TK-2260 | Kenwood TK-2270 | Kenwood TK-7760 |
|------------------------|---|--|---|
| Діапазон частот, МГц | 136-174, 450-490, 400-430 | 148-174 | 136-174, 440-470 |
| Кількість каналів | 16 | 128 | 128 |
| Габарити, мм | 54 x 122 x 33 | 54 x 122 x 33 | 160 x 43 x 137 |
| Вага г | 340 | 340 | 1180 |
| Вихідна потужність, Вт | 1/5 | 1/5 | 1/25 |
| Чутливість, мкВ | 0,25 | 0,25-0,28 | 0,25-0,35 |
| Зовнішній вигляд |  |  |  |

При відомих параметрах сигналу також можна легко зосередити енергію за частотою завади, отримуючи вузько-смугову заваду, ширина спектра якої менше ширини спектра корисного сигналу.

Таким чином, можна з впевненістю визначити, що найбільшу загрозу для мережі радіозв'язку управління підрозділами НГУ становить адитивна прицільна зосереджена за частотою завада.

1.1.2 Аналіз можливостей системи радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України протистояти засобам радіоелектронної боротьби противника

Проаналізуємо засоби радіозв'язку, які стоять на озброєнні НГУ.

Засоби радіозв'язку НГУ [59] поділяють на засоби військового та міліцейського парків (рисунок 1.2).

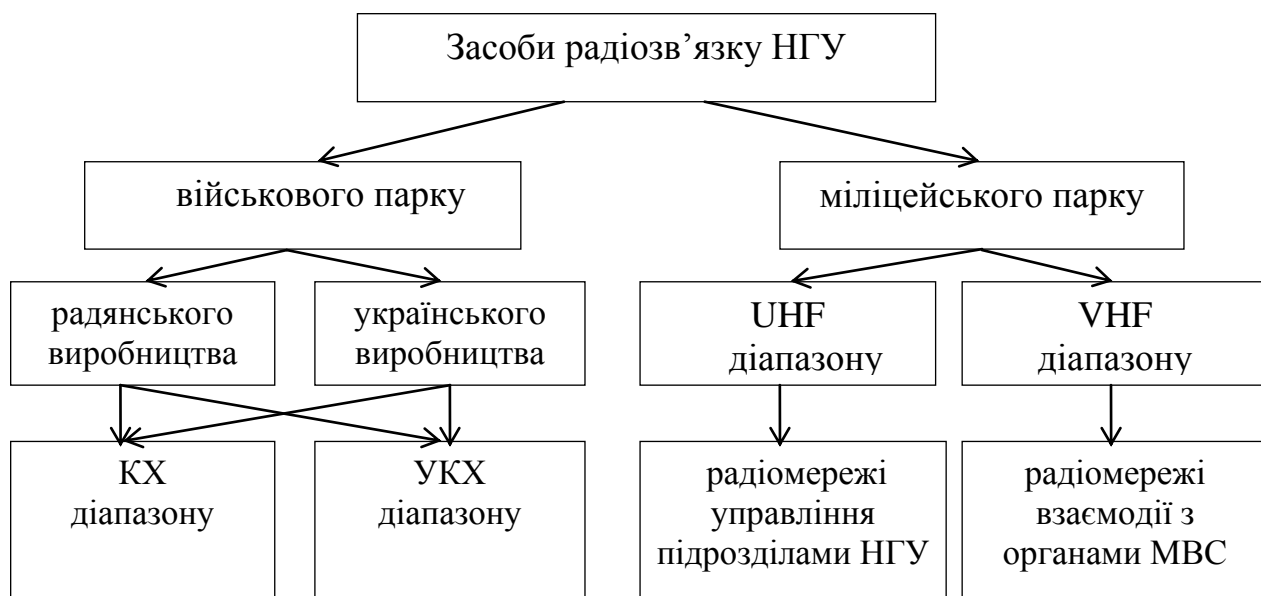


Рисунок 1.2 – Засоби радіозв'язку НГУ

Аналіз побудови системи управління при виконанні бойових завдань у м. Києві, Донецькій та Луганській областях України при проведенні АТО показав, що основне навантаження із забезпечення управління підрозділами НГУ покладалося на радіозасоби міліцейського парку UHF діапазону. Але вони мають такі недоліки:

– закордоні зразки засобів радіозв'язку мережі радіообміну мобільних об'єктів, які стоять на озброєнні, за своїми технічними характеристиками не забезпечують захист від НЗ, що впливає на стійкість інформаційного обміну в процесі управління;

– режими робіт засобів радіозв'язку сумісні з режимами, які використовують радіолюбители та комерційні структури, що дозволяє їх безперешкодне прослуховування та визначення всіх технічних характеристик.

Таким чином, дані засоби не можуть протистояти таким основним загрозам як перехоплення, прослуховування, придушення та втручання.

Поряд із цим, можливості засобів радіоелектронного впливу, які можна вільно придбати широкому колу осіб, постійно вдосконалюються. Останні досягнення в напрямку удосконалення засобів радіопридушення – це можливість їх довгострокового та прихованого застосування, обумовлена мініатюризацією, простотою використання, швидкістю оброблення перехопленої інформації; здатність до передислокації та маскуванню, до роботи від різних енергетичних джерел та ін. [50].

Засоби радіопридушення за своїми технічними характеристиками поступаються засобам РЕБ, які перебувають на озброєнні збройних сил провідних країн світу. Але специфіка виконання завдань за призначенням в умовах міста (рисунок 1.3) дає їм певні переваги і робить навіть більш дієвими, ніж засоби РЕБ збройних сил, що обумовлює необхідність вибору методів завадозахисту та можливих організаційно-технічних шляхів їх впровадження.

В умовах безпосереднього контакту з противником для забезпечення радіообміну потрібно мати точні оцінки можливостей стійкої роботи КРЗ в різних точках оперативного простору.

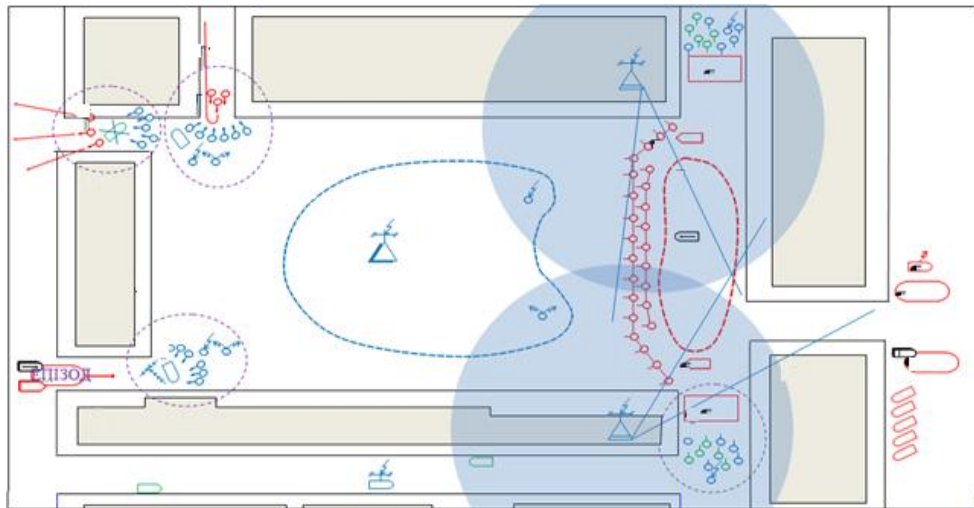


Рисунок 1.3 – Зони радіопридушення мережі радіозв'язку

Це потребує 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.

1.2 Аналіз відомих методів і засобів радіоелектронного захисту у радіомережах

Захист від НЗ є однією з найбільш важливих складових радіоелектронного захисту (РЕЗ) систем зв'язку підрозділів НГУ.

Проблема захисту систем військового зв'язку від засобів РЕП є комплексною, бо залежить [47-50, 105]:

- від здатності засобів РЕЗ протистояти безпосередній радіорозвідці противника у їх виявленні, пеленгуванні та розпізнаванні структури і параметрів сигналів з метою створення оптимальної завади;

- від здатності засобів РЕЗ виконувати своє функціональне завдання із заданою якістю в умовах впливу НЗ.

Зазначимо, що незалежно від використовуваних методів протидії засобам придушення мереж радіообміну мобільних об'єктів захист від НЗ завжди ґрунтується на використанні будь-яких відмінних ознак сигналів і завад.

Іншими словами, завдання завадозахисту не може бути вирішене, якщо сигнали і завади не відрізняються.

На рисунку 1.4 наведено класифікацію методів захисту від НЗ.



Рисунок 1.4 – Методи захисту від НЗ

Сутністю енергетичних методів захисту є створення енергетичної переваги сигналу над завадою на вході радіоприймального пристрою. Але для мобільних об'єктів НГУ збільшення потужності передавальних пристроїв неможливе через визначені незмінні характеристики засобів радіозв'язку. Крім того, скорочення дальності зв'язку встановленням в напрямку завад будь-яких екрануючих пристроїв або використанням екрануючих властивостей місцевості у поєднанні з іншими методами можливе, але потребує чіткого визначення варіантів розташування радіозасобів в міських умовах.

Сигнальні методи, які використовують частотні і часові ознаки розрізнення, не можуть бути реалізовані через неможливість формування радіосигналів, що відрізняються від завад.

Просторові методи захисту (використовують розрізнення сигналів і завад за напрямом їх надходження) потребують розробки та впровадження

додаткового обладнання, призначеного для формування заданих ДС приймальних та передавальних антен.

Ефективність використання тих чи інших методів визначається типом радіоліній, використовуваним механізмом радіоелектронної розвідки, можливостями технічної реалізації, специфікою завдань, які виконуються підрозділами НГУ, дотриманням вимог прихованості розташування та мобільності засобів захисту. Вочевидь, що чим більше число відмінних ознак використовується в радіолінії, тим вищою буде її завадозахищеність. Тому на практиці часто використовують комбіновані методи захисту.

Характерним для радіоліній мобільних об'єктів є неможливість створення суттєвої енергетичної переваги порівняно з протиборчою стороною. Цьому сприяють і висока електромагнітна доступність засобів зв'язку, і однакові умови радіоелектронної взаємодії, і жорсткі обмеження на розташування в оперативному просторі (рисунок 1.3). Тому для радіоліній мобільних об'єктів в даний час найбільш прийнятною є комбінація енергетичних і просторових методів захисту.

За способом формування відмінних ознак зазвичай розрізняють три групи методів завадозахисту [61, 105]: компенсаційні, адаптивні та робочі (інваріантні).

Адаптивні та робочі методи захисту від завад потребують використання спеціальних технічних рішень, які не можуть бути реалізовані в конкретних зразках техніки, що стоїть на озброєнні підрозділів НГУ.

Сутність компенсаційних методів полягає у вимірюванні параметрів впливу завади для її подальшої компенсації – "віднімання" із суміші корисного сигналу з завадою. Найбільш доступним компенсаційним методом є одночасне застосування просторового та енергетичного методів компенсації завади. На рисунку 1.5 наведено варіант протидії засобам радіопридушення за рахунок використання екранів та спрямованих антен під час виконання СБЗ з ліквідації масових заворушень.

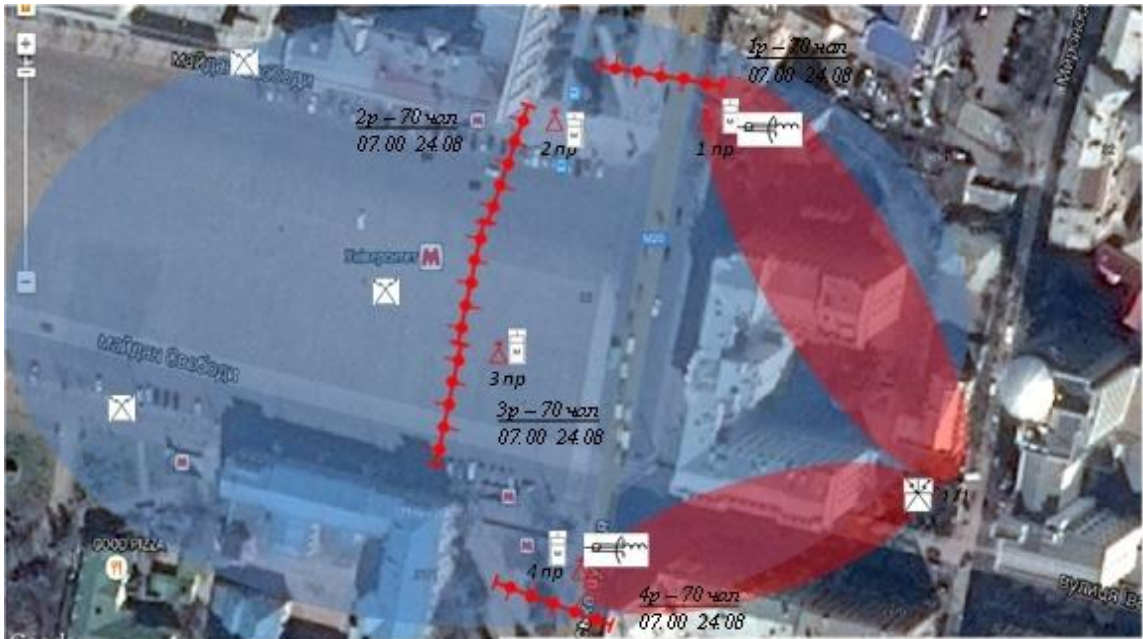


Рисунок 1.5 – Варіант протидії засобам радіопридушення за рахунок використання екранів та спрямованих антен

У зв'язку з неможливістю використання стандартних спрямованих антенних пристроїв розглянемо можливість захисту радіоканалів зв'язку екранами та антенами, які б мали енергетичну перевагу, з одного боку, та відповідали вимогами прихованості та мобільності, з іншого.

1.2.1 Аналіз способів створення екранів та спрямованих антен

Засоби радіозв'язку радіомережі мобільних об'єктів працюють у UHF діапазоні і використовують різні типи антен (рисунок 1.6) [62-64].

Вібраторні антени.

Прості антени використовують як елементи складних антен, випромінювачів дзеркальних антен, збуджувачів хвилеводів та ін.

Директорні антени використовують в умовах, коли є час на їх розгортання і не треба дбати про прихованість та мобільність; виготовляються професійно, мають досить великі задню та бокові пелюстки. Можливе їх використання на блокпостах, в командно-штабних машинах, на командних

пунктах різного рівня, але лише для підсилення сигналу обміну між абонентами радіомережі.

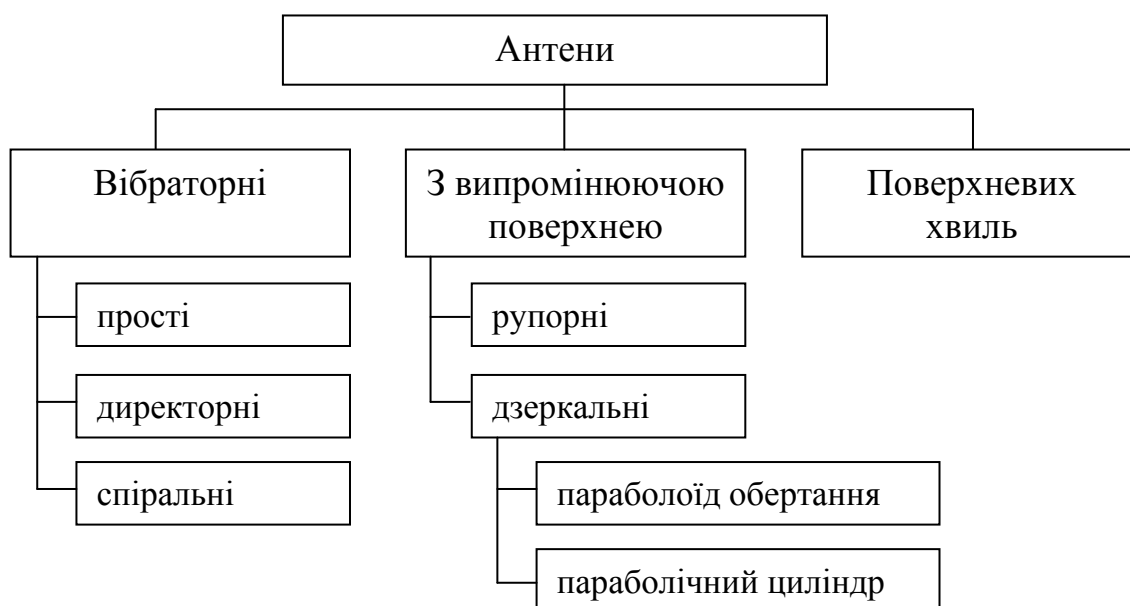


Рисунок 1.6 – Основні типи UHF антен

Спіральні антени являють собою спіральний дріт, один кінець якого залишається вільним, а другий з'єднується з внутрішнім коаксіальним кабелем. Використовуються як окремі антени, наприклад, у радіостанціях підрозділів НГУ типу Kenwood та ін., а також як випромінювачі дзеркальних та рупорних антен.

Антени у вигляді випромінюючих поверхонь.

Рупорні антени через конструктивні особливості та занадто широкі ДС зазвичай використовуються як випромінювачі дзеркальних антен.

Дзеркальні антени застосовують у різних діапазонах хвиль, починаючи від оптичного до короткохвильового. Розрізняють багато типів дзеркальних антен, однак, виходячи з потреб зручності застосування та особливостей характеристик, можна виділити параболоїд обертання та параболічний циліндр.

Параболоїд обертання має прийнятні екрануючі та спрямовані властивості. Однак його недоліками є чутливість до зміщення фокусу, що призводить до виникнення фазових викривлень, які значно збільшують бокові

пелюстки, а також неможливість маскуванню під місцевість, необхідність жорсткого кріплення та точного орієнтування.

Параболічний циліндр у порівнянні з параболоїдом обертання має низку переваг: простіший у виготовленні; відсутнє поле з паразитичною поляризацією; має кращу реакцію дзеркала на випромінювач.

Використання антен поверхневих хвиль для вирішення завдань підрозділів НГУ є недоцільним.

Таким чином, серед розглянутих типів антен для потреб захисту радіозв'язку найбільш придатним в якості дзеркала можна вважати параболічний циліндр, до якого за формою близький протиударний алюмінієвий щит із спеціальних засобів підрозділів НГУ [65], а в якості випромінювача – штиркову антену від радіостанції типу Kenwood, Motorola та ін. [29, 31, 39]. Таке поєднання дозволить дотриматися вимог щодо прихованості та мобільності згаданих антен, які будемо називати "додатковий засіб захисту від навмисних завад" (ДЗЗНЗ). Вплив використання таких антен на стійкість радіообміну буде залежати від його ДС, яку потрібно визначити додатково.

1.3 Визначення критерію ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережі радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України

У міських умовах площі (рисунки 1.3, 1.5) є на порядок або два меншими порівняно з площами, на яких звичайно проводяться загальновійськові операції ЗСУ. Враховуючи це, головним завданням є забезпечення стійкого радіозв'язку на якомога більшій площі розміщення своїх військ. Тобто, 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 залученням заходів захисту та без таких [66, 67]:

$$\max[F(X) = S_z(X)/S_o(X)], X \in D, \quad (1.1)$$

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

D – область припустимих значень елементів вектора X ;

S_z – площа стійкого обміну с захистом;

S_o – площа стійкого обміну без захисту.

На результат розв'язання задачі (1.1) суттєво впливає множина параметрів засобів радіоелектронного впливу (кількість джерел завад, їх потужність, розташування відносно передавача центра зв'язку та ін.).

Розглянемо ступінь впливу просторових та енергетичних показників на стійкість радіоканалу при умові дії адитивної прицільної зосередженої по частоті завади.

З теорії інформації відомо [68], що всі технічні способи підвищення стійкості інформаційного обміну в умовах завад засновані на внесенні надлишковості в сигнал, що передається, за рахунок збільшення тривалості t_c (часу передачі), ширини спектру сигналу Δf_c або відношення потужності сигналу до потужності завади P_c/P_z [69,70].

Вважаючи, що такі показники, як тривалість часу передачі t_c та ширина спектру сигналу Δf_c незмінні, треба розглядати можливість збільшення відношення потужності сигналу до потужності завади P_c/P_z .

При заданих вимогах щодо стійкості радіообміну для кожного технічного засобу захисту від завад можна завжди однозначно вказати граничне (порогове) відношення сигнал/завада на вході тракту прийому, при якому ще забезпечуються необхідні показники стійкості радіоканалу. Це дозволяє за кількісну міру, що дає можливість об'єктивно оцінювати методи захисту від завад, прийняти таке мінімально допустиме відношення потужності корисного сигналу P_c до потужності навмисних завад на вході тракту прийому P_z , при якому ще забезпечується необхідна якість прийому сигналу [70]:

$$K_{\pi} = \frac{P_3}{P_c} \leq K_{\text{пор}}, \quad (1.2)$$

де K_{π} – коефіцієнт придушення корисного сигналу завадою;

$K_{\text{пор}}$ – деякі порогові значення, характерні для даного виду завади та сигналу, умов їх взаємодії та способу обробки суми сигналу/завади.

Простір, в межах якого K_{π} перевищує задане значення $K_{\text{пор}}$, визначається як зона придушення радіоелектронного засобу. Залишок оперативного простору, який не належить зоні придушення, називається зоною досяжності.

Кількість факторів, що впливають на радіоелектронну обстановку, є випадковою у той чи інший момент часу, і врахувати їх усі неможливо. Тому за показник стійкості радіолінії можна прийняти завадостійкість, а саме ймовірність того, що реальне відношення сигнал/завада на вході тракту прийому виявиться не менше гранично допустимого $K_{\text{пор}}$, тобто [70]:

$$K_{\text{пр}} = P(K_{\pi} \leq K_{\text{пор}}). \quad (1.3)$$

Схема утворення радіозавад у системі радіозв'язку наведена на рисунку 1.7.

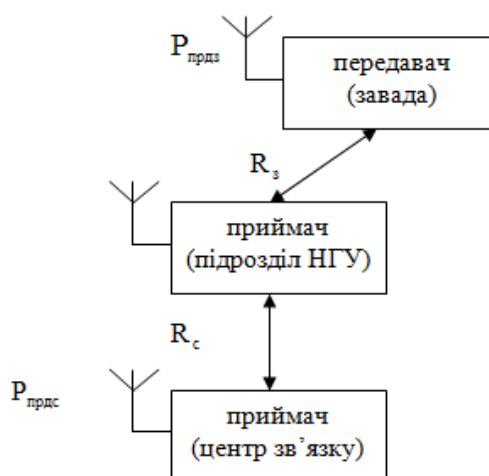


Рисунок 1.7 – Схема утворення радіозавад у системі радіозв'язку НГУ

Визначимо фактори, що впливають на коефіцієнт придушення за потужністю у схемі взаємодії системи "передавач-приймач" в присутності джерела завади.

Якщо сигнал та завада розповсюджуються у вільному просторі, потужність корисного сигналу на вході приймача складатиме [71]

$$P_c = \frac{P_{\text{прдс}} G_{\text{прдс}} G_{\text{прмс}} \lambda^2}{4 \pi R_c^2}, \quad (1.4)$$

де $P_{\text{прдс}}$ – потужність передавача корисного сигналу центру зв'язку (ЦЗ);

$G_{\text{прдс}}$ та $G_{\text{прмс}}$ – коефіцієнти підсилення антен передавача радіосигналу у напрямку на приймач та приймальної антени у напрямку на радіопередавач відповідно;

R_c – відстань траси розповсюдження сигналу від ЦЗ до підрозділу НГУ.

Аналогічно обчислюється потужність, яка утворюється передавачем завад на приймачі [33]

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{прдз}} G_{\text{прдз}} G_{\text{прмз}} \lambda^2 \eta_z}{4 \pi R_z^2}, \quad (1.5)$$

де $P_{\text{прдз}}$ – потужність передавача завади;

$G_{\text{прдз}}$ та $G_{\text{прмз}}$ – коефіцієнти підсилення антен передавача завад у напрямку на приймач та приймальної антени у напрямку на радіопередавач завад відповідно;

R_z – відстань траси розповсюдження завади (задається в залежності від апріорних даних, отриманих на етапі планування або під час безпосереднього проведення операції);

$\eta_z \leq 1$ – коефіцієнт, який враховує різницю поляризації сигналу та завади.

З формул (1.2), (1.4), (1.5) витікає, що відношення потужностей завади та сигналу за умови радіоелектронної протидії системі передавання інформації буде дорівнювати

$$K_{\Pi} = \frac{P_3}{P_c} = \frac{P_{\text{прдз}} G_{\text{прдз}} G_{\text{прмв}} \eta_3 R_c^2}{P_{\text{прдс}} G_{\text{прдс}} G_{\text{прмс}} R_3^2}. \quad (1.6)$$

Відповідно до (1.6), маємо змогу вирахувати коефіцієнт придушення в одній окремій точці простору.

Вираз (1.6) є єдиним на даний час математичним виразом для дослідження стійкості радіоканалу в умовах постановки НЗ. Але в ньому не враховуються характеристики екранів та спрямованих антен, відсутній механізм оптимізації їхнього спрямовування відносно декількох джерел НЗ (немає формалізованого алгоритму роботи радіоканалу у реальному режимі часу).

Таким чином, X – вектор параметрів, що оптимізуються в задачі (1.3), має вигляд:

$$X = (P_{\text{прдс}}, P_{\text{прдз}}, R_c, R_{z_i}), i = 1..N \quad (1.7)$$

де $P_{\text{прдс}}$ – потужність передавача корисного радіосигналу ЦЗ;

$P_{\text{прдз}}$ – потужність передавача i -ї завади;

R_c – відстань між передавачем ЦЗ та радіоприймачем підрозділу НГУ;

R_{z_i} – відстань між радіоприймачем підрозділу НГУ та передавачем i -ї завади.

Таким чином, потрібно визначити залежність між характеристиками КРЗ в умовах радіопридушення та ДС додаткових антен, їхньою орієнтацією по відношенню до декількох джерел завад. Це дозволить чітко визначити значення коефіцієнту придушення в усіх точках оперативного простору для отримання зон стійкого радіообміну.

1.4 Аналіз методів побудови зон стійкого радіообміну підрозділів Національної гвардії України

Аналіз методів побудови зони стійкого радіообміну показав, що для одиночного джерела завад без захисту можна визначити зону придушення

радіообміну, використовуючи аналітичний підхід, викладений у роботі [70]. Зі співвідношення (1.6) за відсутністю захисту маємо:

$$R_3 = R_3 \sqrt{\frac{P_{\text{прдз}}}{P_{\text{прдс}} K_{\text{п}}}} = R_c \sqrt{\beta}. \quad (1.8)$$

При $\beta \leq 1$, тобто коли енергетичний потенціал станції завод невеликий, зона придушення радіоелектронного засобу – це коло радіусу

$$R = R_{c-3} \frac{\beta}{1 - \beta^2}, \quad (1.9)$$

де R_{c-3} – відстань між передавачами сигналу та заводи; центр зони придушення при $\beta < 1$ зміщений на $R_3 \beta$ у напрямку базової лінії, яка об'єднує передавачі сигналу та заводи в бік від ЦЗ (рисунок 1.8, коло справа).

При $\beta > 1$, коли енергетичний потенціал передавача завод перевищує потужність передавача сигналу ЦЗ, зона придушення займає всю площину, за виключенням зони досяжності – кола радіусу

$$R = R_{c-3} \frac{\beta}{\beta^2 - 1} \quad (1.10)$$

з центром, зміщеним відносно точки розташування ЦЗ в бік, протилежний напрямку на передавач радіозавод на $\frac{R_3}{\beta}$ (рисунок 1.8, коло зліва).

При $\beta = 1$ межа зони придушення буде проходити посередині між передавачами радіозавод та ЦЗ.

Недоліком розглянутого підходу є обмеження на кількість завод, неможливість врахування їх потужностей, розташування відносно ЦЗ, впливу діаграми спрямованості ДЗЗНЗ. Тому у загальному випадку форма зони досяжності перестає бути правильним колом і не може бути застосована при побудові меж зони стійкого радіозв'язку НГУ.

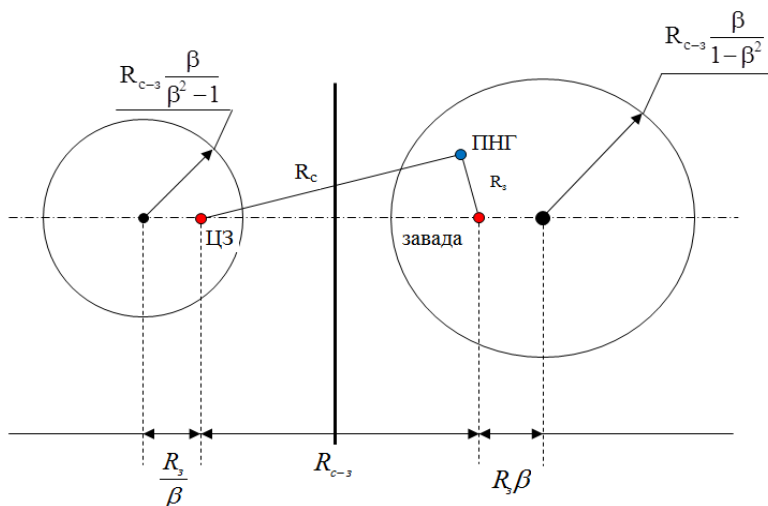


Рисунок 1.8 – Часткова задача розрахунку зони придушення радіолінії передачі інформації

Аналіз відомих методів визначення зон, які відрізняються за кількісними показниками, показав можливість використання чисельних методів визначення ізоляції [60, 66, 67]. Таким чином, для завдання з уточнення границь зони стійкого радіообміну радіозасобами UHF діапазону в системі радіозв'язку НГУ при виконанні умови (1.2) може бути вирішене за рахунок застосування чисельних методів визначення ізоляції.

Висновки по 1 розділу

Аналіз подій у 2014 р. у Києві, Донецькій та Луганській областях України свідчить про низку недоліків щодо управління підрозділами НГУ. Це обумовлено відсутністю механізмів захисту від дії засобів радіоелектронної боротьби в системі радіозв'язку НГУ.

Аналіз загроз системі зв'язку НГУ показує, що є ймовірним використання противником імітаційної завади. Це обумовлює доцільність використання екранів і спрямованих антен, які складаються зі спецзасобів військовослужбовців НГУ та штатних радіозасобів UHF діапазону, для підвищення стійкості радіообміну, а також необхідність визначення їх характеристик.

Визначено критерій оцінювання стійкості радіообміну, який ґрунтується на максимізації площі стійкого радіообміну. Однак існуючий аналітичний метод не дозволяє визначати реальну форму зони стійкого радіозв'язку при дії в обмеженому оперативному просторі та використанні ДЗЗНЗ. Це обумовлює необхідність вирішення низки завдань:

- аналіз науково-методичного апарату оцінювання стану системи радіозв'язку НГУ 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 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 мережі радіозв'язку підрозділів НГУ.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ЩОДО ЇХ ВИРІШЕННЯ

Виконаний у розділі 1 аналіз оперативно-тактичних вимог до зв'язку НГУ, принципів побудови та можливих загроз системі зв'язку НГУ, критеріїв оцінювання стійкості радіообміну показав, що підвищення якості визначення зони стійкого радіообміну в мережі UHF діапазону підрозділів НГУ в умовах радіопридушення можливе тільки за умов виконання відповідних науково-технічних розробок і удосконалень існуючих моделей і методів в межах об'єкта дослідження.

У даному розділі обґрунтовуються напрямки та шляхи з використання екранів і спрямованих антен, які складаються із спецзасобів військовослужбовців НГУ та штатних радіозасобів, для захисту від НЗ, 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.

2.1 Обґрунтування технології побудови екранів та спрямованих антен для радіомережі UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України та методики дослідження їх характеристик

Радіоелектронне придушення порушниками радіозв'язку підрозділів НГУ при виконанні завдань в міських умовах потребує розробки засобів захисту від НЗ, які мали б екрануючі та діаграмоспрямовуючі властивості. При цьому обов'язково потрібно враховувати вимоги щодо забезпечення мобільності, скритності застосування та мінімізації матеріальних витрат при розробці та виготовленні пристроїв.

Узагальнюючи досвід подій 2014-2016 р. в Україні, можна констатувати, що використання стандартних спрямованих антенних пристроїв в умовах

безпосереднього контакту протиборчих сторін, особливо при виконанні завдань в міських умовах, є утрудненим. Виходячи з цього, при створенні засобів РЕЗ від НЗ необхідно враховувати досвід використання антенних пристроїв, які застосовують в якості дзеркала нестандартні металеві поверхні різної форми. Наприклад, для збільшення коефіцієнту спрямованої дії для Wi-Fi систем використовують різного розміру металеві банки, тарілки з під їжі, вигнуті металеві листи тощо [29, 65]; для збільшення потужності завад з метою захисту броньованої техніки від фугасів використовують бокові поверхні машин та ін.

З огляду засобів захисту особового складу, які стоять на озброєнні НГУ, витікає припущення, що протиударний алюмінієвий щит (ПАЩ) (рисунок 2.1) можна використати як дзеркало спрямованої антени, а також як засіб екранування від завад. До того ж, ПАЩ безперечно відповідає висунутим вище вимогам, а саме:



Рисунок 2.1–Протиударний
алюмінієвий щит

– встановлюється в будь-яке місце без додаткових конструкцій (можна просто тримати в руках), легкий, є у кожного військовослужбовця НГУ;

– як засіб захисту радіомережі не привертає зайвої уваги, може приховуватися серед інших ПАЩ;

– як дзеркало спрямованої антени дозволить взагалі уникнути додаткових витрат.

Другий основний елемент дзеркальної спрямованої антени – випромінювач, при виборі якого, крім вказаних вище вимог, необхідно враховувати питання його кріплення відносно дзеркала та складності при встановленні та використанні.

Аналіз характеристик засобів зв'язку, які стоять на озброєнні та використовуються мобільними об'єктами підрозділів НГУ (таблиця 1.1), дозволяє припустити можливість використання штатних антен радіостанцій Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260 в якості випромінювачів, оскільки їх

характеристики схожі з характеристиками стандартного диполя.

Таким чином, потребує доказу гіпотеза про можливість створення ДЗЗНЗ при використанні ПАЩ та антен стандартних засобів зв'язку. Для цього потрібно:

- теоретично обґрунтувати можливість використання ПАЩ із антенами стандартних засобів зв'язку Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260 як ДЗЗНЗ та визначити його діаграму спрямованості;

- провести комп'ютерне моделювання ДЗЗНЗ;

- провести емпіричні дослідження характеристик ДЗЗНЗ.

Теоретичне обґрунтування можливості використання ПАЩ (вирізки з циліндра) як дзеркала антенного пристрою доцільно виконати шляхом порівняння його геометричних характеристик із характеристиками стандартної дзеркальної спрямованої антени у формі параболічного циліндра, в припущенні, що фокус параболи (місце розташування випромінювача) буде максимально близько суміщений з центром кола. Наближення параболічної поверхні до заданої циліндричної поверхні ПАЩ визначиться як різниця апроксимації. Якщо ця різниця буде незначною, то діаграми спрямованості ДЗЗНЗ можна розраховувати за тими ж самими формулами, що і для стандартних антен відповідної форми.

Комп'ютерне моделювання ДЗЗНЗ потребує вибору відповідного програмного забезпечення. Перегляд існуючих програмних засобів дозволив вибрати програмний виріб HFSS Ansoft [73-75] – пакет програм для розрахунку параметрів і моделювання електромагнітних полів в складних пристроях надвисоких частот (НВЧ). Програмний виріб містить програму креслення тривимірних об'єктів, розрахункову програму, що реалізує декілька методів вирішення граничних завдань, так званий пост-процесор для обробки і детального аналізу отриманих результатів та ін.

Використовуючи HFSS Ansoft, можна розрахувати:

- електромагнітне поле в ближній і дальній зонах;

- характеристичний імпеданс порту і постійні розповсюдження в регулярних лініях передачі, підключених до портів;

- одномодові та багатомодові матриці розсіювання пристроїв;
- власні хвилі і власні коливання різних хвилеводних і резонансних структур.

Перед розв'язанням будь-якої електродинамічної задачі необхідно намалювати аналізований пристрій, задати матеріали для кожного об'єкту, вказати порти і граничні умови на поверхнях. Результати розрахунків – електромагнітне поле в кожній точці досліджуваної структури, S-параметри та інші характеристики.

Програма Eigenmode, що входить до складу HFSS Ansoft, обчислює резонансні частоти власних коливань і постійні розповсюдження власних хвиль хвилеводних структур і власних коливань НВЧ-резонаторів на підставі їх геометрії, властивостей матеріалів і граничних умов. Рішення можна отримати для фіксованої частоти або для низки частот.

Для наших потреб програмний виріб HFSS Ansoft можна застосувати для моделювання:

- випромінюючої антени диполя, що імітує штатну антену радіостанції Kenwood;
- ДЗЗНЗ на основі спрямованої антени з одного ПАЩ;
- ДЗЗНЗ на основі спрямованої антени з двох або трьох ПАЩ.

Отримані при моделюванні дані будуть вихідними для порівняння з даними, отриманими шляхом аналітичних розрахунків за відомими з теорії антен формулами. При збіжності або незбіжності отриманих даних можна робити висновок про результати моделювання.

2.2 Обґрунтування підходів до вдосконалення імітаційної моделі каналу радіозв'язку UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

На теперішній час відсутня загальноприйнята методика оцінювання рівня інформаційного збитку для вирішальних функцій, відмінних від порогової [34, 35].

Це не дозволяє оцінити інформаційний збиток при зміні відношення сигнал/шум, обумовленого зміною стратегій радіопридушення і завадозахисту протиборчими сторонами. У цьому випадку доцільно застосовувати такий загальноприйнятий показник, як коефіцієнт придушення, що дозволяє для заданого рівня інформаційного збитку оцінити зону радіопридушення, роздільну здатність за просторовими координатами, вплив різного виду завадових дій на ефективність за енергетичним критерієм. Однак цей показник не дає змогу оцінити надійність (ймовірність) радіопридушення КРЗ та її зміну в динаміці конфлікту [28-30]. В умовах зміни середніх значень потужностей сигнальної та завадової складової в динаміці конфлікту при оцінці надійності радіопридушення КРЗ потрібно враховувати не тільки властивості КРЗ і якість (структуру і енергетичні параметри) завади, які визначаються коефіцієнтом придушення, але й особливості поведінки протиборчих сторін з урахуванням апріорної інформації про стан кожної з них [35]. Ці особливості виявляються в обізнаності кожної зі сторін як про динамічні характеристики складових їх технічних систем, а саме умови когерентного та некогерентного прийому сигналу [55], так і про щільність розподілу ймовірностей сигнальної і завадової складових. У загальному випадку останні враховують вплив випадкових чинників, що визначаються умовами розповсюдження радіохвиль, орієнтацією діаграм спрямованості антен, стабільністю робочих частот і т.п. Таким чином, виникає необхідність визначення принципів побудови і застосування імітаційної моделі роботи КРЗ підрозділів НГУ із засобом мобільного захисту, яка дозволить оцінити параметри завадостійкості каналу у конкретній бойовій ситуації.

У виразі (1.6), який описує КРЗ, всі значення є статичними – це табличні значення показників завадозахищеності [66]. Як показує практика, радіоелектронна протидія здійснюється за рахунок зміни характеристик засобів радіозв'язку та відстані між ними, тобто існуючу модель радіоканалу можна описати функцією:

$$K_{\Pi} = F(P_{\text{прдс}}, R_c^2, R_3^2), \quad (2.1)$$

де $P_{\text{прдс}}$ – потужність передавача радіосигналу, яка визначається використовуваним засобом радіозв'язку;

R_c^2 – дальність розповсюдження радіосигналу, що залежить від розташування пунктів управління;

R_3^2 – довжина траси розповсюдження завади, яка залежить від апріорних даних, отриманих на етапі планування операції.

Модель радіоканалу (2.1) використовується для ЗСУ (рисунок 1.3) в умовах, коли відстані між пунктами управління та постановниками завад складають десятки та сотні кілометрів.

При діях підрозділів НГУ у міських умовах, коли відповідні відстані становлять від десятків до декількох тисяч метрів, а розташування мобільних об'єктів по відношенню до пунктів управління та засобів РЕП обмежено будівлями, виникає необхідність в урахуванні факторів, що впливають на стійкість радіозв'язку:

- підсилення антени передавача радіосигналу у напрямку на приймач та приймальної антени у напрямку на радіопередавач за умов залежності характеристик засобів РЕЗ від НЗ та координат розташування мобільних об'єктів на оперативному просторі;

- підсилення/послаблення потужності завад за умов залежності екрануючих властивостей ДЗЗНЗ від координат розташування засобів зв'язку та їхньої орієнтації.

Таким чином, удосконалити модель радіоканалу при дії засобів радіоелектронного впливу можна, якщо враховувати залежність коефіцієнта придушення від характеристик засобів РЕЗ від НЗ із дзеркалом стандартного ПАЩ і взаємного просторового розташування радіозасобів та джерел завад. Такий підхід дає також змогу розробити алгоритм та програму розрахунку коефіцієнту придушення радіоканалу мобільних об'єктів підрозділів НГУ.

Засоби імітаційного моделювання для безпосереднього застосування в НГУ мають бути простими у використанні особовим складом, який не має спеціальної технічної підготовки, і вирішувати завдання у реальному режимі часу. Такі засоби, що спроможні вирішувати завдання моделювання каналу радіозв'язку радіомережі UHF діапазону в умовах радіопридушення, серед ліцензійних програмних виробів відсутні. В такому разі можна скористатися теорією математичного моделювання дискретного управляючого пристрою, застосувавши так званий автомат Мура. Це дозволить визначити основні стани КРЗ в залежності від способів використання засобів радіоелектронного протистояння.

Робота автомата Мура [51, 76, 77] описується такими виразами:

- функція переходів

$$a(t+1) = f(a(t), x(t)); \quad (2.2)$$

- функція виходів

$$y(t) = f(a(t)), \quad (2.3)$$

де $a(t+1)$ – стан автомата у момент часу $t+1$;

$a(t)$ – стан автомата у момент часу t ;

$x(t)$ – вхідна дія (подія) на автомат у момент часу t .

Застосування кінцевих автоматів для створення імітаційних моделей дозволяє детермінувати стани КРЗ та формалізувати процес його роботи в умовах РЕП.

2.3 Обґрунтування підходів щодо удосконалення методу визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

Радіоелектронне придушення системи зв'язку здійснюється з метою зірвати, порушити або ускладнити управління військами і зброєю шляхом

впливу навмисними завадами на радіо, радіорелейні, тропосферні та космічні лінії зв'язку. Такий вплив призводить до зниження стійкості ліній зв'язку, збільшення часу перебування повідомлень у системі зв'язку і погіршення якості управління військами.

Під стійкістю радіомережі мобільних об'єктів будемо розуміти здатність радіомережі здійснювати радіообмін між кореспондентами в різних умовах обстановки.

Кількісними показниками, що характеризують радіомережі мобільних об'єктів, визначимо коефіцієнт придушення радіоканалу K_n і площу S зони надійного прийому, віднесені до окремого напрямку або каналу зв'язку.

За енергетичним критерієм зона досяжності радіоелектронного засобу визначається як простір, в межах якого коефіцієнт придушення за потужністю не перевищує задане порогове значення $K_{пор}$. Отже, на межі цієї зони виконується умова

$$K_n \leq K_{пор}, \quad (2.4)$$

яка є правилом побудови ізолінії поверхні K_n як функції просторових координат.

Для вирішення завдання побудови ізолінії на мапі використаємо той факт, що необхідно знайти тільки одну лінію рівня, а також те, що точка розташування центра зони завжди знаходиться в середині зони досяжності. Вихід з цієї стартової точки на межі зони досяжності можна забезпечити за допомогою хвильового алгоритму [72].

В окремому випадку для одиночного джерела завад без захисту зону придушення радіоелектронних засобів визначають шляхом використання аналітичного підходу [72], суттю якого є розрахунок ізоліній, як кіл визначеного радіусу (пункт 1.3). Недоліком цього підходу є неможливість його застосування за наявності мобільного засобу захисту з обмеженням міськими умовами. У даному випадку форма зони досяжності і, відповідно, зони

придушення перестає бути правильним колом і може бути визначена тільки чисельними методами.

Прийmemo, що на границі зони досяжності виконується умова

$$K_{\text{п}} = K_{\text{пор}}. \quad (2.5)$$

Існуючі методи комп'ютерної візуалізації ліній рівня, що застосовуються у пакетах прикладних програм MatLab, MatCAD, Beta-Soft та ін., не можуть використовуватися безпосередньо, оскільки алгоритми їх реалізації не є доступними, некеровані, а область візуалізації не може бути подана у масштабах, адекватних реальним, тобто у прив'язці до мапи.

Жорсткі обмеження на час виконання програми в інтерактивному режимі роблять для задачі побудови ізолінії процедуру повного перебору вузлів сітки неприйнятною. Тому бажано використовувати метод, який відповідає умовам швидкодії, однозначності та не потребує обчислення значень поля в усіх точках оперативної мапи. За умов необхідності знайти тільки одну лінію рівня, а точка розташування ЦЗ завжди знаходиться в середині зони досяжності серед існуючих методів візуалізації скалярних полів у вигляді ліній рівня, доцільно вибрати хвильовий алгоритм (Додаток Б).

Таким чином, для удосконалення методу визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку UHF діапазону підрозділів НГУ в умовах радіопридушення необхідно:

- враховувати характеристики ДЗЗНЗ;
- використати хвильовий метод визначення зони стійкого радіообміну;
- розробити алгоритм побудови ізолінії та отримати його програмну реалізацію.

2.4 Методика експериментального дослідження характеристик додаткового засобу захисту від навмисних завад

Метою дослідження є порівняння результатів теоретичних оцінок та імітаційного моделювання з результатами експерименту і встановлення можливості використання штатних засобів індивідуального захисту типу захисного металевого щита як рефлектору (відбивача електромагнітних хвиль) для штатних засобів радіозв'язку у діапазоні частот 410-430 МГц та створеного на його базі ДЗЗНЗ, призначеного для забезпечення заданого рівня стійкості радіообміну та візуальної прихованості засобів радіозв'язку підрозділів НГУ.

За середовище експериментування обрано міську територію, максимально наближену до умов, в яких бойові порядки підрозділів НГУ виконують завдання за призначенням, розміром 3600 м² із асфальтним покриттям.

Фізична сутність експерименту полягає у визначенні ДЗЗНЗ та порівнянні її з теоретичною для антенного пристрою з аналогічними характеристиками.

Оцінювання відповідності результатів теоретичних та експериментальних оцінок діаграми спрямованості доцільно виконати за такою методикою [79, 80].

1. Результати оцінювання (вимірювання) ДС необхідно виразити у відносних одиницях рівня передавання потужності напруженості електромагнітного поля в точці. Відносний рівень передавання у точці ρ_{ox} визначається як різниця абсолютних рівнів потужності в точці, що розглядається ρ_x , та на вході каналу ρ_{vx}

$$\rho_{ox} = 10 \lg \left(\frac{P_x}{P_{vx}} \right) = \rho_x - \rho_{vx}, \quad (2.8)$$

де P_x – потужність сигналу в точці, що розглядається;

P_{vx} – потужність сигналу на вході каналу.

Розрахунки виконуються у децибелах. У цьому випадку абсолютний

рівень потужності напруженості поля розраховується за формулами:

$$\rho_x = 101g \left(\frac{P_x}{P_e} \right); \quad (2.9)$$

$$\rho_{\text{вх}} = 101g \left(\frac{P_{\text{вх}}}{P_e} \right), \quad (2.10)$$

де P_e – еталонна потужність, яка зазвичай дорівнює 1 мВт.

2. Теоретичні та експериментально отримані дані нормуються відносно найбільшого значення $\rho_{\text{ох}}$.

3. Для експериментальних досліджень на базі устаткування та приладів Метрологічного центру військових еталонів і лабораторного обладнання кафедри метрології Харківського національного університету радіоелектроніки створена експериментальна установка, склад і принцип дії якої буде розглянуто в розділі 4.

4. Оброблення отриманих даних здійснюють відповідно до ГОСТ 8.207-76, МИ 1552-86, РД 50-555-85, які в законодавчому порядку встановлюють показники точності вимірювання.

У нашому випадку показник точності – інтервал, в якому похибка вимірювання знаходиться із заданою імовірністю; застосовується у випадках, коли результат вимірювання призначений для одноразового використання.

Необхідні припущення:

– результати спостережень (однократних вимірювань) незалежні, тобто похибки окремого спостереження не залежать від похибки інших спостережень, та рівноточні (одержані за допомогою одного засобу вимірювань, в однакових умовах, одним спостерігачем);

– закон розподілу вимірюваної величини невідомий;

– закон розподілу похибки вимірювання невідомий;

– надмірні похибки відсутні.

Нехай проведено n спостережень постійної величини X , істинне

значення якої дорівнює A , і одержані результати спостережень $X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n$, мають випадкові похибки.

Як результат вимірювання приймають середнє арифметичне значення результатів спостережень

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.11)$$

Характеристикою розсіювання середнього арифметичного значення \bar{X} відносно істинного значення величини A є дисперсія або середнє квадратичне відхилення результату вимірювань (СКВРВ), оцінка якого визначається за формулою

$$\tilde{\sigma}_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} = \tilde{\sigma}_X / \sqrt{n}, \quad (2.12)$$

де оцінка середнього квадратичного відхилення результату спостереження

$$\tilde{\sigma}_X = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}. \quad (2.13)$$

Ці оцінки мають позитивне значення, оскільки є числовими параметрами закону розподілу випадкової величини X .

Вирази (2.11)-(2.13) справедливі при $n \geq 2$. При збільшенні кількості спостережень, тобто коли n прямує до нескінченності, оцінка $\tilde{\sigma}_X$ прямує до генерального значення середнього квадратичного відхилення результату спостереження σ_X , а оцінка $\tilde{\sigma}_{\bar{X}}$, згідно з (2.12) – до нуля.

Для виключення зміщення оцінок $\tilde{\sigma}_{\bar{X}}$ і $\tilde{\sigma}_X$ при невідомому законі розподілу в формули (2.12) і (2.13) вводять коригувальний коефіцієнт M_k , який залежить від n (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення коригувального коефіцієнту

| n | M _k | n | M _k | n | M _k |
|---|----------------|----|----------------|----|----------------|
| 1 | 1,253 | 10 | 1,025 | 19 | 1,013 |
| 2 | 1,128 | 11 | 1,023 | 20 | 1,013 |
| 3 | 1,085 | 12 | 1,021 | 25 | 1,010 |
| 4 | 1,064 | 13 | 1,019 | 30 | 1,008 |
| 5 | 1,051 | 14 | 1,018 | 35 | 1,007 |
| 6 | 1,042 | 15 | 1,017 | 40 | 1,006 |
| 7 | 1,036 | 16 | 1,016 | 45 | 1,006 |
| 8 | 1,032 | 17 | 1,015 | 50 | 1,005 |
| 9 | 1,028 | 18 | 1,014 | 60 | 1,004 |

Запис результату вимірювання передбачає визначення довірчих інтервалів, між границями яких з певними ймовірностями знаходяться істинні значення оцінюваних параметрів. Оскільки ця ймовірність, по суті, характеризує надійність результату вимірювання, то звичайно вона задається.

Згідно з ГОСТ 8.207-76 довірчу ймовірність Р для визначення довірчих границь похибки результату технічного вимірювання приймають рівною 0,95. У випадках, коли виконуються високоточні вимірювання або коли вимірювання неможливо повторити, припускається вказувати границі для довірчої ймовірності Р = 0,99.

Довірчі границі інтервалу можуть бути визначені згідно з формулою

$$\tilde{\Delta}_x = t \cdot \tilde{\sigma}_{\bar{x}}. \quad (2.14)$$

Тут t – коефіцієнт Ст'юдента, що визначається з таблиці 2.2 для прийнятої Р і кількості n вимірювань.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів Ст'юдента

| n | P = 0,9 | P = 0,95 | P = 0,98 | P = 0,99 | P = 0,999 |
|-----|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 3 | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 9,92 | 31,60 |
| 4 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 | 12,92 |
| ... | | | | | |
| 10 | 1,833 | 2,26 | 2,82 | 3,25 | 4,78 |

Результат вимірювання записується за зразком:

$$X = \bar{X} \pm \tilde{\Delta}_X, P = 0,95. \quad (2.15)$$

Якщо враховувати систематичну похибку засобу вимірювання, використовують спосіб арифметичного підсумовування похибок (при умові $m(3)$):

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{k=1}^m |\Delta A_k|. \quad (2.16)$$

де m – кількість враховуваних похибок;

ΔA_k – похибка, що додається.

Для двох складових

$$\Delta_{\Sigma} = |\tilde{\Delta}_X| + |\Delta_{зв}|. \quad (2.17)$$

де $\Delta_{зв}$ – похибка засобу вимірювання.

Значення Δ_{Σ} підставляють в (2.14) замість $\tilde{\Delta}_X$.

Значення довірчої ймовірності P показують ступінь довіри до отриманих експериментальних даних.

Отримані при експерименті дані потрібно порівняти з даними, отриманими теоретичним шляхом та при комп'ютерному моделюванні. При збіжності або незбіжності даних можна зробити висновок про можливість використання в якості ДЗЗНЗ індивідуальних засобів захисту особового складу НГУ штатних радіозасобів UHF діапазону.

2.5 Порядок надання практичних рекомендацій використання методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України

Впровадження результатів дисертаційного дослідження у практику службово-бойової діяльності підрозділів НГУ, окрім технічних засобів захисту, передбачає також розроблення практичних рекомендацій щодо організації

захисту та застосування відповідного програмного забезпечення.

Відомо, що успішне виконання завдань щодо забезпечення управління можливе тільки при всебічній підготовці системи та підрозділів зв'язку. Планування, створення і експлуатація системи зв'язку здійснюється відповідно до її призначення, прийнятої структури управління військами, дислокації військ, а також з урахуванням особливостей їх оперативного (бойового) застосування.

Робота начальника зв'язку складається з трьох послідовних та взаємопов'язаних етапів [81]:

- організація планування зв'язку і автоматизованої системи управління (АСУ);
- підготовка пропозицій з організації зв'язку та АСУ;
- розроблення плану зв'язку та АСУ.

На кожному з етапів, відповідно до керівних документів, потрібно враховувати можливість ведення РЕБ порушником та завчасно планувати можливі варіанти захисту від засобів впливу на систему зв'язку. Особливості проведення операції в міських умовах, обмеженість у використанні різних видів радіозасобів та ступінь уразливості радіомережі мобільних об'єктів, існуючі методики створення основних робочих документів зі зв'язку не в повній мірі дозволяють визначити коло завдань інформаційного захисту. Це обумовлює необхідність автоматизації деяких процедур планування за рахунок використання обчислювальних засобів та відповідного програмного забезпечення.

В свою чергу, використання програмного забезпечення будь-якого процесу вимагає детального опису програм та порядку їхнього використання. Зокрема, програмний виріб, призначений для визначення зони надійного прийому мобільних об'єктів підрозділів НГУ в умовах радіопридушення, повинен визначати місце знаходження ДЗЗНЗ. Отже користувач (командир підрозділу або призначена особа) має чітко усвідомлювати всі особливості функціонування програмного виробу.

2.6 Методика оцінки ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України

Для оцінювання ефективності використання методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ скористаємося відповідно до визначеного критерію максимуму площі стійкого прийому виразом (1.2).

Ефективність визначається як результативність системи, що виражається у відношенні корисних кінцевих результатів її функціонування до витрачених ресурсів [82, 83].

Залежно від форми подання результатів і витрат розрізняють такі категорії ефективності використання програмних засобів (ПЗ):

- технічна ефективність – результати й витрати вимірюються в натурально-речовинній формі;

- економічна ефективність – результати й витрати оцінюються у вартісній формі.

Розрізняють декілька головних характеристик технічної ефективності [84-86]:

- функціональність – здатність ПЗ у певних умовах вирішувати завдання, потрібні користувачам:

- 1) функціональна придатність – здатність вирішувати потрібний набір завдань;

- 2) точність – здатність видавати потрібні результати;

- надійність – здатність ПЗ підтримувати визначену працездатність у заданих умовах;

- відновлюваність – здатність ПЗ відновлювати визначений рівень працездатності й цілісність даних після відмови, необхідні для цього час і ресурси;

- зручність використання або практичність – здатність ПЗ бути зручним у навчанні та використанні, а також привабливим для користувачів:

1) зрозумілість – показник, зворотний до зусиль, що витрачаються користувачами на сприйняття основних понять ПЗ та усвідомлення їх застосовуваності для розв’язання своїх задач;

2) зручність навчання – показник, зворотний до зусиль, що витрачаються користувачами на навчання роботі з ПЗ;

3) зручність роботи – показник, зворотний до зусиль, що витрачаються користувачами для вирішення своїх завдань за допомогою ПЗ;

– продуктивність або ефективність – здатність ПЗ при заданих умовах забезпечувати необхідну працездатність стосовно виділюваного для цього ресурсу;

– часова ефективність – здатність ПЗ видавати очікувані результати за відведений час;

– переносимість – здатність ПЗ зберігати працездатність при перенесенні з одного оточення в інше, включаючи організаційні, апаратні й програмні аспекти оточення:

1) адаптованість – здатність ПЗ пристосовуватися до різних оточень без проведення для цього дій, крім заздалегідь передбачених;

2) зручність установки – здатність ПЗ бути встановленим або розгорнутим у визначеному оточенні;

3) здатність до співіснування – здатність ПЗ співіснувати з іншими програмами у загальному оточенні, поділяючи з ними ресурси.

За критерій ефективності методу визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв’язку підрозділів НГУ в міських умовах можна прийняти максимум різниці між площею стійкого обміну із залученням заходів захисту та без таких.

Економічна ефективність в межах дисертаційних досліджень не розглядається.

2.7 Загальна методика дослідження

Метою дисертаційного дослідження є забезпечення стійкого радіообміну шляхом вибору взаємного розташування радіозасобів UHF діапазону НГУ та їх антен відносно постановників завад.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі завдання (рисунок 2.2):

1. Аналіз науково-методичного апарату оцінювання стану системи радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення та визначення напрямку подальших досліджень;

2. Визначення характеристик екранів та спрямованих антен, які складаються із спецзасобів військовослужбовців НГУ та штатних радіозасобів UHF діапазону, для чого:

а) розрахувати геометричні характеристики антенного пристрою (для одного, двох та трьох ПАЩ);

б) визначити діаграму спрямованості (для одного, двох та трьох ПАЩ);

в) провести моделювання антенного пристрою за допомогою програмно-обчислювального комплексу HFSS Ansoft для електродинамічного моделювання НВЧ структур;

3. Розробка імітаційної моделі радіоканалу радіомережі UHF діапазону в умовах радіопридушення, для чого:

а) вдосконалити математичну модель каналу радіозв'язку НГУ:

1) визначити залежність коефіцієнту придушення від характеристик запропонованого ДЗЗНЗ;

2) урахувати при розрахунку коефіцієнта придушення просторове взаємне розташування радіозасобів та джерел завад;

3) розробити алгоритм розрахунку коефіцієнту придушення та отримати його програмну реалізацію;

4. Проведення експериментальних досліджень характеристик екранів та спрямованих антен радіоканалу UHF діапазону, отримання експериментальних оцінок стану КРЗ від їх просторового розташування, для чого:

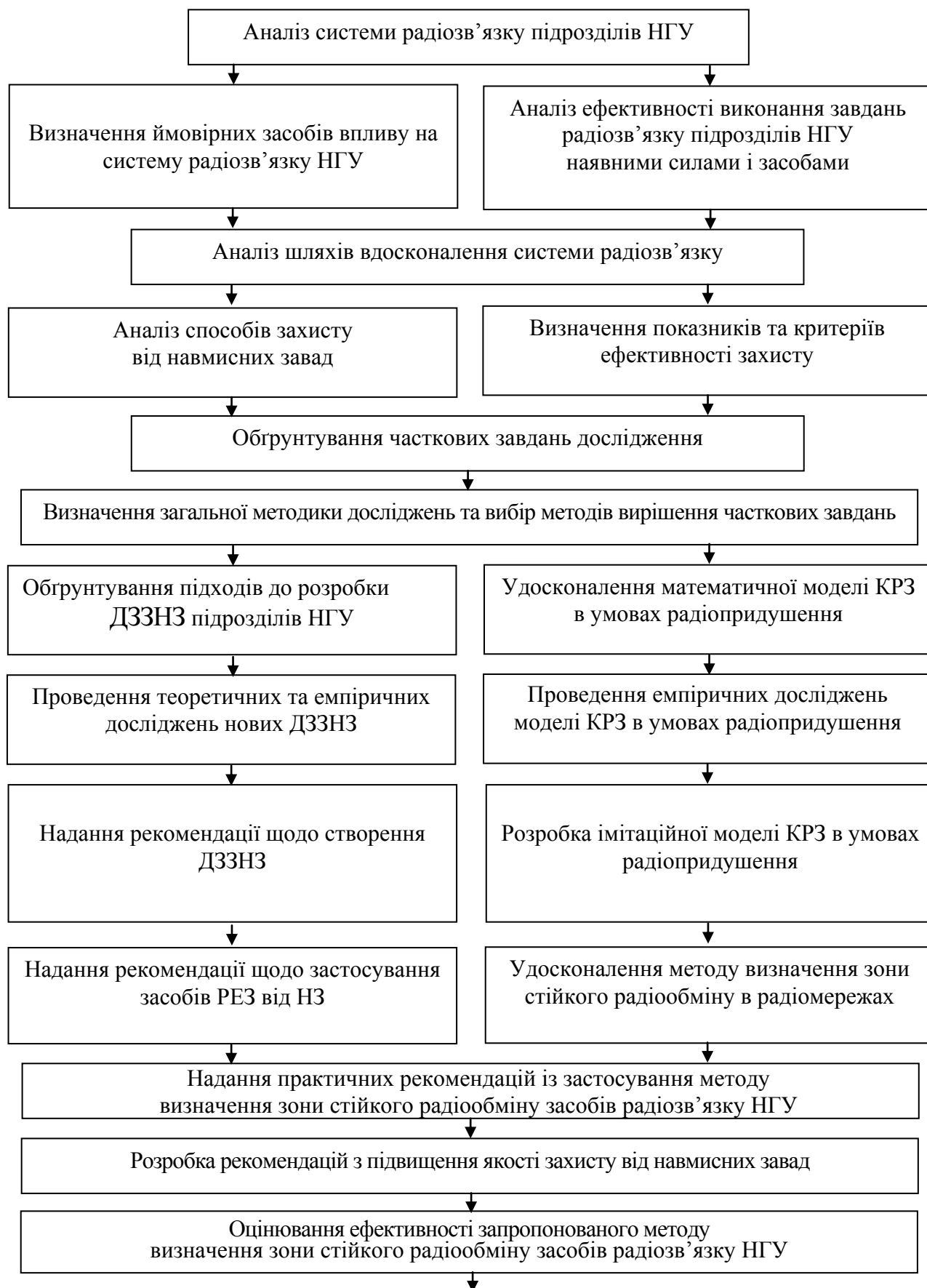


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема дисертаційного дослідження

а) провести експериментальні дослідження характеристик засобів захисту системи радіозв'язку НГУ та стану КРЗ в залежності від їх просторового розташування;

б) удосконалити імітаційну модель каналу радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення:

1) вибрати чисельні методи визначення ізоляції;

2) поєднати імітаційну модель радіоканалу та чисельний метод визначення ізоляції;

5. Удосконалення методу визначення зони стійкого радіообміну засобами радіозв'язку UHF діапазону НГУ в умовах радіопридушення, для чого:

а) додатково врахувати характеристики ДЗЗНЗ при визначенні зони надійного прийому в радіомережах підрозділів НГУ;

б) визначити зони надійного прийому за допомогою чисельного методу;

в) розробити алгоритм побудови ізоляції та програму його реалізації;

6. Оцінка ефективності та надання практичних рекомендацій щодо застосування методу визначення зони стійкого радіообміну засобами радіозв'язку UHF діапазону НГУ, для чого:

а) оцінити ефективність використання методу визначення зони стійкого радіообміну радіомереж НГУ в умовах радіопридушення з використанням запропонованого ДЗЗНЗ;

б) проаналізувати порядок роботи командира щодо організації зв'язку та визначити шляхи використання отриманого програмного виробу;

в) надати рекомендації щодо застосування методу визначення зони стійкого радіообміну в радіомережах НГУ в умовах радіопридушення.

Для розв'язання завдань дослідження передбачається використання методів:

– аналізу і синтезу, сценаріїв, аналогій для розробки ДЗЗНЗ;

– теорії ймовірностей, аналітичних та емпіричних методів вирішення завдань моделювання каналу радіозв'язку НГУ;

– аналітичних та чисельних методів вирішення завдань визначення зони надійного прийому в радіомережах НГУ в умовах радіопридушення;

– планування експерименту та статистичної обробки даних для проведення експериментальних досліджень.

Висновки по 2 розділу

В розділі обґрунтовані та проаналізовані завдання дисертаційного дослідження, існуючі методи вирішення подібних завдань, визначено методичний апарат для вдосконалення методу визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення. Для цього потрібно:

- визначити характеристики ДЗЗНЗ в каналах радіозв'язку UHF діапазону НГУ на основі циліндричної параболічної спрямованої антени з дзеркалом ПАЩ з урахуванням специфіки її використання;
- удосконалити математичну модель радіоканалу UHF діапазону в умовах радіопридушення;
- удосконалити імітаційну модель радіоканалу UHF діапазону НГУ в умовах радіопридушення;
- удосконалити метод визначання зон стійкого радіообміну засобами радіозв'язку UHF діапазону НГУ в умовах радіопридушення;
- провести експериментальне дослідження розроблених засобів захисту і моделей;
- провести апробацію програмних засобів реалізації розробленого методу;
- надати практичні рекомендації щодо застосування методу визначення стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ та оцінити його ефективність.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН СТІЙКОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ РАДІОПРИДУШЕННЯ

3.1 Визначення характеристик додаткових засобів захисту від навмисних завад при умові використання протиударного алюмінієвого щита та антен стандартних засобів зв'язку Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260 та визначення її діаграми спрямування

3.1.1 Розрахунок характеристик спрямованої дзеркальної антени з дзеркалом типу параболічний циліндр за розміром протиударного алюмінієвого щита

Виходячи з вимог прихованості, простоти конструкції, легкої установки, мобільності, цілісності поверхні в якості імпровізованого рефлектора розглянемо ПАЩ [62, 64, 65] – вирізку з циліндра радіусом $a = 520$ мм, висотою $H = 1000$ мм і шириною $h = 615$ мм (Додаток Г, рисунки Г.1-Г.3). В його центрі розміщено утримувач з симетричним вертикальним вібратором.

Визначимо, при якому значенні фокусу f параболи буде максимально близьке наближення параболічної поверхні до заданої циліндричної поверхні [87, 88], тобто визначимо відстані між характерними точками (рисунок 3.1).

$$OB = OA = a = 520 \text{ мм} .$$

$$BC = h/2 = 615/2 = 307,5 \text{ мм}$$

$$OC = \sqrt{OB^2 - BC^2} = \sqrt{520^2 - 307,5^2} = 419,3 \text{ мм}$$

$$AC = AO - OC = 520 - 419,3 \approx 100 \text{ мм (глибина захисного щита).}$$

$$\text{Координати точок } A = [0;0], B = [100;307,5].$$

Рівняння параболи $y^2 = 4fx$. Застосуємо його до точки В і розрахуємо відстань до фокуса параболи:

$$f = y^2 / 4x = BC^2 / 4AC = 94556,25 / 400 \approx 236,4 \text{ мм}$$

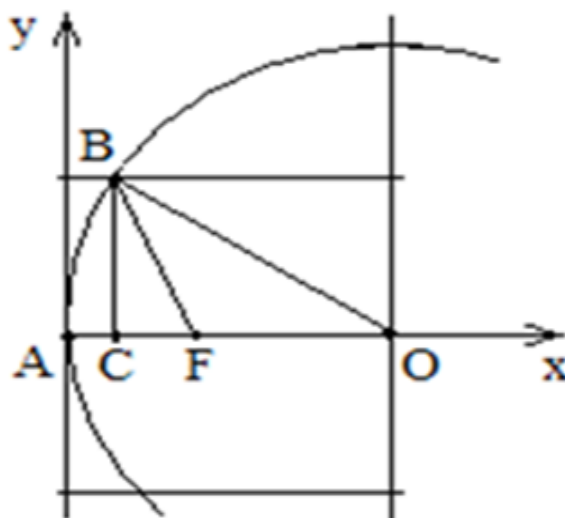


Рисунок 3.1 – Вибір апроксимації профілю поверхні захисного щита

Фокус f відносно точки O (центру кола) знаходиться на відстані $AO - f = 520 - 236,4 = 283,6 \text{ мм}$.

Відстані до характерних точок досліджуваної системи:

– глибина відбивного дзеркала, циліндричного або параболічного $AC = 100 \text{ мм}$;

– місце установки випромінювача для параболи $Af = 236,4 \text{ мм}$;

– місце установки випромінювача для циліндра $AO = 520 \text{ мм}$.

Розрахуємо абсолютну різницю апроксимації $|x_{\text{п}} - x_{\text{к}}|$, де $x_{\text{п}} = y^2 / 4f = y^2 / 4 \cdot 236,4$ – абсциса параболи;

$x_{\text{к}} = OA - \sqrt{OB^2 - y^2} = 520 - \sqrt{520^2 - y^2}$ – абсциса кола.

Результати розрахунків приведені в таблиці 3.1, аналіз яких дозволяє зробити такі висновки:

1. Абсциси кола і параболи максимально відрізняються одна від одної в діапазоні значень 180-230 мм. Різниця $\Delta = 2,2 \text{ мм}$ відносно середньої довжини хвилі UHF частотних діапазонів мізерно мала. Як наслідок, форма циліндричної поверхні реального щита практично не відрізняється від параболічної поверхні

при рівних розмірах апертури. Така близькість поверхонь зумовлює практичну ідентичність спрямованих властивостей випромінювача з відбивачем у вигляді циліндричної та параболічної поверхнями при рівних апертурах та інших ідентичних умовах.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків характеристик циліндричної відбивної поверхні

| | | | | | | | | | | |
|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| у, мм | 0 | 100 | 150 | 180 | 200 | 220 | 225 | 250 | 300 | 307,5 |
| x_k | 0 | 9,7 | 22,1 | 32,1 | 40,0 | 48,8 | 51,2 | 64,0 | 95,3 | 100,0 |
| x_n | 0 | 10,6 | 23,8 | 34,3 | 42,3 | 51,2 | 53,5 | 66,1 | 95,2 | 100,0 |
| Δ , мм | 0 | 0,9 | 1,7 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 0,1 | 0 |

2. Принциповим є зменшення відстані від дзеркала до фокуса f параболі в порівнянні з відстанню від щита до точки O центру кола.

З урахуванням отриманого оцінимо характеристики системи з симетричним одноелементним випромінювачем, який імітує штиркову антену, і циліндричною відбивною поверхнею для UHF діапазону ($f_{\text{сер}} = 435$ МГц). Результати отримані за наступними показниками (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 – 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° | 76° |
| $\Theta_{0,1}(E)$ – ширина ДС у вертикальній площині | 84° | 79° |
| $K_{\text{сер}}$ – коефіцієнт стоячої хвилі | 1,8 | 2,11 |

На рисунках 3.2 та 3.3 наведені результати оцінювання ДС решітки із одного ПАЩ і трьох ПАЩ з випромінювачами.

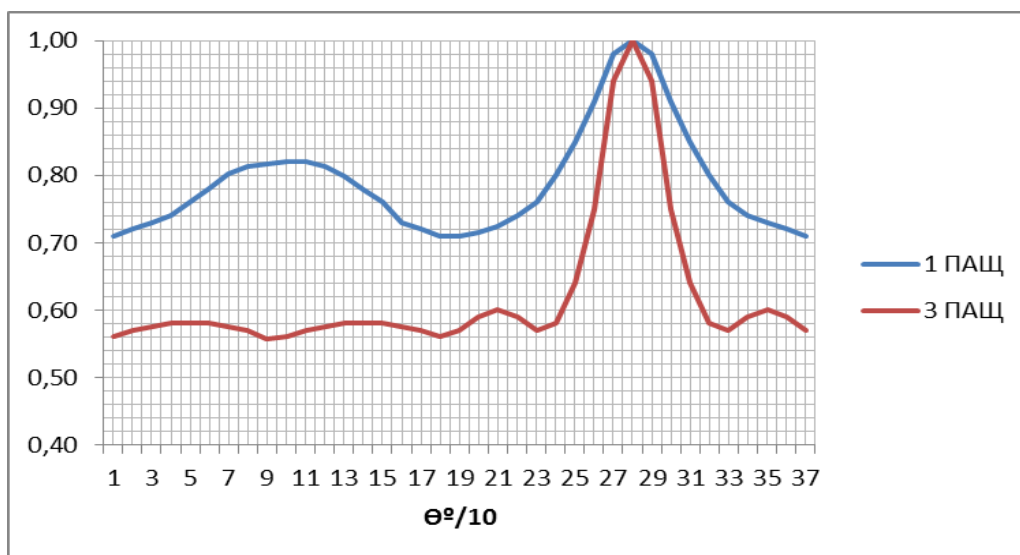


Рисунок 3.2 – Нормована ДС одно- і трьохелементної антени

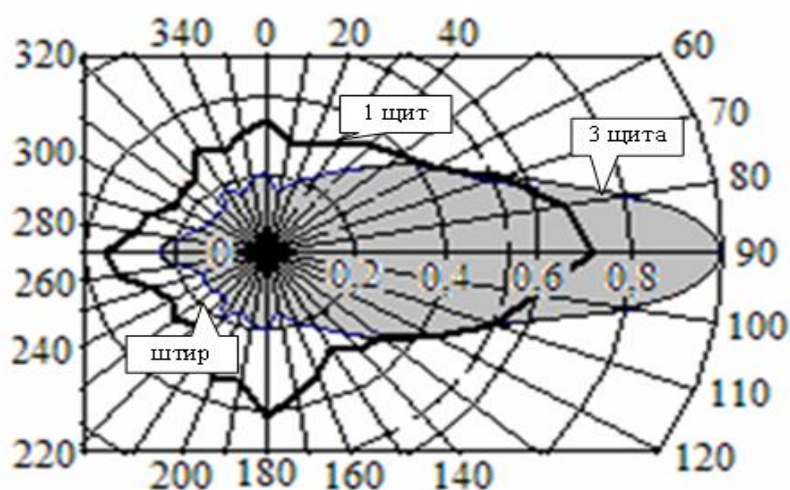


Рисунок 3.3 – ДС в полярних координатах одно- і трьохелементної антени

Таким чином, висунуто наступну гіпотезу [29, 30]:

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

Для підтвердження запропонованої гіпотези проведемо комп'ютерне моделювання з використанням спеціального програмного забезпечення.

3.1.2 Комп'ютерне моделювання дзеркальних спрямованих антен на основі одного та трьох протиударних алюмінієвих щитів

Використовуючи можливості вибраної програми HFSS Ansoft для електродинамічного моделювання НВЧ структур [89, 90], проведемо моделювання ДЗЗНЗ у такому порядку:

1. Випромінювач з штирьової антени від Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260;
2. ДЗЗНЗ з одного ПАЩ;
3. ДЗЗНЗ з трьох ПАЩ.

Моделювання випромінювача з штирьової антени від Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260.

За своїми характеристиками диполь розміром $\lambda_{\text{сер}}/4$ відповідає характеристикам антени радіостанції Kenwood. Тому для зручності моделювання використаємо його за випромінювач. Зовнішній вигляд моделі антени, поміщеної у бокс, наведений на рисунку 3.4.

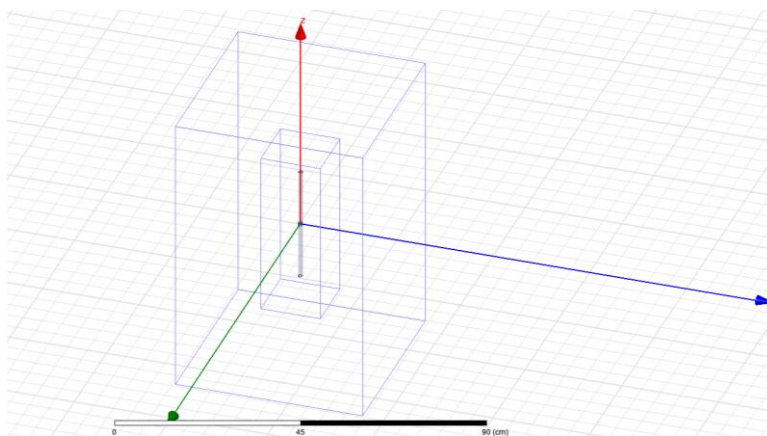


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд моделі антени, поміщеної в бокс

У результаті моделювання отримаємо 3D-графік напруженості поля у відносних одиницях (рисунки 3.5).

Результати аналізу отриманих в процесі моделювання даних показують, що найбільше значення напруженості електромагнітного поля для диполя

приблизно дорівнює 1,7 дБ при $\lambda_{\text{сеп}} = 721 \text{ мм}$.

В полярній системі координат для кутів θ по горизонталі і φ по вертикалі ДС має вигляд, наведений на рисунку 3.6. Таким чином, маємо класичну діаграму спрямування для штирьової антени.

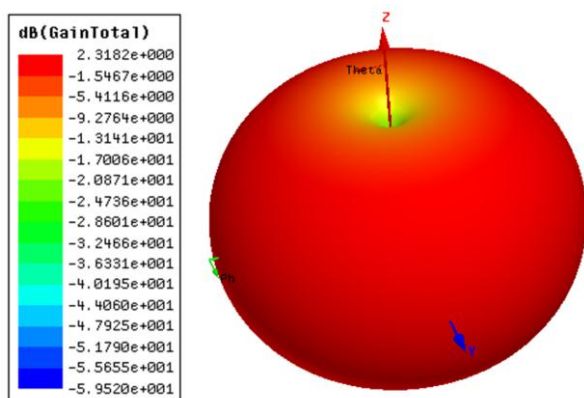


Рисунок 3.5 – 3D напруженість поля у відносних одиницях

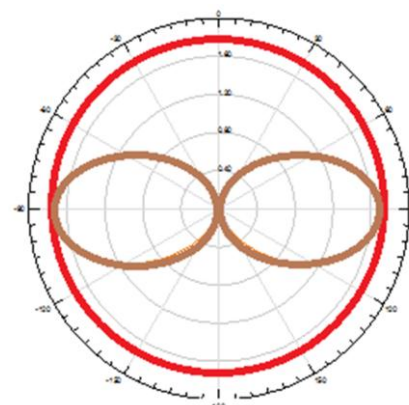


Рисунок 3.6 – ДС в полярній системі координат для кутів θ і φ

ДС в декартовій системі щодо кута θ та кута φ також має звичайний вигляд. Вхідний опір у межах норми. Активний та реактивний опір наведено на рисунку 3.7, де нижня крива – уявна частина, а верхня – активний опір. На графіку по горизонтальній вісі відкладена частота, по вертикальній – опір.

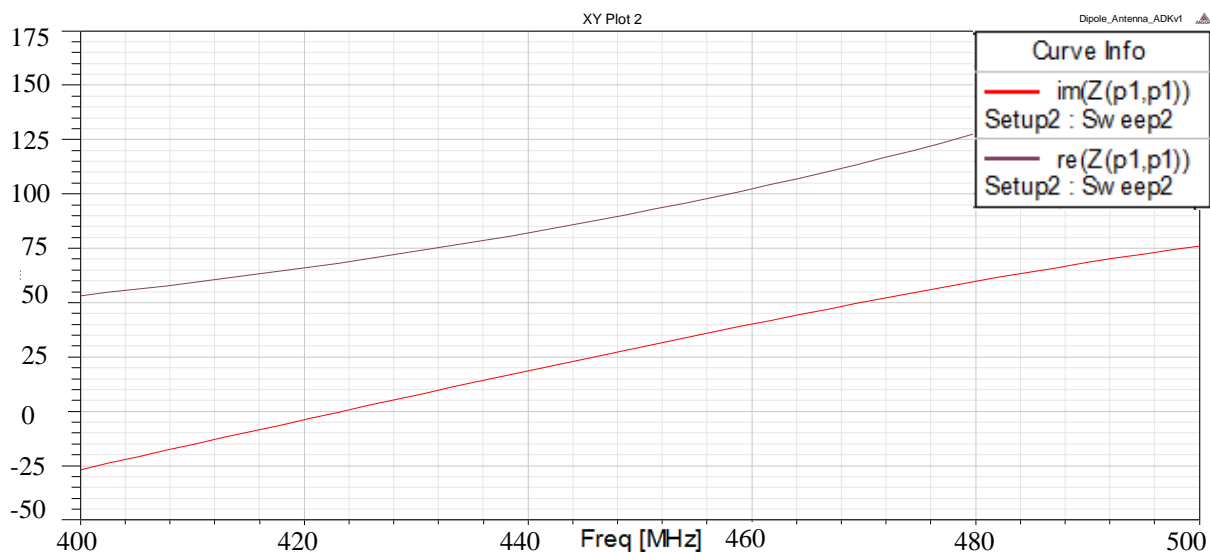


Рисунок 3.7 – Активний та реактивний опір штирьової антени

Аналіз графіків залежності активного та реактивного опору від частоти показав, що в діапазоні 410-470 МГц можлива нормальна робота пристрою. Це дає можливість стверджувати подібність диполя та штирьової антени в даному діапазоні частот.

Результати аналізу графіку залежності коефіцієнту стоячої хвилі (КСХ) від частоти показав (рисунок 3.8), що в діапазоні 410-470 МГц значення КСХ входять до проміжку $[1,33; 6,64]$, що задовольняє вимогам. Це дозволяє стверджувати подібність диполя та штирьової антени в даному діапазоні частот.

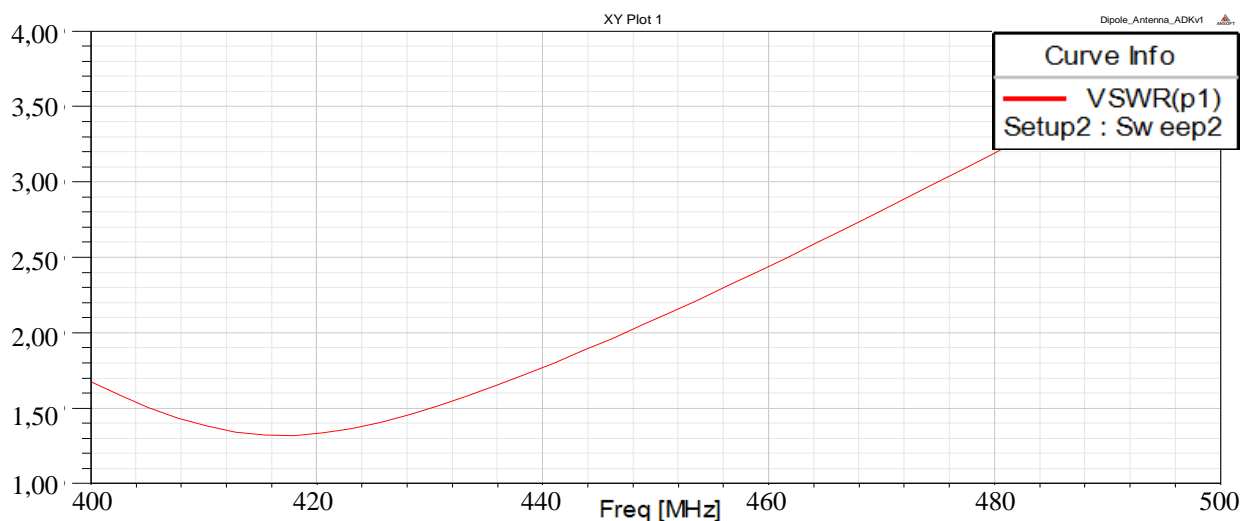


Рисунок 3.8 – Залежність КСХ від частоти для штирьової антени

Це остаточно говорить про можливість використання диполя та штирьової антени від Kenwood за випромінювач у даному діапазоні частот.

Моделювання ДЗЗНЗ з одного ПАЩ.

Розрахунки, проведені у підрозділі 3.1, свідчать, що за своїми характеристиками захисний металевий щит відповідає параболоїду обертаня та за габаритами (Додаток Г) підходить для використання в якості відбивача у зазначеному вище діапазоні роботи переносних радіостанцій підрозділів НГУ. Тому для зручності моделювання розглянемо його як дзеркало з випромінювачем модельованого раніше диполя. Зовнішній вигляд отриманої моделі спрямованої антени, поміщеної у бокс, наведений на рисунку 3.9.

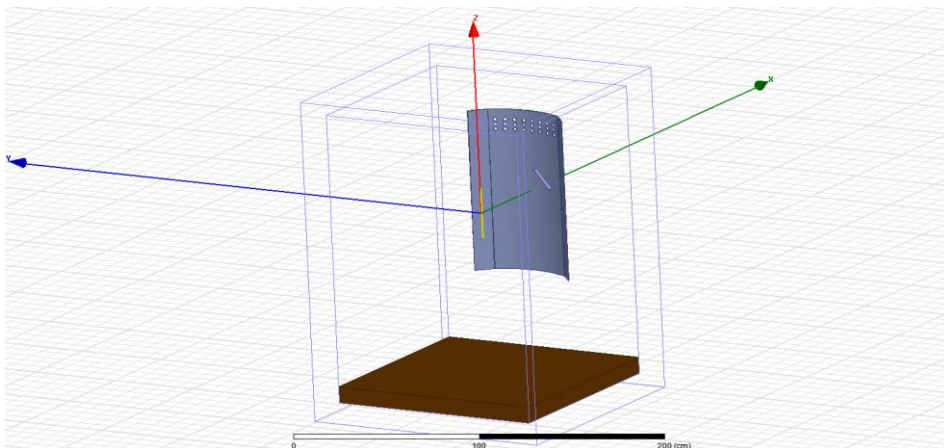


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд моделі спрямованої антени, поміщеної в бокс

У результаті моделювання отримуємо 3D-графік напруженості поля у відносних одиницях (рисунок 3.10).

Результати аналізу отриманих в процесі моделювання даних показують, що найбільше значення напруженості електромагнітного поля для диполя приблизно дорівнює 7,31 дБ, а найменше – 0,0025 дБ при $\lambda_{\text{сер}} = 721 \text{ мм}$.

В полярній системі координат для кутів відповідно θ по горизонталі, ДС має наступний вигляд (рисунок 3.11). Таким чином, маємо класичну ДС для антени.

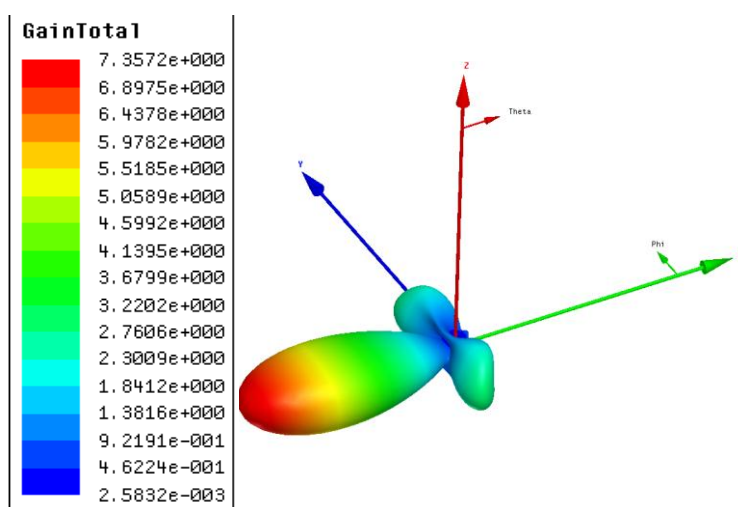


Рисунок 3.10 – 3D напруженість поля у відносних одиницях

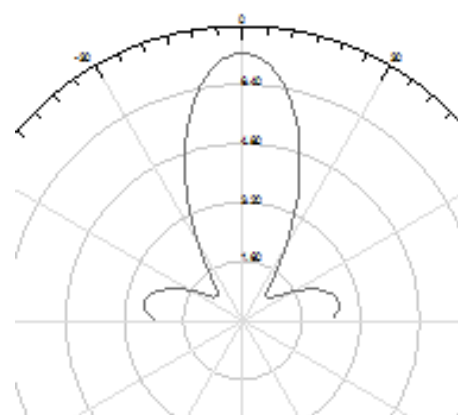


Рисунок 3.11 – ДС в полярній системі координат для кутів θ

ДС в декартовій системі щодо кута θ та кута φ також представлені на рисунках 3.12 і 3.13 (по горизонтальній вісі відкладені градуси, по вертикальній – напруженість поля). Результати аналізу даних моделювання підтверджують гіпотезу про можливість використання ПАЩ в якості дзеркала для ДЗЗНЗ.

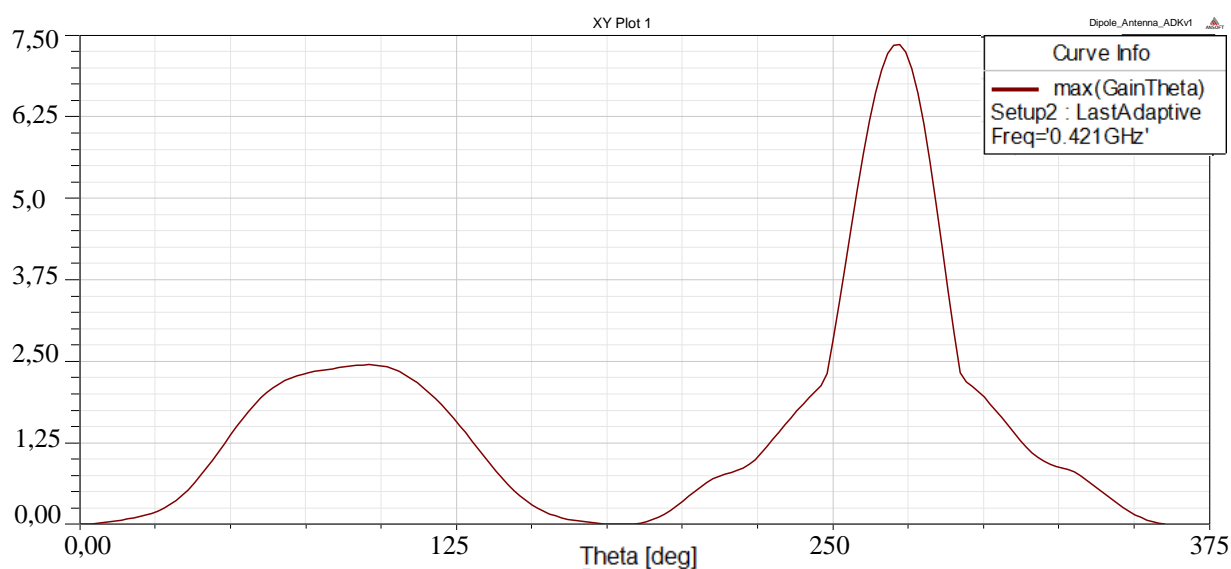


Рисунок 3.12 – ДС в декартовій системі щодо кута θ

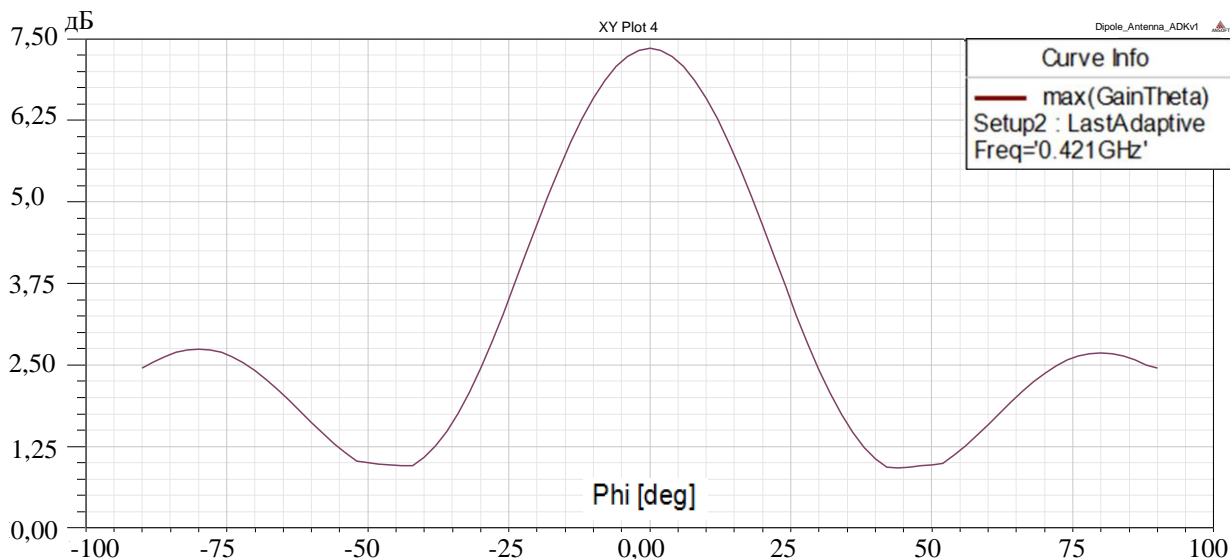


Рисунок 3.13 – ДС в декартовій системі щодо кута φ

Вхідний опір у межах норми. Активний та реактивний опір наведено на рисунку 3.14, де нижня крива – уявна частина, верхня – активний опір. На графіку по горизонтальній осі відкладена частота, по вертикальній – опір.

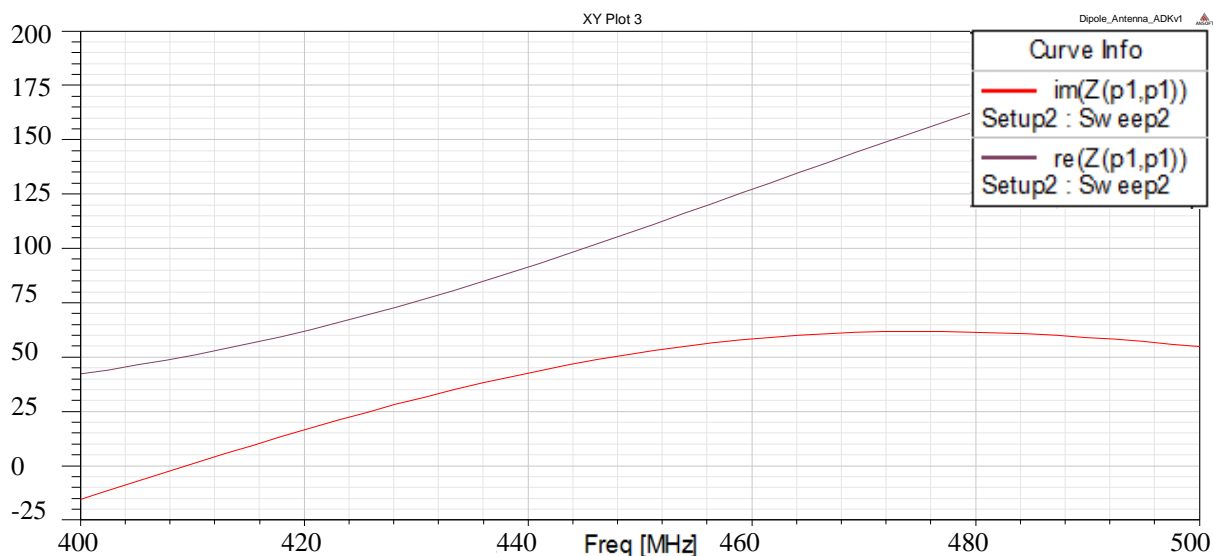


Рисунок 3.14 – Активний та реактивний опір ДЗЗНЗ з одного ПАЩ

Аналіз графіків залежності активного та реактивного опору від частоти показав, що в діапазоні 410-470 МГц можлива нормальна робота пристрою. Це дає можливість стверджувати, що наявність дзеркала не впливає на роботу диполя та штирвової антени в даному діапазоні частот.

Залежність КСХ від частоти показана на рисунку 3.15. Результати аналізу графіку показали, що в діапазоні 410-470 МГц значення КСХ входять до проміжку [1,03; 3,6], що задовольняє вимогам та доводить подібність диполя та штирвової антени.

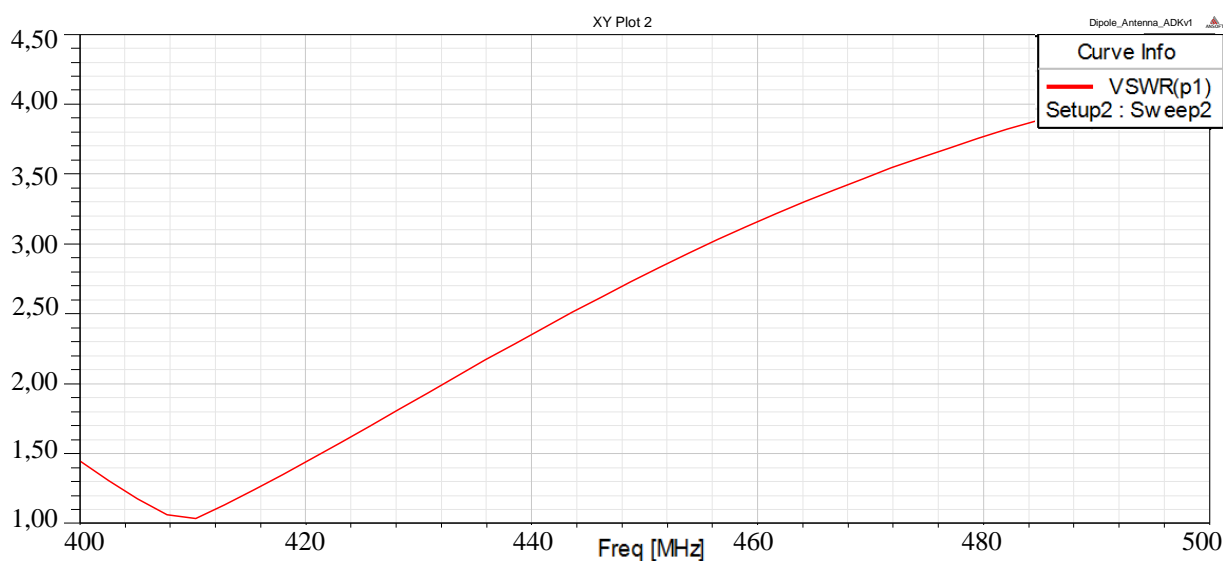


Рисунок 3.15 – Залежність КСХ від частоти ДЗЗНЗ з одного ПАЩ

Результати моделювання підтверджують можливість використання ПАЩ в якості спрямованої антени з властивостями екранування та антени від Kenwood як випромінювач у даному діапазоні частот.

Моделювання ДЗЗНЗ з трьома ПАЩ.

Розрахунки, проведені у п.3.1 свідчать, що за своїми характеристиками три ПАЩ, розташованих під кутом в 39 градусів, відповідають параболоїду обертання та за габаритами (додаток Г) підходять для використання в зазначеному вище діапазоні роботи переносних радіостанцій НГУ. Тому для зручності моделювання використаємо його як дзеркало з випромінювачем модельованого раніше диполя. Зовнішній вигляд отриманої моделі спрямованої антени, поміщеної в бокс, наведений на рисунку 3.16.

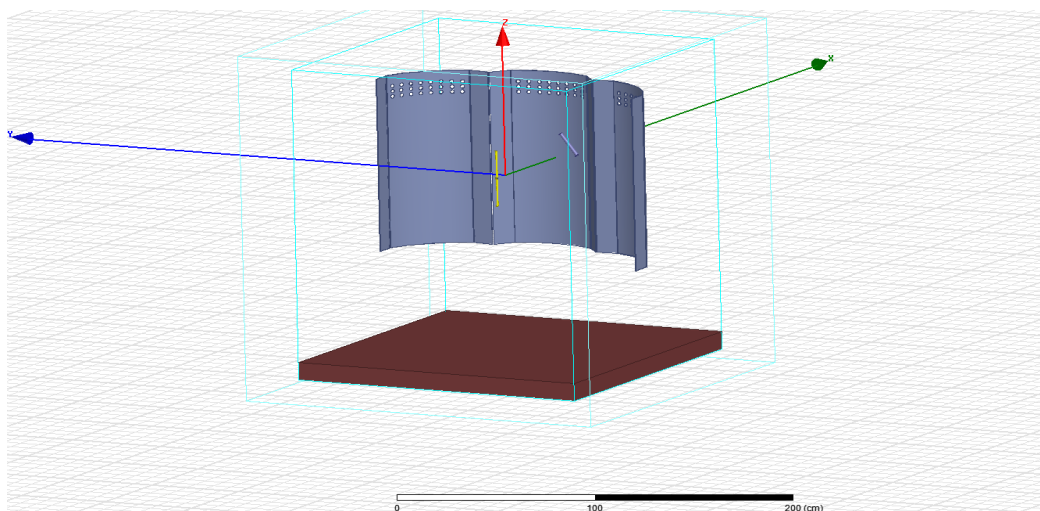


Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд моделі спрямованої антени, поміщеної в бокс

В результаті моделювання отримаємо 3D-графік напруженості поля у відносних одиницях, наведений на рисунку 3.17.

Результати аналізу отриманих в процесі моделювання даних показують, що найбільше значення напруженості електромагнітного поля для диполя приблизно дорівнює 14,98 дБ, а найменше – 0,0007 дБ при $\lambda_{\text{ср}} = 721\text{мм}$.

В полярній системі координат для кутів відповідно θ по горизонталі, ДС має наступний вигляд, наведений на рисунку 3.18. Таким чином, маємо класичну ДС для антени.

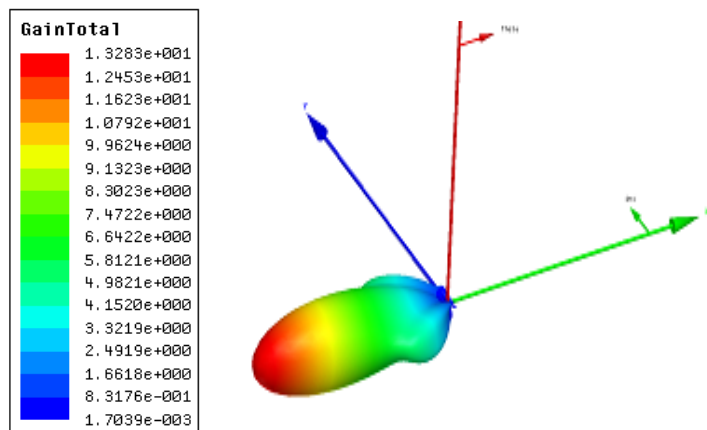


Рисунок 3.17 – 3D напруженість поля у відносних одиницях

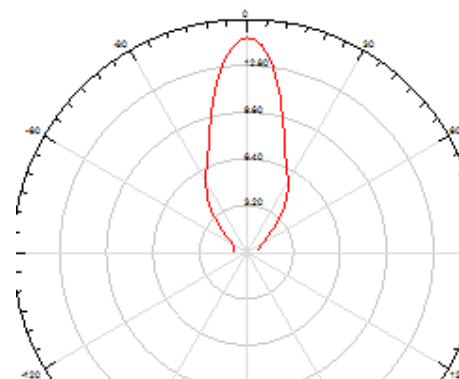


Рисунок 3.18 – ДС в полярній системі координат для кутів θ

ДС в декартовій системі для кутів θ та ϕ наведені відповідно на графіках рисунків 3.19 та 3.20 (по горизонтальній осі відкладені градуси, по вертикальній – напруженість поля).

Результати аналізу даних моделювання підтверджують гіпотезу про можливість використання захисного металевого щита як дзеркало для ДЗЗНЗ.

Залежність активного та реактивного опору наведено на рисунку 3.21. По горизонтальній осі відкладена частота, по вертикальній – опір.

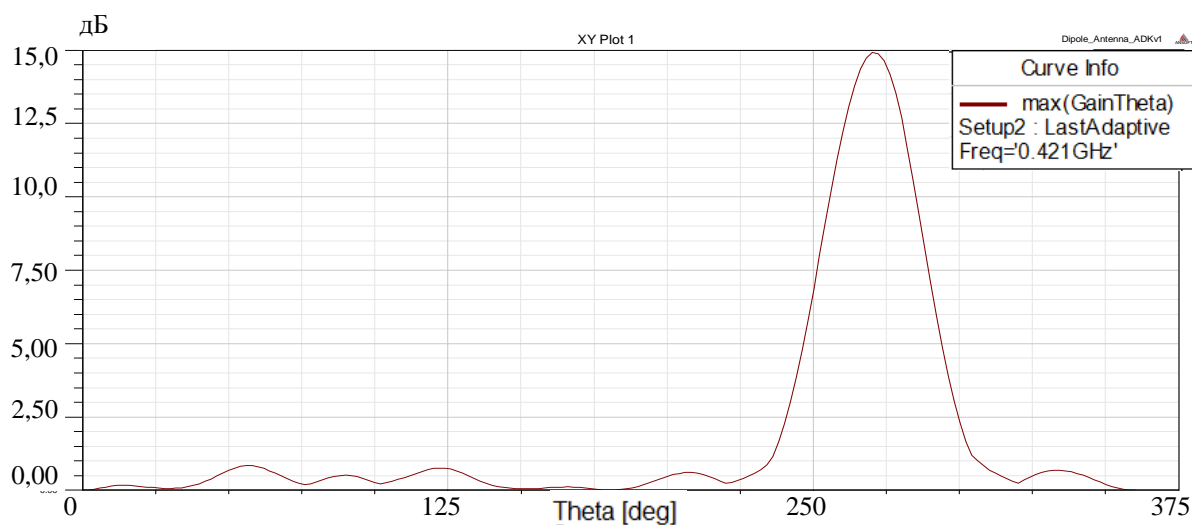


Рисунок 3.19 – ДС в декартовій системі щодо кута θ

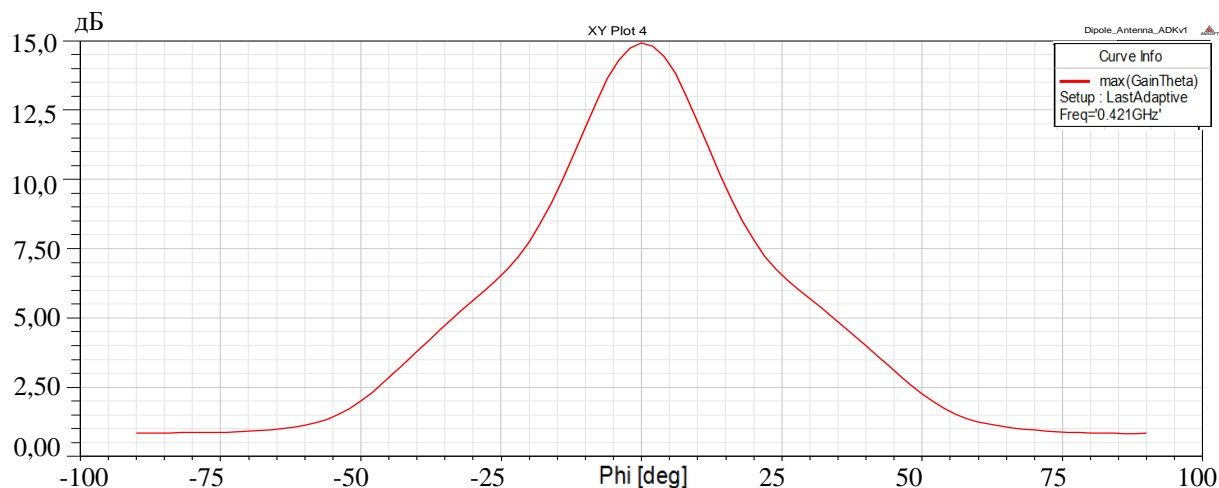


Рисунок 3.20 – ДС в декартовій системі щодо кута ϕ на центральній частоті

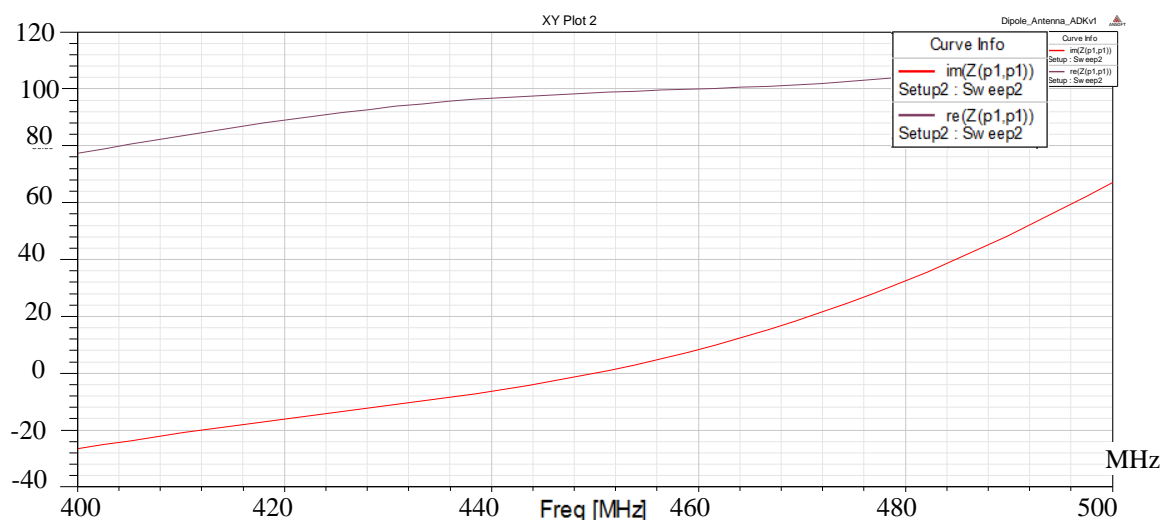


Рисунок 3.21 – Активний та реактивний опір ДЗЗНЗ з трьома ПАЩ

Вхідний опір у межах норми. Аналіз графіків залежності активного та реактивного опору від частоти показав, що в діапазоні 410-470 МГц можлива нормальна робота пристрою. Це дозволяє стверджувати, що наявність дзеркала не впливає на роботу диполя та штирової антени в даному діапазоні частот.

Графік залежності КСХ від частоти показаний на рисунку 3.22.

Результати аналізу показали, що в діапазоні 410-470 МГц значення КСХ входять до проміжку $[1,83; 2,11]$, що в цілому добре. Це дає нам можливість стверджувати подібність диполя та штирової антени в даному діапазоні частот.

Аналіз результатів процесу моделювання довів можливість використання трьох ПАЩ в якості спрямованої антени з властивостями екранування та

антени від Kenwood як випромінювач у даному діапазоні частот.

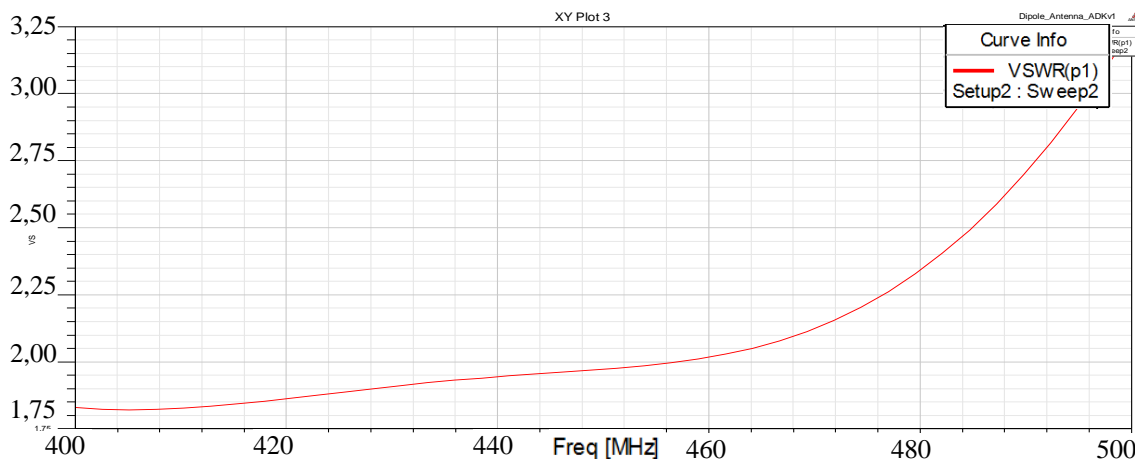


Рисунок 3.22 – Залежність КСХ від частоти для ДЗЗНЗ з трьома ПАЩ

Порівняльний аналіз результатів моделювання для одного, двох та трьох щитів довів, що при моделюванні ДЗЗНЗ мають характеристики напруженості електромагнітного поля, близькі до теоретично розрахованих стандартних дзеркальних спрямованих антен з дзеркалом типу параболічний циліндр відповідного розміру.

Наочне порівняння енергетичних характеристик антен наведено на рисунку 3.23.

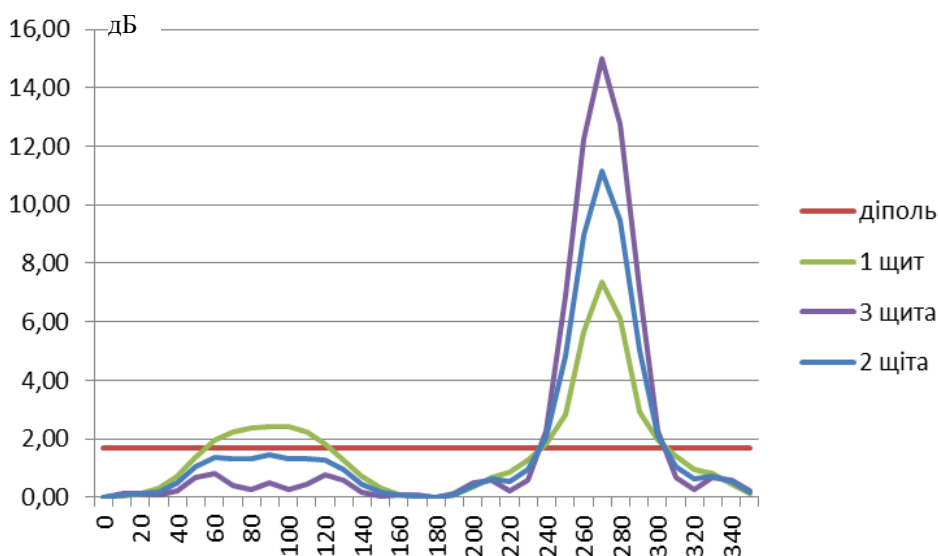


Рисунок 3.23 – Напруженість поля в дБ для різних типів антен

Таким чином, результати моделювання дозволили підтвердити гіпотезу про можливість створення ДЗЗНЗ на основі ПАЩ, які входять до спеціального спорядження підрозділів НГУ та штатних радіозасобів.

Порівняємо отримані теоретичні ДС спрямованої дзеркальної антени з ДС дзеркала типу параболічний циліндр, отриманого в результаті моделювання програмою HFSS Ansoft для одного ПАЩ (рисунок 3.24, а) та трьох ПАЩ (рисунок 3.24, б).

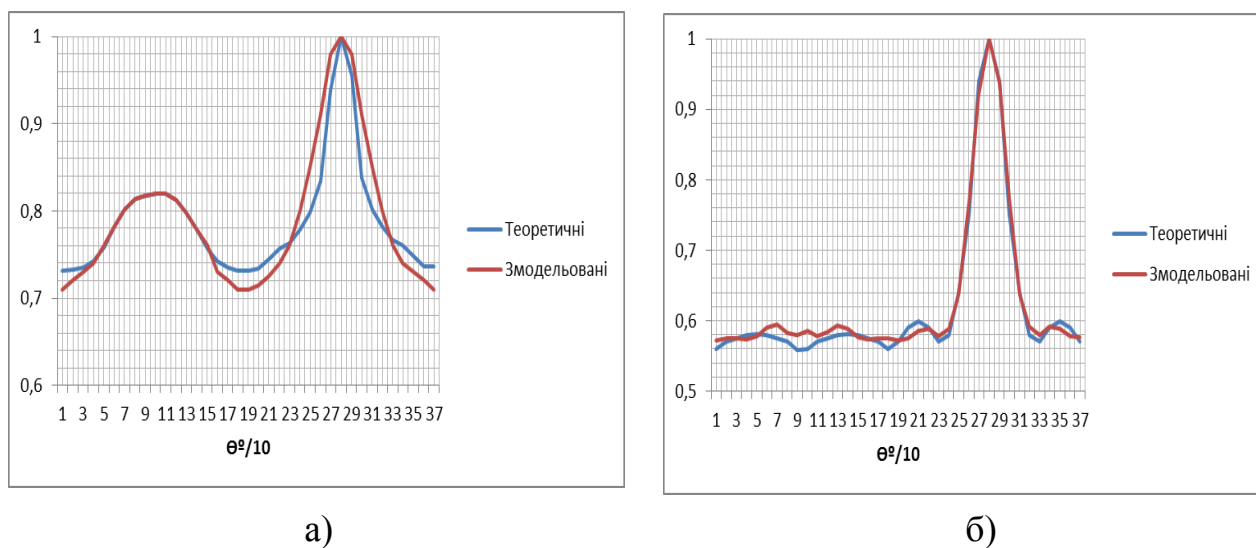


Рисунок 3.24 – Порівняння ДС, отриманих теоретично та моделюванням

Результати порівняльного аналізу говорять, що дані, отримані в результаті моделювання, незначно відрізняються від теоретичних.

Відмінність у отриманих даних говорить про те, що форма ПАЩ відрізняється від параболічного циліндру. Наявність ручок для тримання, неточна форма параболоїду та використання при теоретичних розрахунках симетричного диполя дещо впливає на характеристики антени. Тому при проведенні подальших досліджень роботи каналів радіозв'язку при використанні запропонованих ДЗЗНЗ на основі ПАЩ НГУ краще використовувати дані, отримані в результаті моделювання.

3.2 Удосконалення імітаційної моделі радіоканалу підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

3.2.1 Удосконалення математичної моделі радіоканалу з використанням додаткових засобів захисту від навмисних завад при дії засобів радіоелектронного впливу

Удосконалимо математичний вираз (1.6) для визначення коефіцієнту придушення засобів радіозв'язку навмисними завадами, врахувавши можливість використання ДЗЗНЗ.

Для цього покладемо $\eta_z = 1$, $G_{\text{прдз}} = G_{\text{прдс}} = 1$, $G_{\text{прмз}} = G_{\text{прмс}} = G(\theta)$, де $G(\theta)$ – нормована ДС запропонованого ДЗЗНЗ, θ – 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 θ_0 (рисунок 3.25, а).

Маючи дані про азимут на джерело завад θ та азимут на центр зв'язку θ_c для одиночного джерела завад (рисунок 3.25, б) одержимо вираз для коефіцієнту придушення у вигляді [51]:

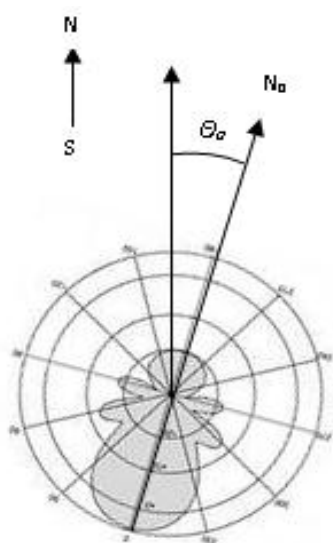
$$K_n(\theta_0) = \frac{P_{\text{прдз}} G(\theta_z - \theta_0) R_c^2}{P_{\text{прдс}} G(\theta_c - \theta_0) R_z^2} \quad (3.1)$$

Для комплексу радіоелектронного придушення, який складається з N джерел завад, за принципом суперпозиції маємо:

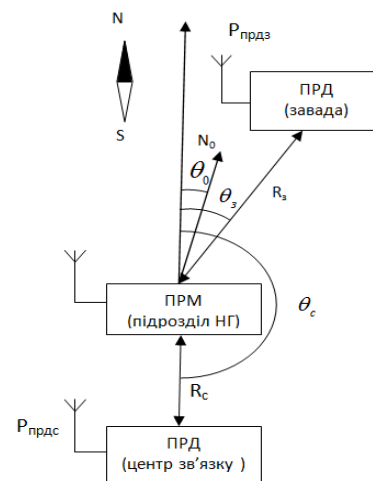
$$K_n(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{\text{прдс}} G(\theta_c - \theta_0)} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{прдз}} G(\theta_{z_i} - \theta_0)}{R_{z_i}^2}. \quad (3.2)$$

З одержаної формули витікає, що для розв'язання задачі (1.4), яка потребує збільшення площі стійкого обміну с захистом S_z , з метою зменшення коефіцієнту придушення можна маніпулювати наступними параметрами:

- $P_{\text{прдс}}$ – потужність передавача корисного радіосигналу ЦЗ;
- $P_{\text{прдз}}$ – потужність передавача i -ї завади ($i = 1..N$);
- R_c – відстань між передавачем ЦЗ та радіоприймачем підрозділу НГУ;
- R_{z_i} – відстань між радіоприймачем підрозділу НГУ та передавачем i -ї завади ($i = 1..N$);
- θ_c – кут напрямку мобільного ДЗЗНЗ на передавач ЦЗ;
- θ_{z_i} – кут напрямку ДЗЗНЗ на передавач i -ї завади.



а)



б)

Рисунок 3.25 – Схема захисту мобільних об'єктів підрозділів НГУ

Отже вектор параметрів, що оптимізуються, має вигляд:

$$\mathbf{X} = (P_{\text{прдс}}, P_{\text{прдз}}, R_c, R_{z_i}, \theta_c, \theta_{z_i}), i = 1..N. \quad (3.3)$$

Оскільки потужності передавачів можна вважати фіксованими, а можливості маніпулювання відстанями у міських умовах є обмеженими, на перший план виходить розв'язання задачі (1.1) шляхом вибору для мобільного ДЗЗНЗ у кожній точці S_s оптимального кута θ_0^* зі співвідношення (3.2) такого, що

$$K_n(\theta_0^*) = \min K_n(\theta_0). \quad (3.4)$$

Отримана математична модель дозволяє:

- визначати коефіцієнт придушення каналу радіозв'язку у будь-якій точці оперативного простору;
- визначати оптимальний кут спрямування ДЗЗНЗ відносно одного або декількох джерел завад та своїх засобів радіозв'язку, при якому K_n приймає мінімальне значення.

Отримана математична модель каналу радіозв'язку (3.4) може бути використана при імітаційному моделюванні його роботи в умовах радіопридушення як основний механізм визначення станів радіоканалу [51].

3.2.2 Розробка імітаційної моделі роботи каналу радіозв'язку в умовах радіопридушення

З метою формалізації задачі (3.4) подамо імітаційну модель КРЗ підрозділів НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення у вигляді кінцевого автомата Мура [60]. 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).

У залежності від ситуативного сполучення параметрів засобів радіоелектронного впливу для каналу радіозв'язку між ЦЗ та підрозділом НГУ, що виконує СБЗ, маємо множину станів $Q = \{Q_0, Q_1, Q_2\}$, де [51]:

- 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 $t = 0, 1, 2, \dots$ функція переходів має вигляд:

$$Q(t+1) = \delta(Q(t), X(t)), \quad (3.5)$$

функція виходів записується як

$$Y(t) = \lambda(Q(t)), \quad (3.6)$$

а модель задається співвідношеннями

$$\begin{aligned} \delta(Q_0, \bar{Z}, \bar{D}) &= Q_0; \delta(Q_0, Z, \bar{D}) = Q_1; \delta(Q_0, Z, D) = Q_2; \\ \delta(Q_1, Z, \bar{D}) &= Q_1; \delta(Q_1, Z) = Q_0; \delta(Q_1, Z, D) = Q_2; \\ \delta(Q_2, Z, D) &= Q_2; \delta(Q_2, \bar{Z}) = Q_0; \delta(Q_2, Z, \bar{D}) = Q_1; \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\lambda(Q) = \begin{cases} Y_1 \text{ при } \delta(Q, X) = Q_0, \\ Y_1 \text{ при } \delta(Q, X) = Q_2, K_{\text{п}} \leq K_{\text{пор}}, \\ Y_0 \text{ у інших випадках,} \end{cases} \quad (3.8)$$

де $K_{\text{п}}$ – потужність, що визначається за виразом (3.2).

Граф станів [73, 74] моделі наведений на рисунку 3.26.

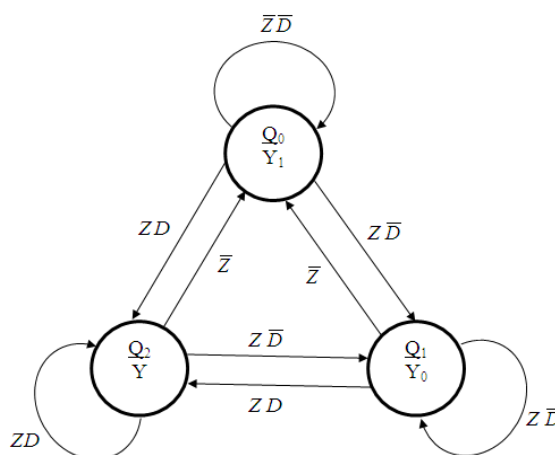


Рисунок 3.26 - Граф станів моделі КРЗ підрозділів НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення

На рисунку 3.27 наведено схему імітаційної моделі КРЗ підрозділів НГУ з мобільним ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення.

Значення ДС ДЗЗНЗ отримаємо з виразу (2.21) та (2.22):

$$\rho_{ox_i}(\theta) = 101g\left(\frac{P_{x_i}(\theta)}{P_{BX}}\right) = \rho_{x_i}(\theta) - \rho_{BX}, \quad (3.9)$$

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

$$\rho_{x_i}(\theta) = 101g\left(\frac{P_{x_i}(\theta)}{P_c}\right). \quad (3.10)$$

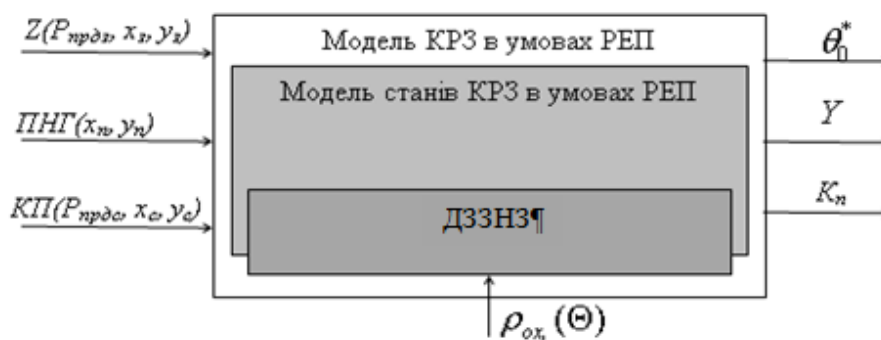


Рисунок 3.27 – Схема імітаційної моделі КРЗ НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення

Таким чином, удосконалено імітаційну модель (3.7), (3.8) каналу радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення. Цей формалізований опис роботи КРЗ є вихідним для розробки комп'ютерної моделі [75].

3.2.3 Розробка алгоритму моделювання роботи каналу радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України з додатковим засобом захисту від навмисних завад в умовах радіопридушення

Введемо такі позначення:

- t – модельний час;

- Alltime – часовий інтервал моделювання.

Алгоритм моделювання КРЗ НГУ з ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення можна описати такими кроками (рисунок 3.28).

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

Крок 2. Якщо $t = \text{Alltime}$, перейти до кроку 13, інакше – перейти до кроку 3.

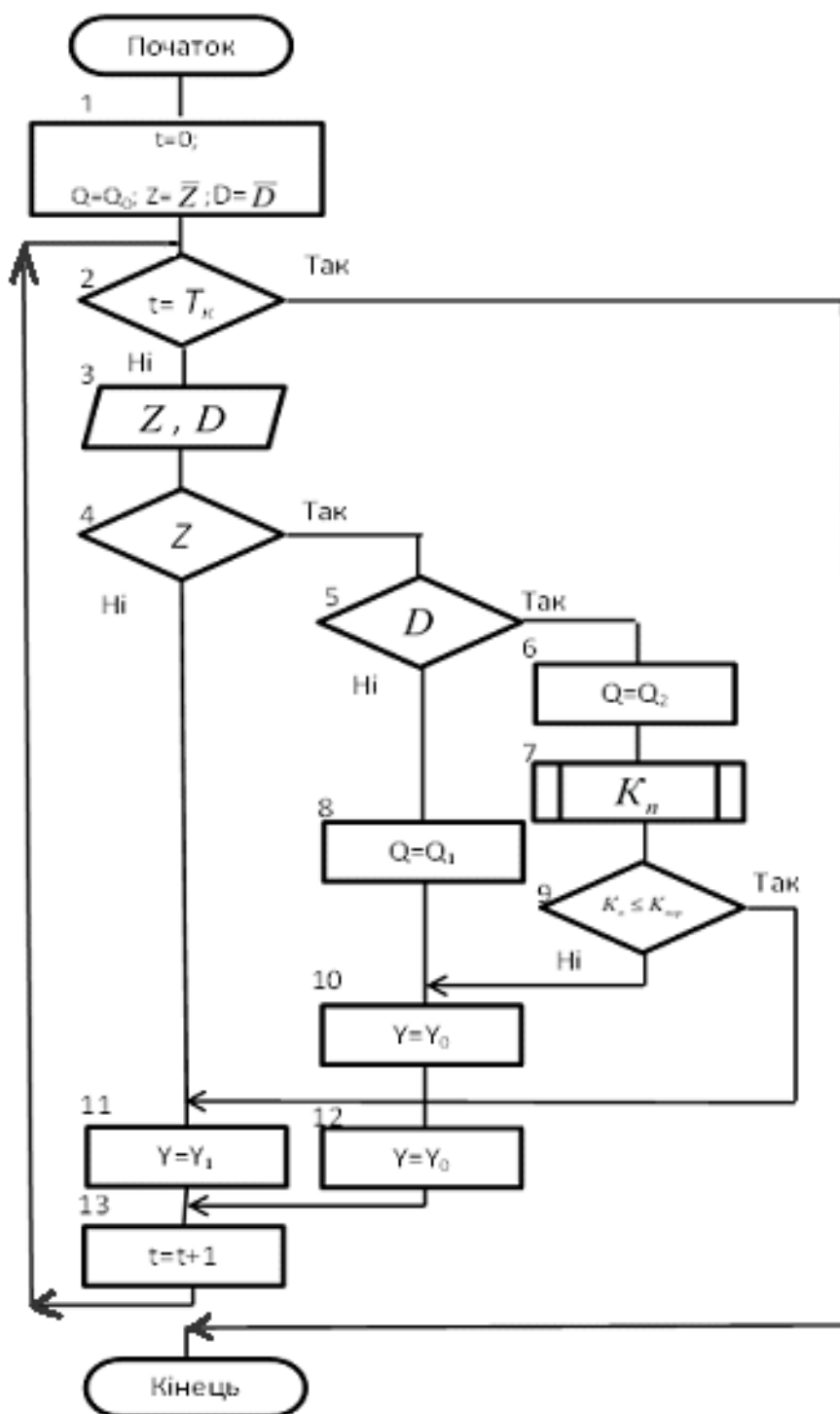


Рисунок 3.28 – Блок-схема алгоритму моделювання

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

Крок 4. Якщо $Z = \text{True}$, перейти до кроку 5, інакше – перейти до кроку 9.

Крок 5. Якщо $D = \text{True}$, перейти до кроку 6, інакше перейти до кроку 11.

Крок 6. Покласти $Q = Q_2$.

Крок 7. Обчислити K_n за формулами (3.7), (3.8)

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

Крок 9. Покласти $Y = Y_1$, перейти до кроку 10.

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 програмування Delphi [91]. Даний програмний продукт отримав назву IMRC.

Розроблена імітаційна модель каналу радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення та її програмна реалізація може використовуватися при визначенні ізоляції в класичному хвильовому алгоритмі.

3.3 Удосконалення методу визначення зони стійкого радіозв'язку засобами радіозв'язку UHF діапазону в умовах радіопридушення

3.3.1 Формалізація завдання визначення зони стійкого радіообміну в умовах радіопридушення

Враховуючи можливість вибору оптимального кута θ_0^* для мобільного ДЗЗНЗ, сформулюємо правило визначення площі стійкого обміну с захистом S_z у задачі (1.1) для точок оперативної мапи $x, y \in \Omega$ (Ω – множина точок

оперативної мапи, що належить області СБЗ) наступним чином:

$$S_z \{ \forall (x, y) \in \Omega \mid K_{\Pi}(x, y, \theta_0^*) = \min K_{\Pi}(x, y, \theta_0) \leq K_{\text{пор}} \}; \quad (3.11)$$

$$K_{\Pi}(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{\text{прдс}} G(\theta_c - \theta_0)} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{прдз}} G(\theta_{z_i} - \theta_0)}{R_{z_i}^2}; \quad (3.12)$$

$$R_c = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}; \quad (3.13)$$

$$R_{z_i} = \sqrt{(x - x_{z_i})^2 + (y - y_{z_i})^2}, i = 1..N; \quad (3.14)$$

$$K_{\text{пор}} \leq Db, \quad (3.15)$$

де x_c, y_c – координати джерела корисного сигналу центру зв'язку на мапі;

x_{z_i}, y_{z_i} – координати i -го джерела завади на мапі.

Для площі стійкого обміну без захисту S_0 відповідно маємо:

$$S_0 = \{ \forall (x, y) \in \Omega \mid K_{\Pi}(x, y, \theta_0) \leq K_{\text{пор}} \} \quad (3.16)$$

$$K_{\Pi}(\theta_0) = \frac{R_c^2}{P_{\text{прдс}}} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{прдз}}}{R_{z_i}^2}. \quad (3.17)$$

Для швидкого і точного вибору можливих варіантів розташування засобів радіозв'язку на оперативній мапі при використанні ДЗЗНЗ можна використати імітаційну модель станів КРЗ НГУ та алгоритм визначення меж зон S_z та S_0 на основі хвильового методу [52]. Аналіз існуючих методів до розрахунку зони придушення радіоелектронних засобів подано в Додатку Б.

3.3.2 Розробка алгоритму визначення ізоліній зони досяжності за допомогою хвильового методу

Для загального випадку роботи комплексу РЕП задачу побудови границь максимальної за розміром зони досяжності можна сформулювати як завдання пошуку на мапі множини точок ізолінії з координатами (x, y) , в яких одночасно виконуються умови (1.10) та (2.5), тобто

$$K_{\Pi}(x, y, \theta_0^*) = K_{\text{пор}}. \quad (3.18)$$

Для розв'язання поставленого завдання побудови ізолінії на мапі використаємо той факт, що необхідно знайти тільки одну лінію рівня, а також те, що точка розташування ЦЗ завжди знаходиться в середині зони досяжності. Вихід з цієї стартової точки на межі зони досяжності забезпечимо за допомогою хвильового алгоритму [72].

Класичний хвильовий метод працює на прямокутному дискретному робочому полі, розбитому на квадратні комірки. У множині комірок ДРП визначаються вільні комірки, "перепони", стартова та фінішна комірка, між якими треба знайти найкоротший шлях. Метою методу є пошук найкоротшого шляху від стартової до фінішної комірки. Робота алгоритму складається з трьох етапів:

- ініціалізація;
- розповсюдження хвилі;
- прокладання шляху.

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

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 (Додаток Б, рисунок Б.8, а).

Надалі кожна комірка, що отримала номер фронту, становиться стартовою, і з неї виконуються чергові кроки у сусідні комірки із утворенням наступного фронту хвилі (Додаток Б, рисунок Б.8, 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 у зворотному напрямку

від фінішної до стартової комірки з послідовним вибором комірки ДРП, яка має номер фронту, що є меншим на одиницю від поточного.

У рамках поставленого завдання побудови ізолінії, точки якої відповідають умові (3.13), у роботах [52, 53, 57, 58] 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 $\text{Bitmap}_{x,y}$ ($x = 1..N, y = 1..N$), яка містить піксельне зображення оперативної мапи;
- бітова маска – двовимірна матриця $B_{x,y}$ ($x = 1..N, y = 1..N$), яка у кожній комірці приймає значення 0 або 1;
- довжина попереднього фронту хвилі – L_{fold} ;
- довжина нового фронту хвилі – L_f ;
- масиви координат попереднього фронту хвилі – $\text{FoldXi}, \text{FoldYi}$ ($i=1..L_{\text{fold}}$);
- масиви координат нового фронту хвилі – $\text{FrontXi}, \text{FrontYi}$ ($i=1..L_f$);
- індикатор можливості подальшого просування хвилі – Stop , змінна логічного типу; значення True є ознакою неможливості подальшого просування хвилі;
- поточні координати точки ДРП, навколо якої обстежується стан сусідніх точок – X_0, Y_0 ;
- масив прирощень координати x точки (X_0, Y_0) у циклі обстеження стану сусідніх точок ДРП – $\text{DX } i$ ($i = 1..4$); має фіксовані значення $(0,1,0,-1)$;
- масив прирощень координати y точки (X_0, Y_0) у циклі обстеження стану сусідніх точок ДРП – $\text{DY } i$ ($i = 1..4$); має фіксовані значення $(-1,0,1,0)$;
- лічильник ненульових точок, що є сусідніми для поточної точки бітової маски – Oktrix , змінна цілого типу.

Робота алгоритму, що пропонується, складається з трьох етапів:

- ініціалізація;
- розповсюдження хвилі;
- прокладання ізоляції.

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 $V_{x,y}$ приймають значення 0.

Етап розповсюдження хвилі. У процесі утворення нового фронту обчислюється K_n за формулою (3.14) та перевіряється виконання умови (3.13). Якщо точка-кандидат з координатами (x, y) є вільною та в ній виконується дана умова, вона включається до нового фронту, відповідний елемент бітової маски $V_{x,y}$ приймає значення 1. Процес розповсюдження хвилі закінчується на межі зони досяжності, коли для будь-яких точок-кандидатів перестає виконуватися умова (3.13).

Опис алгоритму розповсюдження хвилі можна визначити наступними кроками (рисунки 3.30).

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 $V[x,y]=1$, перейти до кроку 7, інакше перейти до кроку 4.

Крок 4. Обчислити K_n за формулою (3.14).

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

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

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

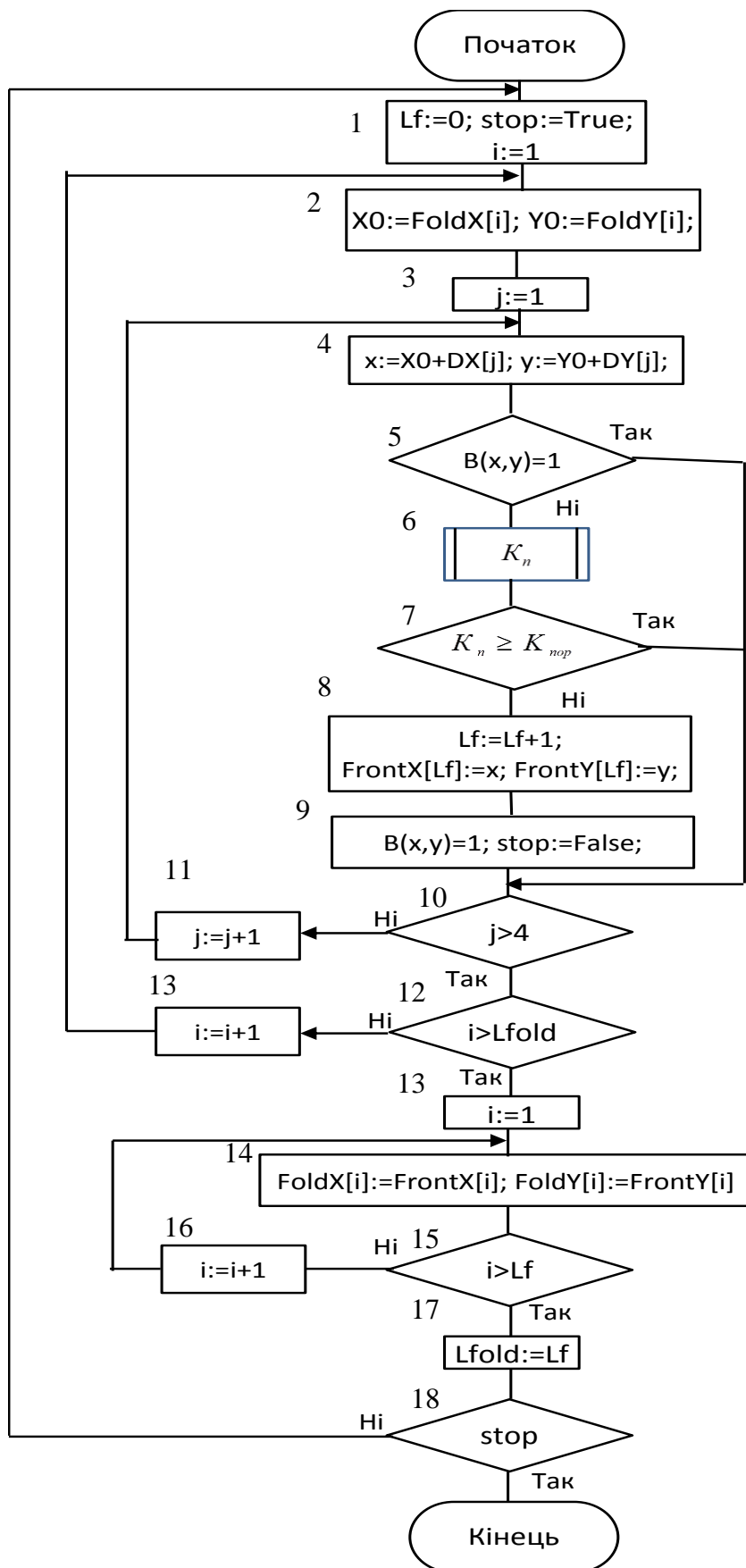


Рисунок 3.30 – Блок-схема алгоритму розповсюдження хвилі

Крок 8. Якщо $i < L_{fold}$, 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 $i < L_f$, покласти $i=i+1$ та перейти до кроку 9, інакше перейти до кроку 12.

Крок 12. Покласти $L_{fold}:=L_f$.

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

Крок 14. Кінець.

Етап прокладання ізоляції. На цьому етапі формується масив координат точок ізоляції шляхом сканування бітової маски $V_{x,y}$ за наступним правилом: точка з координатами x, y належить ізоляції, якщо $V_{x,y}=1$ та хоча б одна з оточуючих сусідніх точок має нульовий стан.

Опис алгоритму прокладання ізоляції можна визначити наступними кроками (рисунки 3.31).

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 $V[x,y]=1$, 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 $Bitmap[x,y]$.

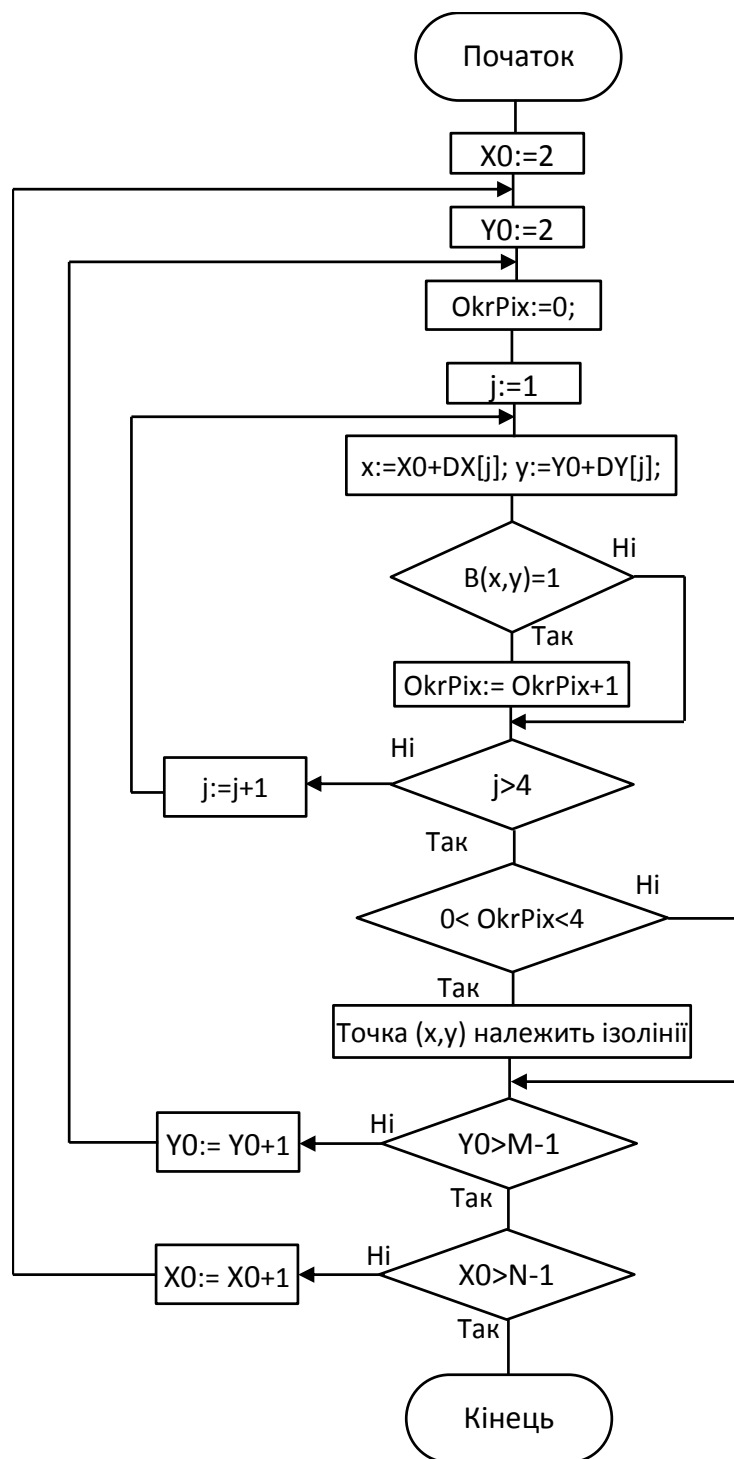


Рисунок 3.31 – Блок-схема алгоритму прокладання ізолінії

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, удосконалено метод визначення зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ в умовах радіопридушення. Основні складові методу зображені на рисунку 3.32.

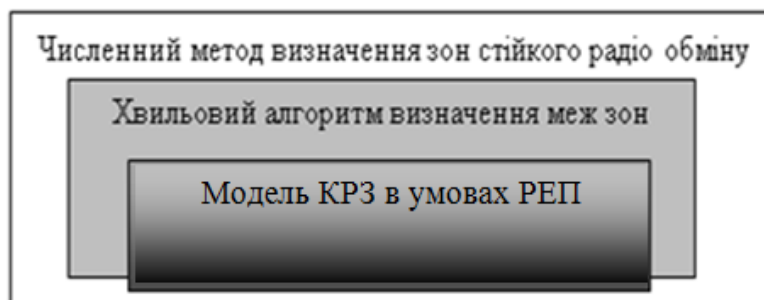


Рисунок 3.32 – Схема методу

Метод визначення зони стійкого радіообміну відрізняється від відомого:

- при визначенні зони надійного прийому в радіомережах НГУ додатково враховані характеристики ДЗЗНЗ;
- використаний хвильовий алгоритм визначення ізоляції;
- для побудови ізоляції розроблена імітаційна 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 (3.14) в ньому виконується не в усіх точках мапи, а тільки у точках розповсюдження хвилі. Етап прокладання ізоляції, на якому виконується сканування бітової маски мапи, не потребує складних обчислень.

Висновки по 3 розділу

Доведено, що характеристики ДЗЗНЗ, виконаного на основі використання ПАЩ та антен стандартних засобів зв'язку Kenwood ТК-2270 та Kenwood ТК-2260, співпадають з характеристиками спрямованих дзеркальних антен типу

параболічний циліндр. Визначена діаграма спрямування ДЗЗНЗ з одного та трьох щитів може використовуватися для моделювання роботи КРЗ в умовах радіопридушення.

Удосконалено математичну модель роботи радіоканалу в умовах радіопридушення, яка дозволяє враховувати спрямовані та екрануючі властивості ДЗЗНЗ при розрахунку коефіцієнта придушення $K_{\pi}(\theta_0)$ від декількох джерел НЗ.

Отримала подальший розвиток імітаційна модель радіоканалу в умовах радіопридушення, яка, на відміну від відомих, використовує метод кінцевого автомату Мура для визначення станів КРЗ та дозволяє прогнозувати значення коефіцієнту придушення радіоканалу при зміні просторових показників взаємного розташування та орієнтації екранів та спрямованих антен;

Удосконалено метод визначення зони стійкого радіообміну в умовах радіопридушення, який відрізняється від відомих застосуванням математичного апарату хвильового алгоритму визначання ізолінії і розробленої імітаційної моделі радіоканалу в умовах радіопридушення, що дозволяє визначити взаємне розташування радіозасобів та їх антен відносно постановників завад.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОЦІНКА
ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЙ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ
РАДІОПРИЙОМУ В МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ
ГВАРДІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ РАДІОПРИДУШЕННЯ

4.1 Експериментальні дослідження характеристик додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита та штатних радіозасобів UHF діапазону

4.1.1 Визначення вимог та порядку проведення експериментальних досліджень діаграми спрямованості додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита

При проведенні експерименту були виконані наступні вимоги [92]:

1. Відстань R від ДЗЗНЗ до вимірювача щільності потоку енергії вибиралася за умови забезпечення дальньої зони – 10λ . Оскільки $\lambda = 0,7$ м, то $R = 7$ м;

2. Середовище розповсюдження електромагнітного випромінювання – вільний простір;

3. Вимірювання щільності потоку енергії проводилось з моменту подачі напруги на вхід антени;

4. Час подання напруги необмежений.

Експеримент проводився в декілька етапів:

1. Збір та калібрування експериментальної установки;

2. Вимірювання значень потужності щільності потоку енергії без застосування щита;

3. Знаходження фокусної відстані для одного щита;

4. Вимірювання потужності для побудови ДС одного щита;

5. Дообладнання експериментальної установки;
6. Знаходження фокусної відстані для трьох щитів;
7. Вимірювання потужності для побудови ДС трьох щитів;
8. Обробка даних та побудова графіків.

4.1.2 Визначення характеристик діаграми спрямованості додаткових засобів захисту від навмисних завад на основі протиударного алюмінієвого щита

Вимірювання були проведені в два етапи.

Перший етап проведено на базі Метрологічного центру військових еталонів (військова частина А-0785), де був зібраний вимірювальний комплекс, до складу якого входять (Додаток В):

- генератор сигналів високочастотний спеціального призначення РГ4-08 (Додаток В, рисунок В.1);
- ПАЩ (Додаток В, рисунок В.7);
- антена штатної радіостанції Kenwood (Додаток В, рисунок В.7);
- пристрій для вимірювання фокусної відстані (Додаток В, рисунок В.9);
- поворотний вимірювальний механізм (лімб) (Додаток В, рисунок В.8);
- еталон щільності потоку енергії ВЕЗСУ 09-00-05-09 (Додаток В, рисунок В.4);
- перетворювач вимірювальний первинний М5-29 (Додаток В, рисунок В.5);
- вимірювач потужності термісторний М2-22А (Додаток В, рисунок В.6).

Експериментальна установка складається з двох частин: випромінювальної (ВпЧЕУ) та вимірювальної (ВЧЕУ) (рисунок 4.1; Додаток В, рисунок В.14). На випромінювальній частині до поворотного механізму горизонтальної площини за допомогою кріплення приєднано ПАЩ. До щита приєднано вібратор штатного радіозасобу, приєднаний до генератору сигналів високочастотного спеціального призначення РГ4-08 із пристроєм для

вимірювання фокусної відстані.

Вимірювальна частина експериментальної установки складається з еталону щільності потоку енергії ВЕЗСУ 09-00-05-09, перетворювача вимірювального первинного М5-29, вимірювача потужності термісторного М2-22А.

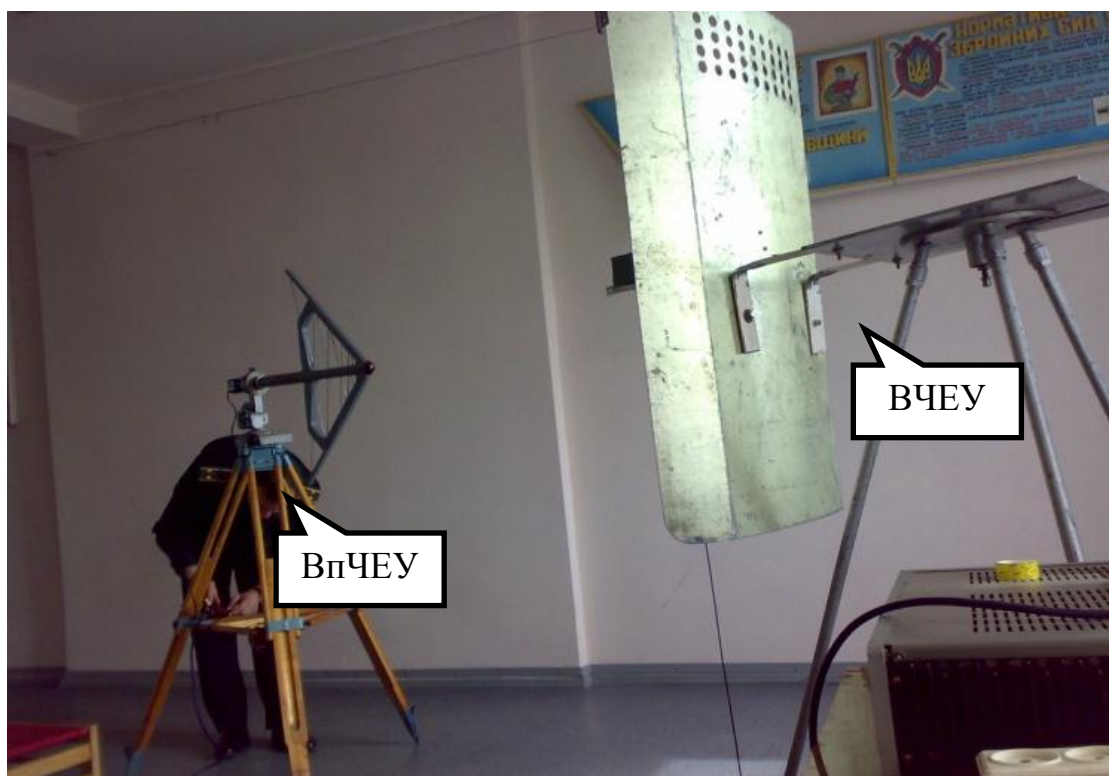


Рисунок 4.1 – Експериментальна установка на базі Метрологічного центру військових еталонів

Робота експериментальної установки заснована на тому, що випромінювач випромінює електромагнітну енергію на частоті 422,125 МГц від генератора РГ4-08 через антенний пристрій у напрямку ВЧЕУ. В залежності від конструкції імпровізованої антени та кута випромінювання, який забезпечується поворотним пристроєм горизонтальної площини, ВЧЕУ перетворює щільності потоку енергії в потужність, та з вимірювача М2-22А знімаються дані. Рівень потужності генератора обраний 0,2 Вт. Схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.2.

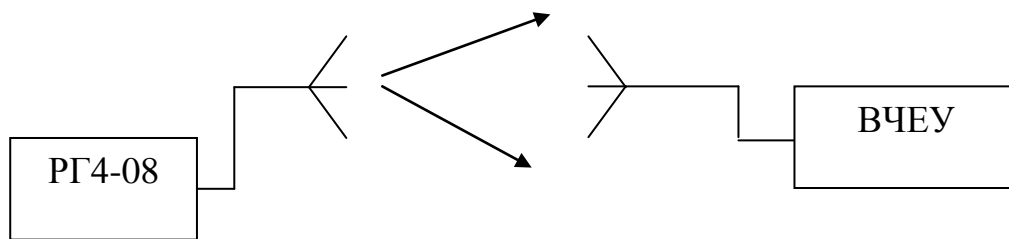


Рисунок 4.2 – Схема експериментальної установки (перший етап).

З метою більш детального вивчення властивостей ДЗЗНЗ на основі щитів було проведено другий етап експерименту. На стройовому плаці Національної академії НГУ, що більше відповідає умовам використання ДЗЗНЗ у місті, була зібрана експериментальна установка, до складу якої входить:

- генератор сигналів високочастотний спеціального призначення Г4-76А (Додаток В, рисунок В.2);
- ПАЩ;
- антена штатної радіостанції Kenwood;
- пристрій для вимірювання фокусної відстані;
- поворотний вимірювальний механізм (лімб);
- скануючий приймач AR5000А (Додаток В, рисунок В.3);
- ПЕОМ (Додаток В, рисунок В.10).

Експериментальна установка складалась з двох частин – випромінювальної та вимірювальної.

ВпЧЕУ виконано аналогічно до першої за винятком використання генератора сигналів високочастотного спеціального призначення Г4-76А.

ВЧЕУ складається з скануючого приймача AR5000А та ПЕОМ з програмним забезпеченням Scan Master.

Стройовий плац з асфальтовим покриттям розміром 120 x 30 м оточений цегляними та залізобетонними будівлями (рисунок 4.3).

Робота експериментальної установки заснована на тому, що випромінювач випромінює електромагнітну енергію на частоті 422,125 МГц від генератора Г4-76А через антенний пристрій у напрямку скануючого приймача AR5000А. В залежності від конструкції імпровізованої антени та кута випромінювання, який

забезпечується поворотним пристроєм у горизонтальній площині, скануючий приймач фіксує різницю потужності електромагнітної енергії. Рівень потужності генератора обраний 0,2 Вт.



Рисунок 4.3 – Загальний вид експериментальної установки в Національній академії НГУ

Схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.4.

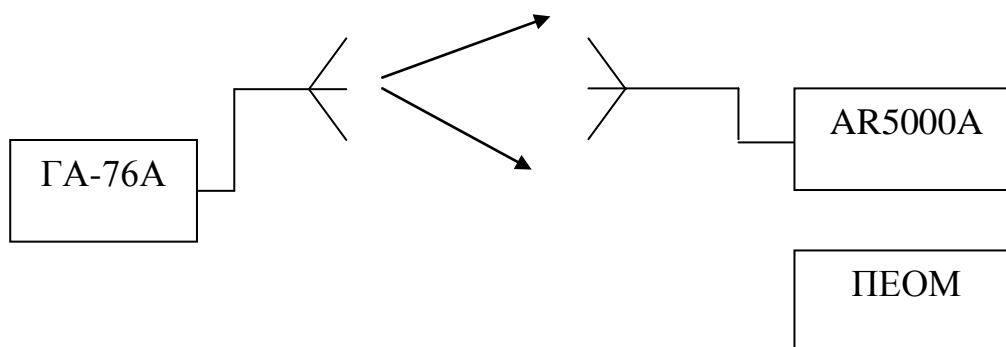


Рисунок 4.4 – Схема експериментальної установки (другий етап)

Під час проведення експерименту здійснювалась зміна кута антенного пристрою відносно приймального пункту через кожні 10° , при цьому похибка встановлення кута складає не більше $0,5^\circ$. Вхідні дані фіксувалися скануючим приймачем та оброблялися за допомогою програмного забезпечення Scan Master. Приймальний та передавальний пункти були розташовані на відстані 25 м один від одного, що є дальньою зоною.

Відстань R від ДЗЗНЗ до вимірювача щільності потоку енергії вибиралася за умови забезпечення дальньої зони 10λ – довжини хвилі. Оскільки $\lambda = 0,7$ м, то $R = 7$ м.

Умови другого етапу експерименту в основному співпадають з умовами виконання першого.

4.1.3 Аналіз експериментальних даних та визначення відповідності до даних, отриманих в результаті моделювання

Обробку експериментальних даних першого етапу виконано в такій послідовності [93-95]:

1. Збирання та калібрування експериментальної установки відповідно до зазначених вимог та забезпечення стабільної роботи приладів;

2. Вимірювання щільності потоку енергії без застосування щита, що складає $0,15$ мкВт (або $1,7$ дБ). Приймальний та передавальний пункти розташовуються на відстані 9 м. Експериментальні дані для отримання ДС вібратору наведено у Додатку Д в таблиці Д.1;

3. Визначення фокусної відстані для одного щита шляхом зсуву випромінювача по відношенню до дзеркала ПАЩ на відстань від 15 см до 25 см, графік залежності наведено на рисунку 4.5.

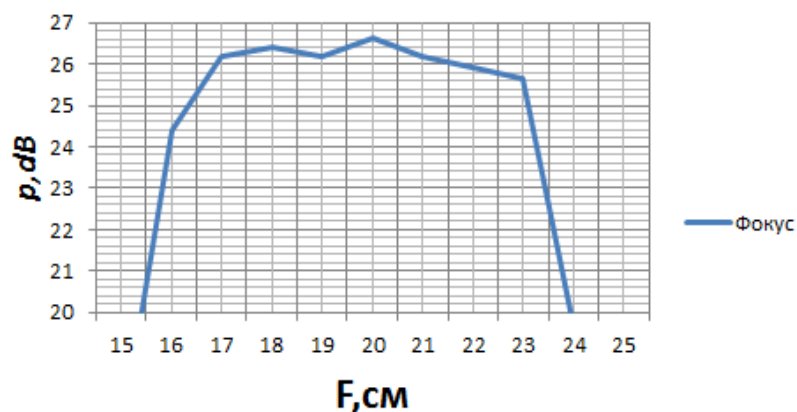


Рисунок 4.5 – Графік залежності потужності щільності потоку енергії від зсуву фокусної відстані

Результати аналізу отриманих даних (Додаток Д, таблиця Д.2) показали, що фокусна відстань дорівнює $f = 20$ см.

4. Для побудови ДС одного щита здійснювалась зміна кута антенного пристрою відносно приймального пункту від 0 до 360° кожні 10°. Вихідні дані для отримання нормованої ДС наведено в додатку Д в таблиці Д.3.

Результати співставлення отриманих експериментальних даних та розрахунків ДС показують деяку відмінність від теоретичних даних (рисунок 4.6).

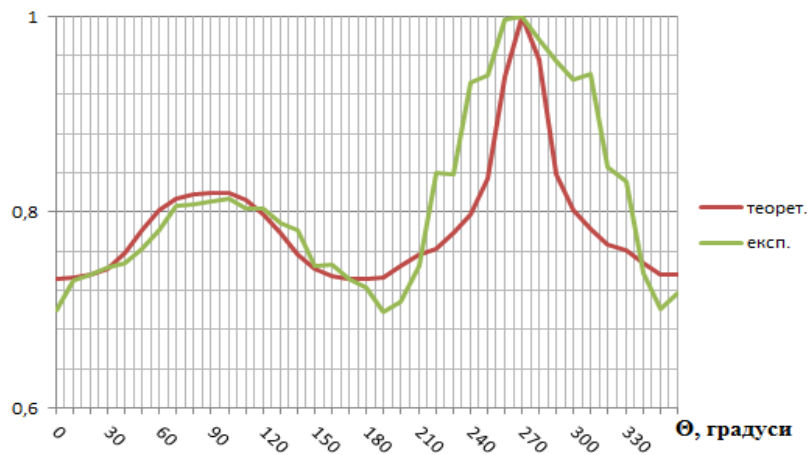


Рисунок 4.6 – ДС теоретично та практично отриманих даних для ДЗЗНЗ з одним ПАЩ

Це обумовлено конструктивними особливостями щита, а саме наявністю залізних ручок, та відмінністю його форми від параболічних циліндрів.

5. Дообладнання експериментальної установки полягало у з'єднанні трьох ПАЩ за допомогою залізних петель для регулювання куту розгортання антени. Кут розгортання антени було зафіксовано на відмітці $T_2=120^\circ$ (додаток Г, рисунок Г.3), що визначено також експериментально.

6. Аналогічно п.3 визначена фокусна відстань для трьох ПАЩ (додаток Д, таблиця Д.5). Графік залежності наведено на рисунку 4.7.

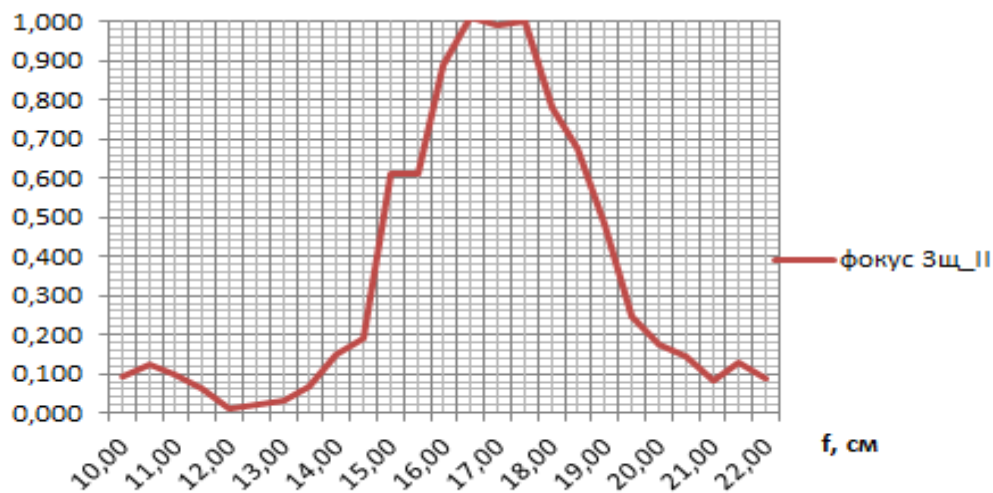


Рисунок 4.7 – Нормований графік залежності потужності щільності потоку енергії від зсуву фокусної відстані для трьох ПАЩ

Результати аналізу отриманих даних (Додаток Д, таблиця Д.5) показали, що фокусна відстань дорівнює $f = 16,5 - 17,5$ см.

7. Побудова ДС трьох ПАЩ здійснювалась таким саме шляхом, як для одного щита. Вихідні дані для отримання нормованої ДС приведені в додатку Д в таблиці Д.4.

Результати співставлення отриманих експериментальних даних та ДС показують незначну відмінність від теоретичних даних (рисунок 4.8).

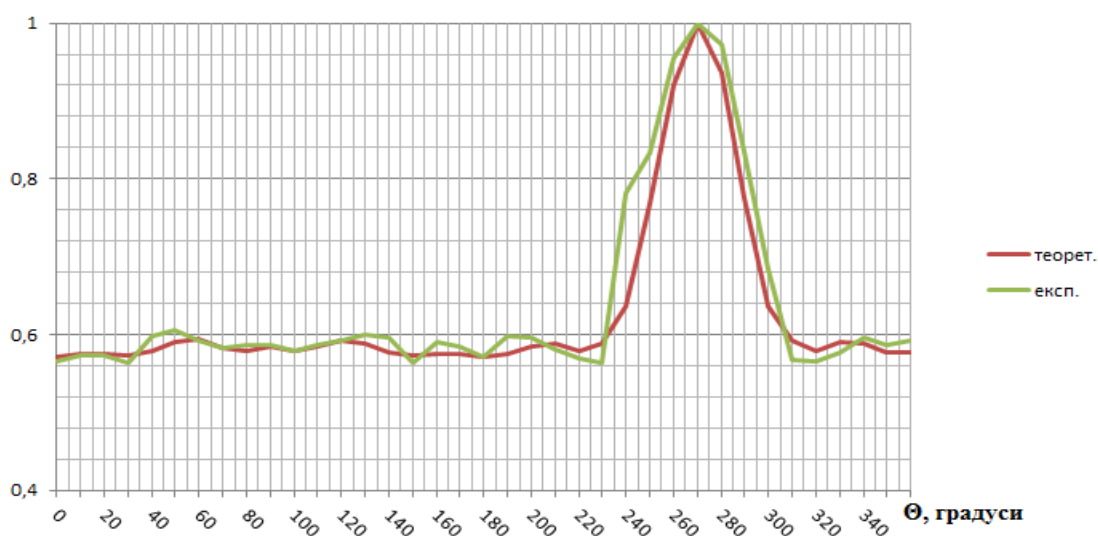


Рисунок 4.8 – ДС теоретично та практично отриманих даних для трьох ПАЩ

Відмінності обумовлені конструктивними особливостями ПАЩ та способів їх з'єднання.

Обробка експериментальних даних другого етапу виконана в наступній послідовності.

Пункти 1-4 виконані аналогічно першого етапу. Вихідні значення щільності потоку енергії без застосування ПАЩ в діапазоні кутів від 0° до 360° становить $\approx 0,15$ мкВт або 1,7 дБ у відносних одиницях (Додаток Д, таблиця Д.6, рисунок Д.1). Значення фокусної відстані для одного щита $f = 0,21$ м.

На рисунку 4.9 наведені порівняльні ДС теоретично та практично отриманих даних першого та другого етапів експерименту для ДЗЗНЗ з одного ПАЩ. Результати вимірювання представлені у додатку Д в таблиці Д.7 і на рисунку Д.2.

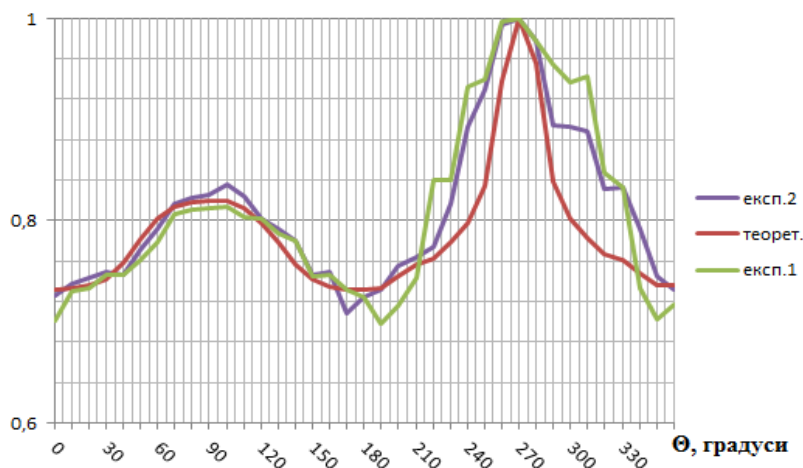


Рисунок 4.9 – Нормовані ДС для теоретично та практично отриманих даних з одним ПАЩ

Результати аналізу ДС показали, що приведена похибка не перевищує 12%, що відповідає метрологічним характеристикам використовуваних засобів вимірювальної техніки.

ДС імпровізованого антенного пристрою, який складається із трьох ПАЩ, було визначено за допомогою пристрою зміни кута бокових ПАЩ відносно центрального. Було визначено оптимальний кут у 120° . Наступні вимірювання здійснювались за пунктами 5-7, як і з одним ПАЩ. Результати

вимірювання представлені у додатку Д в таблиці Д.8 і на рисунку Д.3.

На рисунку 4.10 наведені порівняльні ДС теоретично та практично отриманих даних першого та другого етапів експерименту для ДЗЗНЗ з трьох ПАЩ.

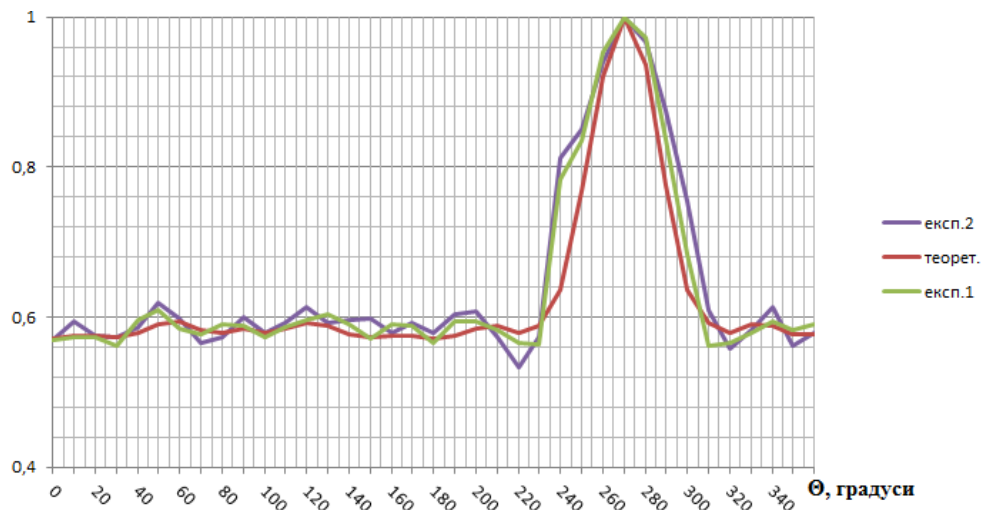


Рисунок 4.10 – Нормовані ДС для теоретично та практично отриманих даних з трьох ПАЩ

Результати аналізу діаграм спрямованості ДЗЗНЗ з трьома щитами показали аналогічність з отриманими даними для одного щита.

ДС в азимутальній площині для щиря та отриманих ДС для ДЗЗНЗ з одного та трьох щитів наведено на рисунку 4.11.

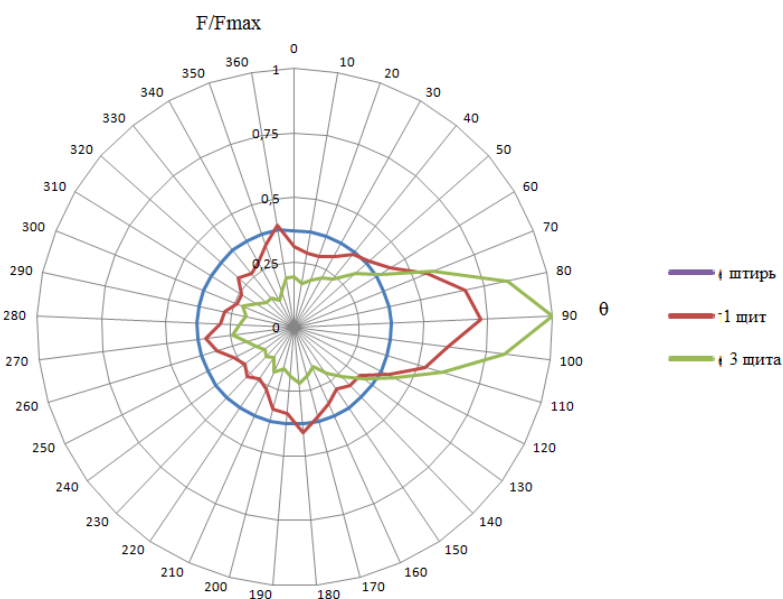


Рисунок 4.11 – Кругова ДС експериментальна

Як видно з рисунку 4.11, ДЗЗНЗ з трьома ПАЩ має кращі екрануючі та спрямовуючі властивості, чим пристрій з одним ПАЩ. У порівнянні зі звичайною штирьовою антеною штатного радіозасобу використання ДЗЗНЗ дозволить зменшувати вплив навмисних завад до 17 дБ. Однак, для визначення можливості використання ДЗЗНЗ необхідно провести оцінку достовірності отриманих експериментальних даних.

4.1.4 Оцінка достовірності отриманих експериментальних даних

Відповідно до п. 2.4 методики визначимо точність вимірювання значень діаграм спрямованості для запропонованих ДЗЗНЗ.

Розраховувались середні арифметичні значення результатів спостережень за формулою (2.11) та СКВРВ за формулою (2.12).

Для виключення зсуву оцінки СКВРВ вибрано коригувальні коефіцієнти M_k з таблиці 2.1 для $n = 3 \cdot M_{k,3} = 1,085$ і для $n = 10 \cdot M_{k,10} = 1,025$.

Згідно з ГОСТ 8.207-76 та [87-99], для визначення довірчих границь похибки результату технічного вимірювання приймаємо довірчу імовірність; тоді коефіцієнти Ст'юдента (таблиця 2.2) для $n = 3 \cdot t_3 = 4,30$ і для $n = 10 \cdot t_{10} = 2,26$. Довірчі границі інтервалу для випадкової похибки розраховуємо за формулою (2.14) з урахуванням коригувального коефіцієнту для максимального значення СКВРВ кожної з вимірювальних процедур.

Для даних таблиці Д.2 $\tilde{\Delta}_x = 1,085 \cdot 4,30 \cdot 0,002 \approx 0,0093$ мкВт.

Для даних таблиці Д.3 $\tilde{\Delta}_x = 1,085 \cdot 4,30 \cdot 0,0033 \approx 0,0154$ мкВт.

Для даних таблиці Д.4 $\tilde{\Delta}_x = 1,085 \cdot 4,30 \cdot 0,0018 \approx 0,0084$ мкВт.

Для даних таблиці Д.5 $\tilde{\Delta}_x = 1,085 \cdot 4,30 \cdot 0,0019 \approx 0,0089$ мкВт.

Для всіх цих результатів максимальне значення приведеної випадкової похибки менше за 0,5.

Систематична похибка засобу вимірювання потужності для використовуваного діапазону частот вимірювань складає $\pm 10\%$. Тобто, сумарна похибка вимірювання, розрахована за формулою (2.17), яка використовується і для підсумовування відносних (приведених) похибок, не перевищує $\pm 20\%$, що для вимірювань в діапазоні НВЧ є прийнятним.

Для даних таблиці Д.6 $\tilde{\Delta}_x = 1,025 \cdot 2,26 \cdot 0,0007 \approx 0,0016 \text{ мкВт}$.

Для даних таблиці Д.7 $\tilde{\Delta}_x = 1,025 \cdot 2,26 \cdot 0,0007 \approx 0,0016 \text{ мкВт}$.

Для даних таблиці Д.8 $\tilde{\Delta}_x = 1,025 \cdot 2,26 \cdot 0,0006 \approx 0,0014 \text{ мкВт}$.

Для всіх цих результатів максимальне значення приведеної випадкової похибки не перевищує 0,05. Тобто, сумарна похибка вимірювання практично не перевищує похибок засобів вимірювання.

Значення довірчої ймовірності $P = 0,95$ показують ступень довіри до отриманих експериментальних даних.

Таким чином, отримані дані можна використовувати за вхідні дані для моделювання роботи КРЗ UHF діапазону НГУ з використанням ДЗЗНЗ.

4.2 Надання практичних рекомендацій для підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

4.2.1 Рекомендації з використання методу підвищення стійкості радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

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 додаткового засобу захисту від навмисних завад [53, 54].

Комп'ютерна модель роботи КРЗ (IMRC) призначена для імітаційного моделювання роботи радіоканалу мобільних об'єктів НГУ в умовах радіопридушення. IMRC дозволяє визначати коефіцієнт придушення корисного сигналу в усіх точках заданої оперативної мапи з урахуванням використання ДЗЗНЗ та без нього. Вона дозволяє визначити на оперативній мапі межі максимальної за розмірами зони стійкого радіообміну засобів радіозв'язку НГУ з наданням оптимальних кутів орієнтації ДЗЗНЗ в кожній точці цієї зони. Текст програми наведено у додатку Е.

Головна форма програми наведена на рисунку 4.12.

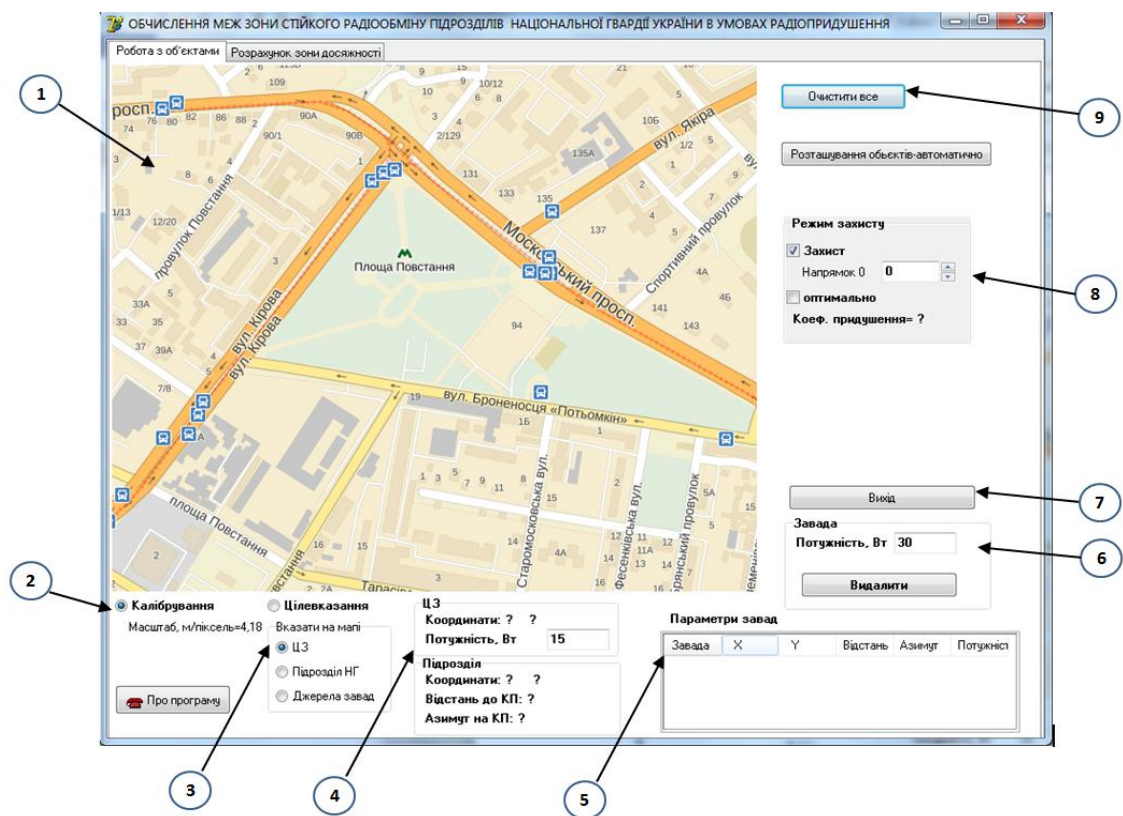


Рисунок 4.12 – Програмний інтерфейс програми моделювання роботи радіоканалу

Центральним елементом інтерфейсу є мапа, на якій вказується положення джерел завод, ЦЗ та підрозділів НГУ. Форма має закладки "Робота з об'єктами" та "Розрахунок зони досяжності", які визначають відповідно два режими роботи з мапою. Робота з програмою починається із закладки "Робота з об'єктами",

елементами якої є:

1. Оперативна мапа;
2. Перемикач режиму калібрування;
3. Перемикач режиму цілевказання;
4. Параметри передавача ЦЗ, що вводяться, та обчислювані координати місцеположення ЦЗ та підрозділів НГУ на мапі, відстань від ЦЗ до підрозділів НГУ та азимут ЦЗ;
5. Обчислювані координати місцеположення джерел завади на мапі, їх відстані до підрозділів НГУ та азимуту;
6. Потужність поточного передавача джерела завади, що вводиться;
7. Кнопка закінчення роботи та виходу з програми;
8. Елементи управління режимами роботи ДЗЗНЗ;
9. Кнопка очищення мапи від об'єктів.

Робота з об'єктами на відповідній закладці виконується у такій послідовності (рисунок 4.13):

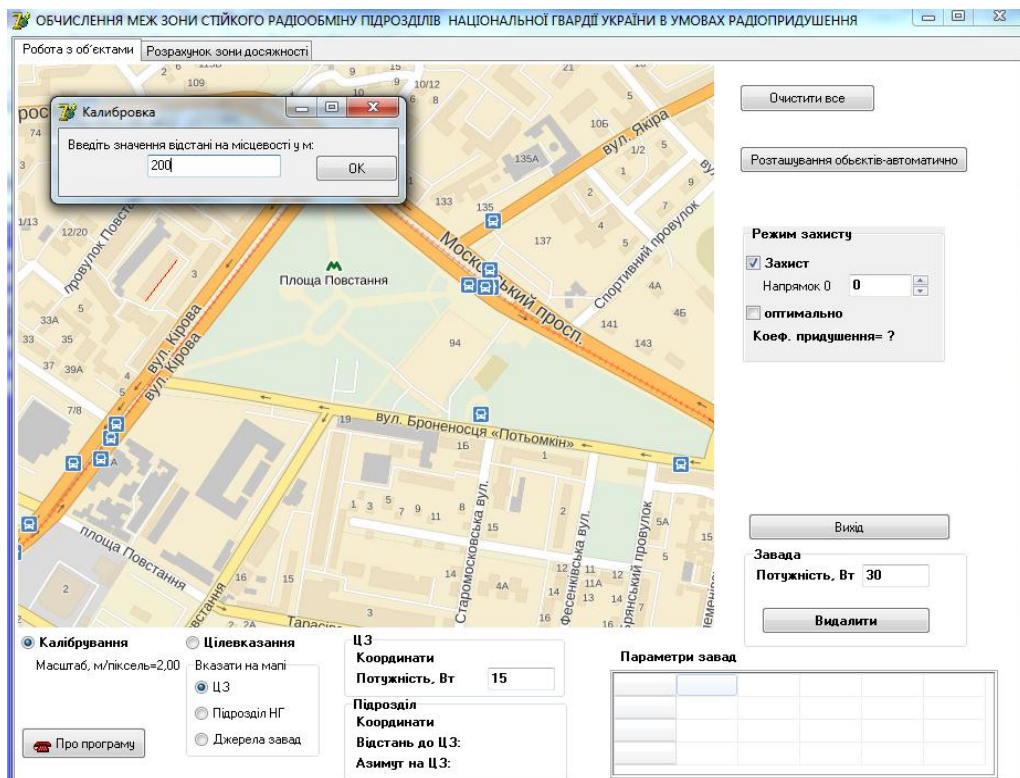


Рисунок 4.13 – Режим калібрування

1. Калібрування – обчислення масштабу мапи;
2. Цілевказання – розташування на мапі джерел завад, ЦЗ та підрозділів НГУ із визначенням їх потужностей;
3. Обчислення коефіцієнту придушення та стану КРЗ НГУ.

У режимі калібрування масштаб мапи обчислюється шляхом протягування маркера миші уздовж об'єкту на мапі, довжина якого заздалегідь відома.

Режим цілевказання дозволяє клацанням миші визначити на мапі положення підрозділів НГУ та ЦЗ із визначенням потужності його передавача. Аналогічним чином можна розташувати до трьох джерел завад, визначаючи окремо потужності кожного з них (рисунк 4.14).

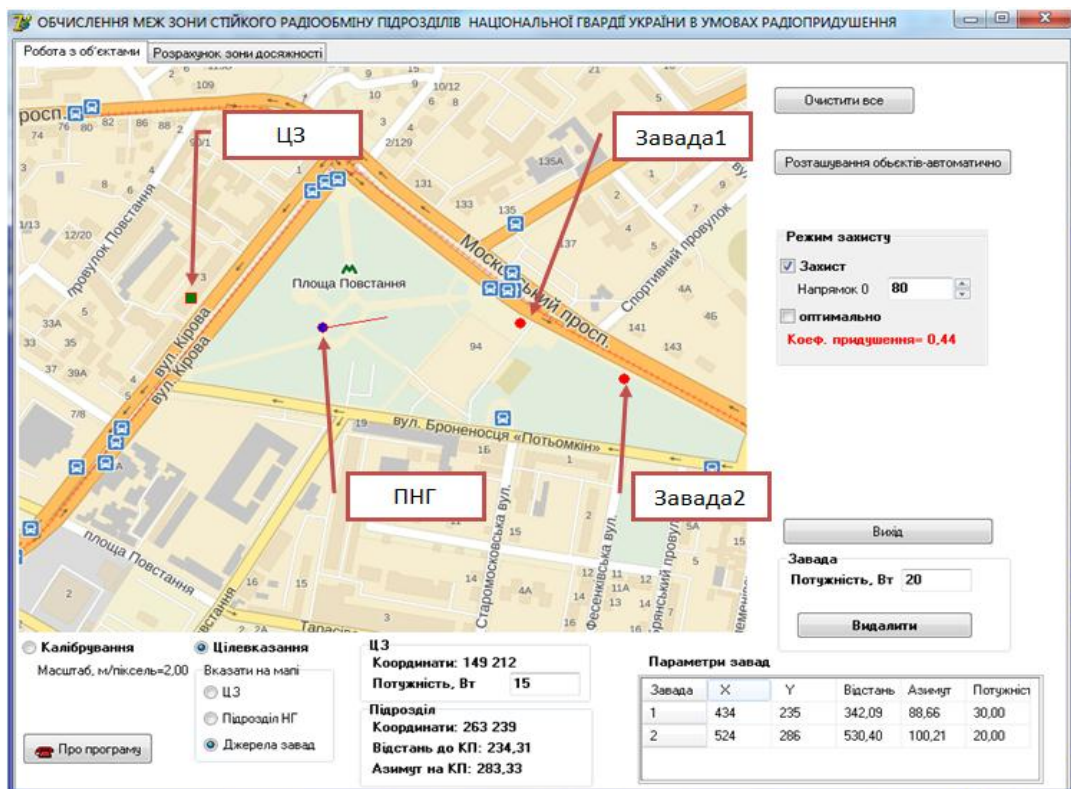


Рисунок 4.14 – Режим цілевказання

Обчислення коефіцієнту придушення вмикається автоматично після режиму цілевказання при визначених параметрах засобів радіоелектронного впливу (кількість джерел завад, їх потужність, розташування відносно

передавача ЦЗ).

Шляхом маніпулювання прапорцями "Захист" та "Оптимально" можна встановити один з трьох режимів роботи мобільного ДЗЗНЗ, тобто обчислення K_{Π} :

1. Без захисту (прапорець "Захист" скинутий, прапорець "Оптимально" скинутий). Обчислення виконуються за спрощеним варіантом формули (3.16), який не враховує вплив нормованої діаграми спрямованості мобільного ДЗЗНЗ;

2. Захист (прапорець "Захист" встановлений, прапорець "Оптимально" скинутий). Обчислення виконуються за формулою (3.8) для нульового напрямку діаграми спрямованості N_0 , який становить кут θ_0 відносно азимуту на північ і встановлюється вручну;

3. Оптимальний захист (прапорець "Захист" встановлений, прапорець "Оптимально" встановлений). Обчислення виконуються за формулою (3.8) з розв'язанням задачі (3.9), що дає можливість визначити оптимальну орієнтацію ДЗЗНЗ КРЗ (кут θ_0^*).

Після обчислення K_{Π} визначається стан моделі КРЗ за співвідношеннями (3.17) та функція виходів (3.18). Якщо $\lambda(q)$ приймає значення Y_0 , то величина K_{Π} виводиться на форму червоним кольором, для Y_1 – зеленим кольором.

Програмна реалізація моделі дозволяє визначити стан КРЗ НГУ у конкретній бойовій ситуації, обчислити оптимальну орієнтацію засобу мобільного захисту. Так, наприклад, в оперативній обстановці, наведеній на рисунку 4.15, встановлений азимут ДЗЗНЗ на найближче джерело завад ($\theta_0 = 80^0$) не забезпечує достатній рівень завадозахищеності радіоканалу ($K_{\Pi} = 0,44$).

Обчислений у режимі оптимального захисту азимут $\theta_0^* = 104^0$ задовольняє умові стійкого радіообміну (рисунок 4.16).

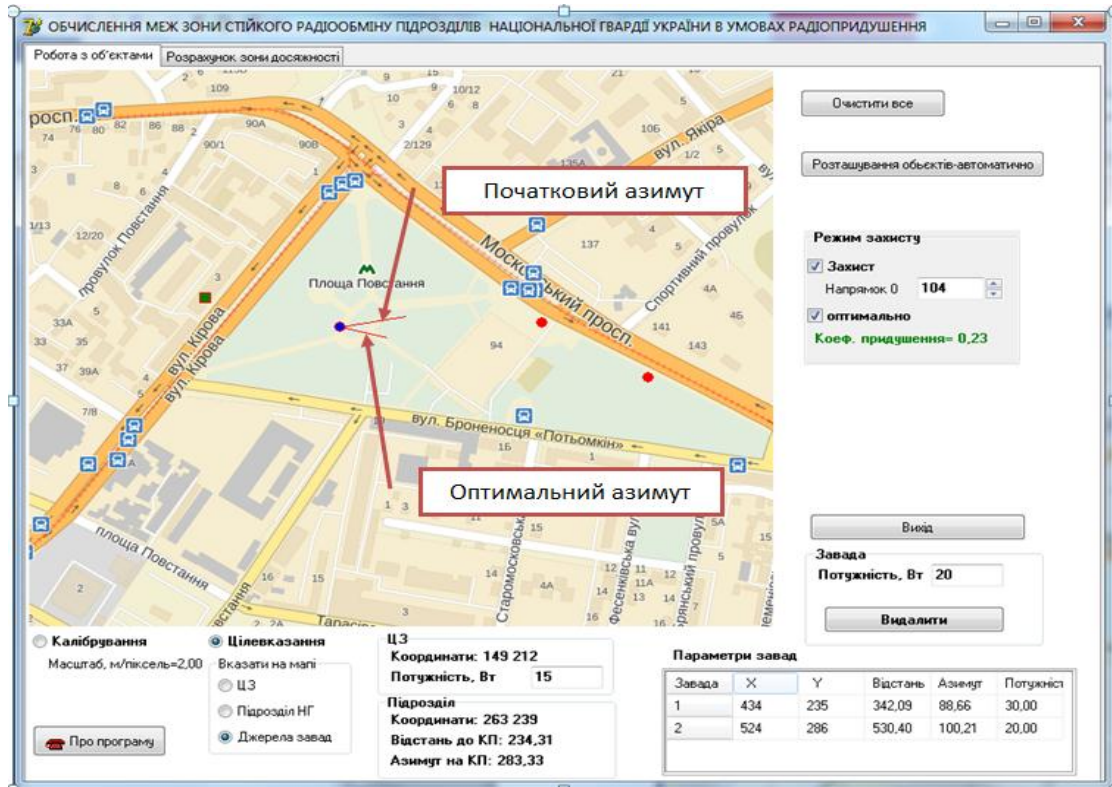


Рисунок 4.15 – Обчислення оптимального азимуту запропонованого ДЗЗНЗ

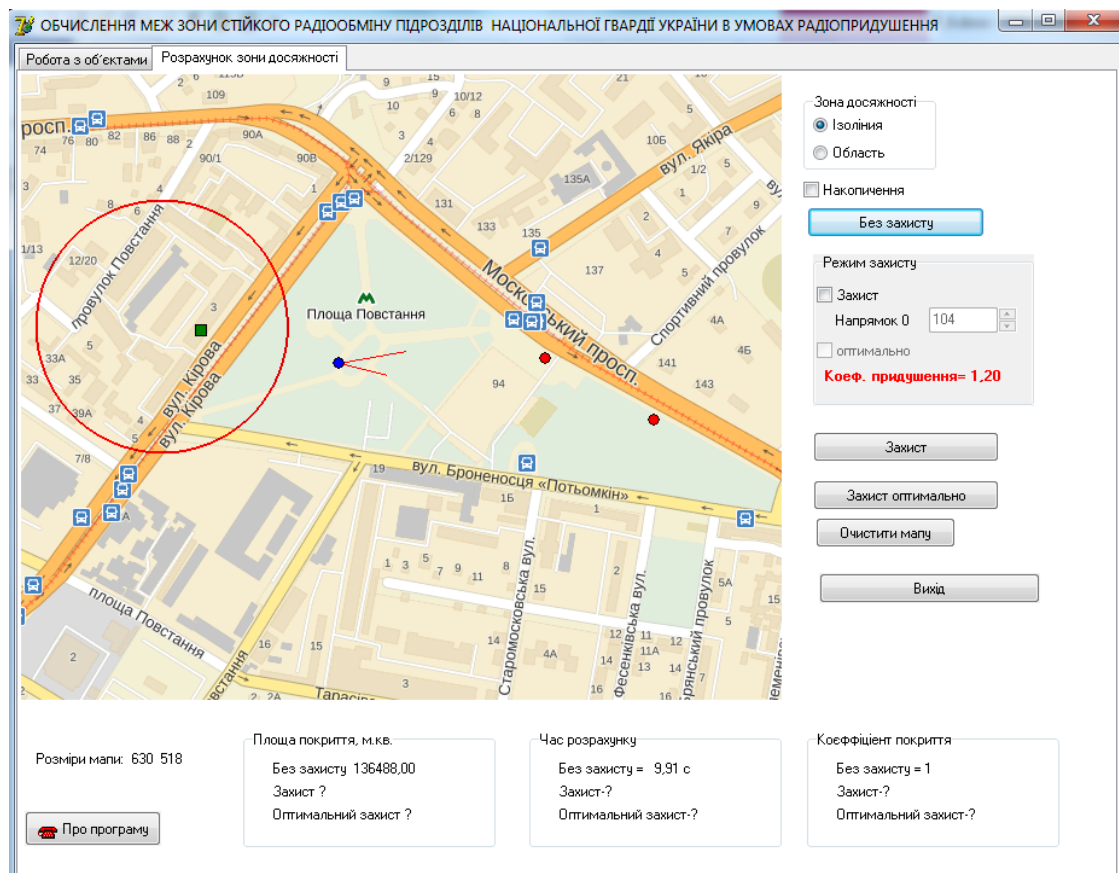


Рисунок 4.16 – Обчислення зони надійного прийому без захисту

Після виконання операцій калібрування та цілевказання можна переходити до побудування межі максимальної за розмірами зони надійної роботи мережі радіозв'язку мобільних підрозділів НГУ з використанням модифікованої моделі радіоканалу на закладці "Розрахунок зони досяжності".

У режимі "Розрахунок зони досяжності" виконується побудова границь зони досяжності, у межах якої забезпечується радіозв'язок між ЦЗ та підрозділами НГУ, що виконує бойове завдання, у залежності від обраного режиму роботи ДЗЗНЗ.

Обчислення положення точок ізолінії межі зони надійного прийому виконується запропонованим хвильовим алгоритмом, розглянутим вище у розділі 3.

Натисканням кнопок "Без захисту", "Захист" та "Захист оптимально" можна запускати один з трьох розглянутих вище режимів обчислення $K_{\text{п}}$ у точках мапи.

Одержувана форма зони досяжності залежить від розташування ЦЗ та підрозділів НГУ, параметрів засобів радіоелектронного впливу, обраного режиму роботи мобільного захисту КРЗ підрозділів НГУ. Форма найменшої зони досяжності, обчисленої у режимі "Без захисту", є правильним колом (рисунок 4.17), що відповідає співвідношенню (1.14), одержаним за результатами роботи [35].

На мапі (рисунок 4.17) представлені накладені одна на одну зони досяжності радіозв'язку між ЦЗ та підрозділами НГУ, обчислені за допомогою запропонованого хвильового алгоритму у режимах "Без захисту" та "Захист оптимально". З результатів розрахунку видно, що розмір зони надійного прийому збільшується більше ніж у три рази.

Трудомісткість запропонованого хвильового методу прямо пропорційно залежить від площі одержуваної зони досяжності. Результати розрахунків демонструють суттєве збільшення розмірів зони досяжності у режимі оптимального захисту порівняно з іншими варіантами захисту. Тим не менш площа одержуваної зони досяжності за наявності завад ніколи не перебільшує загальну площу мапи. Таким чином, можна казати про виграш у трудомісткості запропонованого методу порівняно з методом крокуючих квадратів (Marching

Squares), який потребує обчислень для перевірки умови стійкого радіообміну у всіх точках мапи. Крім того, у запропонованому алгоритмі відсутні неоднозначні ситуації, які можуть мати місце у Marching Squares [73-74].

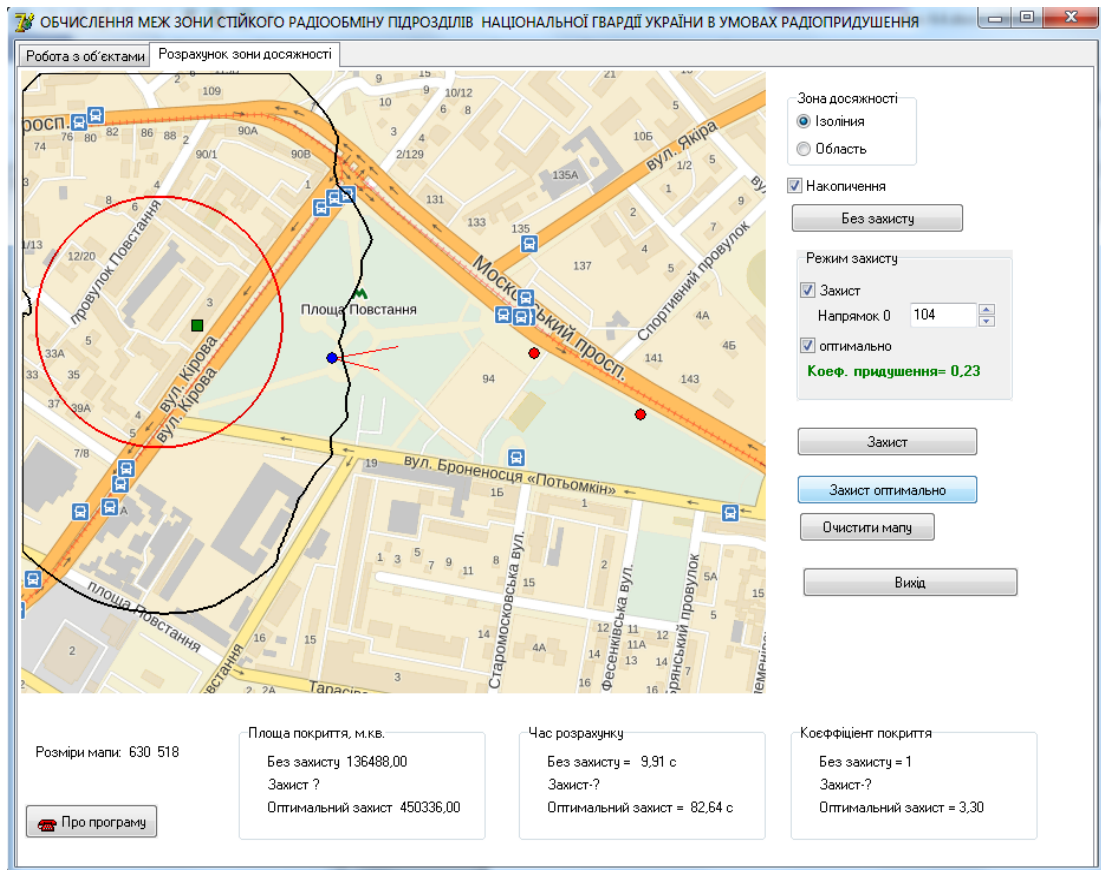


Рисунок 4.17 – Порівняльний аналіз зон стійкого радіообміну НГУ

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання також показує, що режим оптимального захисту потребує більше часу для обчислень, проте забезпечує найбільшу зону досяжності. Так, для оперативної ситуації, представленій на мапі, робота КРЗ НГУ може бути забезпечена тільки у режимі оптимального захисту

4.2.2 Рекомендації зі створення та використання додаткового засобу захисту від навмисних завад

При створенні та використанні ДЗЗНЗ на основі ПАЩ та штатних радіозасобів UHF діапазону НГУ потрібно дотримуватися отриманих у

результаті проведених досліджень геометричних характеристик та вихідних даних комп'ютерного моделювання.

Розглянемо покрокове створення ДЗЗНЗ на основі ПАЩ та штатних радіозасобів UHF діапазону НГУ.

Крок 1. *Визначення центру ПАЩ.* Особливості побудови ПАЩ наведено у додатку Г на рисунку Г.1.

Крок 2. *Виготовлення кронштейну для кріплення радіостанції.* Кріплення повинно жорстко закріплювати радіостанцію таким чином, щоб антена знаходилась у вертикальному положенні строго по центру ПАЩ на відстані 17 см (рисунок 4.18).

На рисунку 4.18, а наведено фронтальний вигляд положення відповідно до центру ПАЩ радіостанції Kenwood, на рисунку 4.18, б – схематичний вигляд зверху та на рисунку 4.18, в – схематичний вигляд збоку.

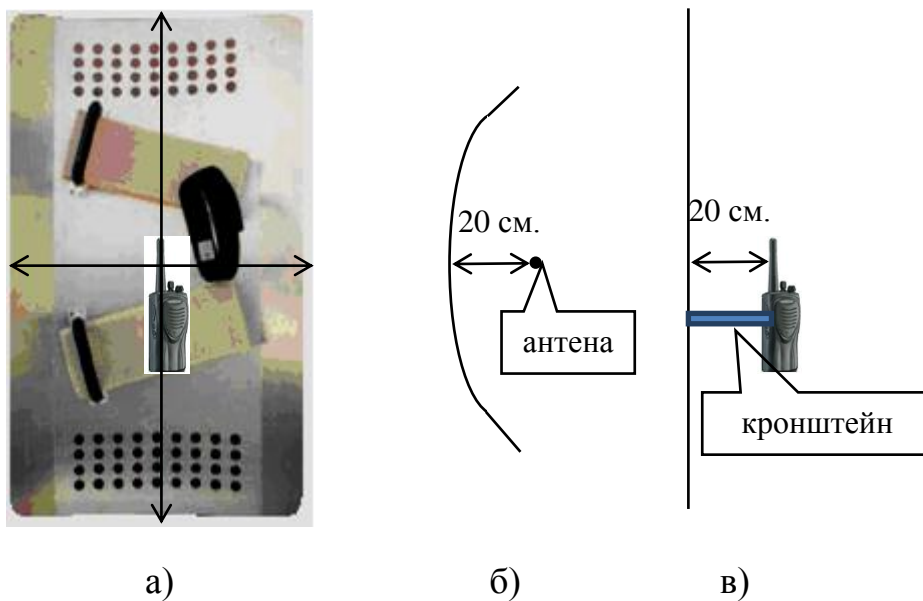


Рисунок 4.18 – Додатковий засіб захисту від навмисних завад з одним ПАЩ

Схема ДЗЗНЗ з трьох ПАЩ наведена на рисунку 4.19. Додатково потрібно розробити кріплення для ПАЩ з правого та лівого країв таким чином, щоб відстань між ними складала 125 см.

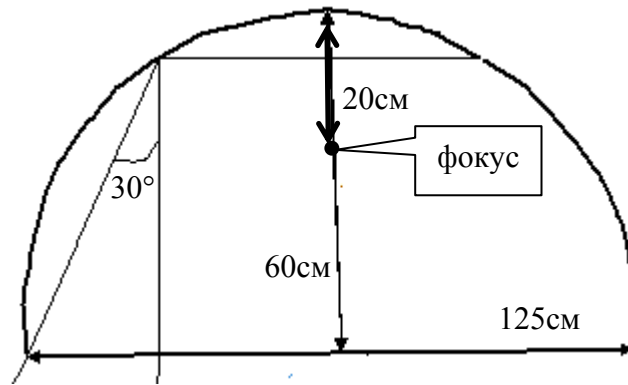


Рисунок 4.19 – Додатковий засіб захисту від навмисних завад з трьома ПАЩ

Крок 3. *Збирання та перевірка працездатності.* Збирання та розбирання повинно здійснюватися швидко та легко. Керування радіостанцією здійснюється за допомогою зовнішньої гарнітури.

При збиранні ДЗЗНЗ потрібно дотримуватися таких вимог:

- похибка при встановленні відстані від ПАЩ до антени не повинна перевищувати ± 2 см;
- похибка при відхиленні від центру у паралельній до ПАЩ площині не повинна перевищувати ± 3 см.

При виконанні зазначених вимог характеристики ДЗЗНЗ на основі ПАЩ співпадають з отриманими в ході досліджень.

4.3 Оцінювання ефективності функціонування комп'ютерної моделі роботи каналу радіозв'язку UHF діапазону підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

Оцінімо ефективність використання ІМРС з точки зору результативності діяльності командира при плануванні та використанні радіомережі засобами радіозв'язку UHF діапазону НГУ [53].

Відповідно до визначеної у п.2.6 методики оцінки ефективності використання програмних засобів визначимо технічну складову:

1. Функціональність:

- функціональна придатність задовільна, ІМРС надає вичерпну інформацію для планування та побудови радіомережі UHF діапазону НГУ

засобами радіозв'язку та ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення;

- точність підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями;

- достовірність підтверджується несуперечністю даних, отриманих в ході комп'ютерного моделювання для системи без захисту (червоне коло на рисунку 4.17) та для тих самих умов аналітичним способом (вирази (1.8)-(1.10), рисунок 1.8) ;

2. Надійність:

- здатність до відновлення повна;

3. Зручність використання або практичність:

- зрозумілість – не потребує зусиль, які затрачаються користувачами на сприйняття основних понять ПЗ та усвідомлення їх застосовності для розв'язання задачі;

- зручність навчання – не потребує додаткового навчання;

- зручна при роботі;

4. Продуктивність або ефективність:

- часова ефективність – ІМРС здатна видавати очікувані результати за мінімально відведений час (не більше 2 хвилин), що у порівнянні з розрахунками, які здійснюються на теперішній час при плануванні мереж радіозв'язку, незрівнянно мало.

5. Відповідає вимогам переносимості.

Порівняльний аналіз трудомісткості алгоритму показав таке. Для роботи на мапі розміром 630 x 518 пікселів при використанні противником одного джерела завад визначення зони стійкого радіообміну для ДЗЗНЗ з одним ПАЩ за рахунок обмеження площі обчислення обсяг обчислень зменшується у 2,89 раз (рисунок 4.17). Обсяг обчислень зменшується ще на порядок у межах площі обчислення у порівнянні з іншими чисельними методами визначення ізолінії за рахунок того, що обчислення коефіцієнту придушення за формулою (3.14) в ньому виконується не в усіх точках мапи, а тільки у точках розповсюдження хвилі. Трудомісткість буде змінюватися в залежності від вхідних даних, а саме потужностей завад та корисних сигналів типу ДЗЗНЗ, але виграш буде завжди.

Економічна ефективність використання IMRC є очевидною та визначення не потребує. Це обумовлено тим, що IMRC не потребує фінансових витрат на встановлення та використання на сучасній комп'ютерній техніці.

4.4 Оцінювання ефективності методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів Національної гвардії України в умовах радіопридушення

Відповідно до визначеного критерію ефективності роботи КРЗ в умовах радіопридушення (1.2), проведемо порівняльний аналіз визначених зон стійкого радіообміну для окремого випадку, приведеного на рисунку 4.20.

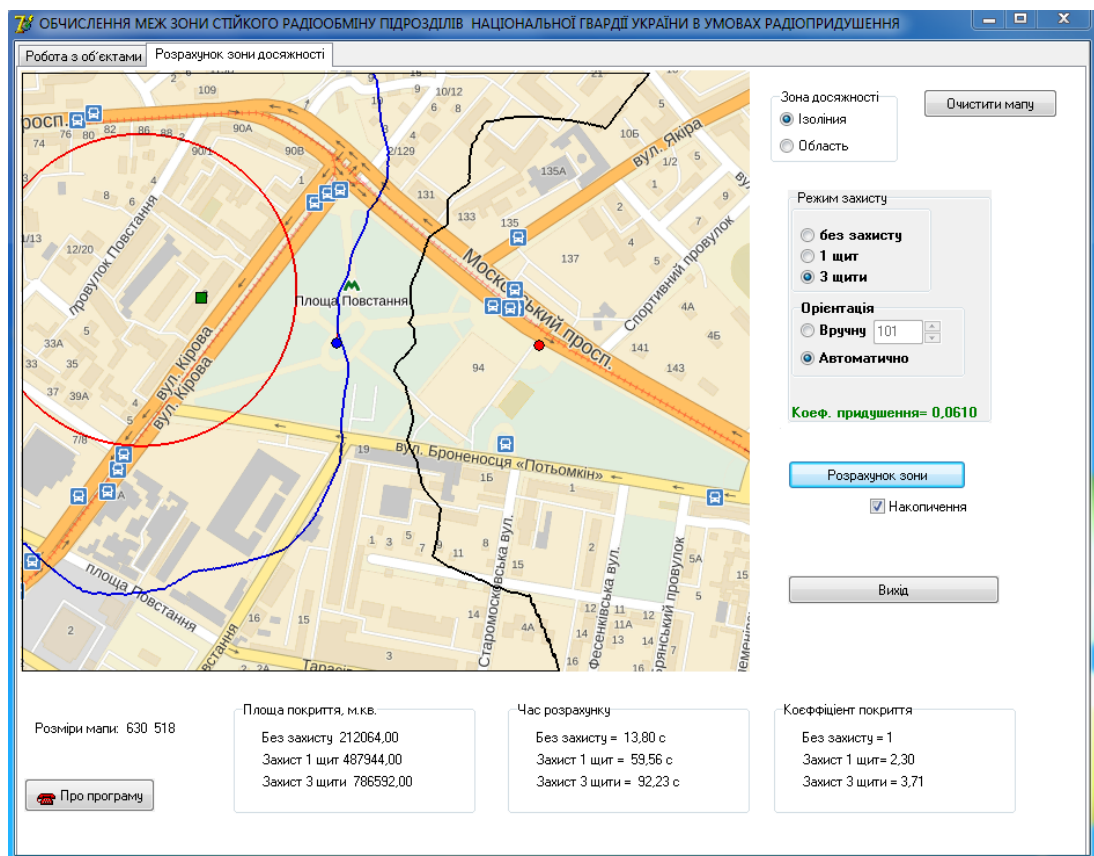


Рисунок 4.20 – Зони стійкого радіообміну з використанням ДЗЗНЗ

На рисунку 4.20 красним кольором визначена зона без використання ДЗЗНЗ, синім – з одним ПАЩ та чорним – з трьома ПАЩ. Наведено час, необхідний для розрахунку, та коефіцієнт покриття. 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 завад [53, 54].

Висновки по 4 розділу

1. Проведено експериментальні дослідження визначення характеристик ДЗЗНЗ на основі одного та трьох ПАЩ. Доведено, що отримані дані можна використовувати в якості вхідних для моделювання роботи КРЗ UHF діапазону НГУ з використанням ДЗЗНЗ.

2. Проведено комп'ютерне моделювання роботи КРЗ з використанням ДЗЗНЗ, яке дозволяє оцінити параметри його завадозахищеності та дослідити залежність коефіцієнту придушення радіоканалу від зміни просторових показників взаємного розташування РЕЗ.

3. IMRC дозволяє окреслити на мапі зону стійкого радіообміну засобів радіозв'язку UHF діапазону НГУ з використанням ДЗЗНЗ в умовах радіопридушення, а також обчислити оптимальну орієнтацію ДЗЗНЗ.

4. Доведено, що використання програмної моделі IMRC є ефективним у порівнянні з іншими засобами оцінки стійкості радіозв'язку підрозділів НГУ.

5. Використання методу підвищення стійкості радіоприйому в мережах зв'язку підрозділів НГУ в умовах радіопридушення дозволяє збільшити зону стійкого радіообміну у 2,3-3,71 рази.

6. Застосування програми IMRC дозволяє отримувати всі необхідні вхідні дані для планування системи радіозв'язку UHF діапазону НГУ в умовах радіопридушення.

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, просторових 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 ≈ 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 вдосконалювання, 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Національну гвардію України: Закон України від 13.03.2014 № 876-VII / Офіційний веб-сайт ВРУ. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/876-18>. – Назва з екрана.
2. Концепція технічного захисту інформації в Україні: постанова Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 1997 року № 1126 / Офіційний веб-сайт ВРУ. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1126-97-%EF>.
3. Про затвердження Інструкції з обладнання блокпоста та організації служби особовим складом Національної гвардії України: Наказ Командувача Національної гвардії України від 15.07.2014 №160.
4. Про затвердження Положення про технічне забезпечення зв'язку в Національній гвардії України: Наказ МВС України від 06 листопада 2015 р., № 1384 // Офіційний веб-сайт ВРУ. – 2015. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1499-15>.
5. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 29 листопада 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 32-34.
6. 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", Секція 2: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 22 лютого 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 112.
7. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 30 березня 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 73-76.

8. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 30 березня 2011 р.– Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 77-78.

9. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 17-18 березня 2011 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2011. – С. 42.

10. 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": тези доп. наук.-практ. конф., Хмельницький, 7 груд. 2012 р. – Хмельницький: Національна акад. ДПС ім. Б. Хмельницького. – С. 36.

11. Дослідження структури системи інформаційно-аналітичного забезпечення застосування угруповання внутрішніх військ в умовах надзвичайного стану: науково-дослідна робота / Дробаха Г. А., О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, та ін. – № держреєстрації 0113U003371 – Х., Академія внутрішніх військ, 2013.

12. Долгов О. В. Рекомендації щодо підвищення стійкості радіообміну мобільних обертів тактичної ланки управління внутрішніх військ МВС України / О. В. Долгов, О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, С. А. Орехов // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони

правопорядку: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 12-13 бер. 2014 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2014. – С. 50-51.

13. Організація і проведення комплексу спеціальних заходів щодо припинення та ліквідації масових заворушень: наук. практ. коментар: ч. 2. – К.: НАВСУ, 2004. – 286 с.

14. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 20-21 бер. 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – С. 30-32.

15. Про затвердження Настанови про дії органів, підрозділів внутрішніх справ, з'єднань, військових частин внутрішніх військ, вищих навчальних закладів МВС України з ліквідації масових заворушень: наказ МВС від 11 лист. 2003 р. № 1345. – Київ. С. 16-19.

16. Національна гвардія України, Головне Управління. Основні поняття щодо будови (обладнання) та тактики дій на блок-посту (методичні рекомендації). Київ – 2014. С. 3-4.

17. Генеральний штаб Збройних Сил України. Методичні рекомендації щодо захисту військ (сил) і військових об'єктів в пунктах постійної дислокації та в районах (місцях) виконання завдань за призначенням. Київ – 2014. С. 13-14.

18. Албул С. В. Організація і тактика несення служби на блокпостах в умовах антитерористичної операції: метод. реком. / С. В. Албул, О. Т. Ніколаєв, А. О. Шелехов. – Електрон. дан. (1 файл). – Одеса : ОДУВС, 2014. – 34 с. : іл. – Назва з титулу екрана.

19. Министерство Внутренних Дел Российской Федерации. Приказ от 6 мая 1999 г. № 340. Об утверждении Концепции развития системы связи МВД России. Москва – 2013.

20. Про Положення про порядок здійснення криптографічного захисту інформації в Україні: Указ президента України від 28.05.1998 р. № 505/98 /

Офіційний веб-сайт ВРУ. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/505/98>. – Назва з екрана.

21. Осипов А. С. Военно-техническая подготовка. Военно-технические основы построения средств и комплексов РЭП: учебник / А. С. Осипов; под науч. ред. Е. Н. Гарина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 344 с.

22. Доктрина інформаційної безпеки України: Указ Президента України від 8 липня 2009 року № 514/2009 // Офіційний вісник України. – 2009. – № 52. – С. 7.

23. Манжай О. В. Проблемні питання захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності / О. В. Манжай, В. П. Коваль, Ю. М. Онищенко // Системи обробки інформації. – 2009 – Вип. 7 (81). – С. 69-73.

24. Захист інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Створення комплексу технічного захисту інформації. Порядок розроблення та впровадження заходів із захисту інформації: НД ТЗІ 3.3-001-07. – [Чинний від 2007-12-12]. – К.: Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України, 2007. – 10 с.

25. 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.

26. 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.

27. Іохов О. Ю. Проблеми захисту інформаційного обміну в радіомережах підрозділів Національної гвардії України / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, К. М. Ткаченко // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 28 жовт. 2015 р. – Х.: НАНГУ, 2015. – С. 26–27.

28. 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.

29. Белокурський Ю. П. Захист інформації у каналах управління підрозділами внутрішніх військ МВС України / Ю. П. Белокурський, 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.

30. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 21-22 бер. 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 97.

31. Розроблення рекомендацій щодо підвищення безпеки радіомереж тактичної ланки управління ВВ МВС України: науково-дослідна робота / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, О. М. Горбов, О. О. Казіміров, М. М. Орлов, С. А. Горелишев та інші – № держреєстрації 0112U000529. – Х.: Академія внутрішніх військ, 2012.

32. Хорев А. А. Способы и средства защиты информации. – М.: МО РФ, 2000. – 316 с.

33. Хорев А. А. Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. / В 3-х томах. Т. 1. Технические каналы утечки информации. – М.: НПЦ “Аналитика”, 2008. – 436 с.

34. Іохов О. Ю. Аналіз підсистем безпеки радіомереж військового призначення / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич // Актуальні проблеми технічного забезпечення внутрішніх військ МВС України: матеріали наук.-практ. семінару, Харків, 25 квітня 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 48-49.

35. 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", Секція 1: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 22 лютого 2012 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 40-41.

36. Белокурський Ю. П. Активний екран захисту каналів радіозв'язку підрозділів внутрішніх військ / 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 28 березня 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. – С. 103-105.

37. Белокурський Ю. П. Антена системи захисту інформації / Ю. П. Белокурський, В. М. Захаров, В. Є. Козлов, О. О. Щербіна // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2011. – Вип. 17. – С. 46–50.

38. Розроблення рекомендацій щодо підвищення безпеки радіомереж тактичної ланки управління Національної гвардії України: науково-дослідна робота / О. Ю. Іохов, І. В. Кузьминич, О. М. Горбов, І. М. Майборода, М. М. Орлов, С. А. Горєлишев та інші – № держреєстрації 0115U002860. – Х.: Національна академія Національної гвардії України, 2015.

39. 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: тези доп. наук.-практ. конф., Харків, 20-21 березня 2013 р. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – С. 14-15.

40. Овсянніков В. В. Варіант захисту мовної інформації на об'єктах інформаційної діяльності / В. В. Овсянніков, С. М. Місюра, І. Р. Мальцева // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2011. - №2. – С. 84–93.

41. Ленков С. В. Методы и средства защиты информации. В 2-х томах / С. В. Ленков, Д. А. Перегрудов, В. А. Хорошко, – К.; Арий, 2008. – Том I. Несанкционированное получение информации. – 464 с.

42. Ленков С. В. Методы и средства защиты информации. В 2-х томах / С. В. Ленков, Д. А. Перегрудов, В. А. Хорошко // – К.; Арий, 2008. – Том II. Информационная безопасность. – 344 с.
43. Сабынин В. Н. Защита информации в выделенных помещениях / В. Н. Сабынин // ИНФОРМОСТ – Радиоэлектроника и Телекоммуникации. – 2002. – № 1 (19). – С. 25–28.
44. Конахович Г. Ф. Захист інформації від витоку по технічних каналах / Г. Ф. Конахович, Є. Л. Назаренко, В. М. Свириденко // Наукоємні технології. – 2009.–№ 2. – С. 90–93.
45. Современное состояние исследований малогабаритных антенн / В. П. Киселев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. – № 5. – С. 54–60.
46. Широкополосные малогабаритные антенны УКВ диапазона / В. П. Киселев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. – № 2. – С. 82–87.
47. Гордейчик С. В. Безопасность беспроводных сетей / С. В. Гордейчик, В. В. Дубовик // Москва, Горячая линия – Телеком. – 2008 – С. 100–135.
48. Куприянов А. И., Шустов Л. Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.
49. Пат. 96899 Україна, Антенний пристрій. / Ю. П. Белокурський, О. М. Горбов, О. Ю. Іохов, В. Є. Козлов, О. О. Морозов, О. О. Щербіна. – № u 2014 0922; заявка 11.08.2014 ; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.
50. 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. Антонець, В. В. Овчаренко, О. М. Горбов, І. В. Кузьминич // Честь і закон. – 2012. – № 4. – С. 40-47.
51. 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.

52. 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.

53. 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.

54. 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.

55. 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.

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

57. 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., Харьков, 15-21 сентября 2014 г.: тезисы докладов / [редкол.: А.Д. Тевяшев (отв. ред.) и др.]. – Х.: ТОВ "ДРУКАРНЯ МАДРИД", 2014. – С. 64-65.

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

59. Kuzminich I. Minimization Process of the Total Weighted Holding Time in a P2PNetwork / I. Kuzminich, K. Popovska / Problems of Infocommunications. Science and Technology (IEEE). – Kharkiv, Ukraine. 2016. – P. 154-155.
60. 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. 211-213.
61. Зюко А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, Л. В. Банкет, П. В. Иващенко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
62. Гончаренко И. В. Антенны КВ и УКВ / И. В. Гончаренко. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – ч. 1: Компьютерное моделирование. – С. 56-63.
63. Кандалов П. И. Алгоритм визуализации линий уровня двумерных скалярных полей на регулярной сетке // Программные продукты и системы – 2011. – № 4. – С. 49-51.
64. Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства: учеб. пособие / Г. Н. Кочержевский. – М.: "Связь", 1972. – 472 с.
65. Щит противоударный алюминиевый "Форт-ЩПА". – Режим доступа: <http://www.fort.vn.ua/>. – Загл. с экрана.
66. Орлов М. М. Аналіз існуючої системи управління оперативно-тактичного рівня і вплив підсистеми зв'язку на її показники. / М. М. Орлов // Зб. наук. пр. Харк. військ. у-ту. Вип. 1 (44). – Х.: ХВУ, 2003. – С. 56-60.
67. Орлов М. М. Управління військами та служба штабів при виконанні службово-бойових завдань внутрішніх військ: навч. посібник. – Х.: Інст. ВВ МВС України, 2005. – 178 с.
68. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов: учебник для ВУЗов / Игнатов В. А. – М.: Сов. Радио, 1979. – 280 с.
69. Харкевич А. А. Борьба с помехами / А. А. Харкевич. – М.: Фитматгиз, 1963. – 276 с.

70. Куприянов А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.

71. Горбов О. М. Интегральный метод побудови системи захисту радіоканалів військового призначення / О. М. Горбов // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 1 (41). – С. 92-96.

72. Алгоритм Ли. Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Ли.

73. Lorensen W. E. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm / W. E. Lorensen, H. E. Cline // Computer Graphics. Vol. 21. №. 4. July 1987.

74. Marching Squares.: - Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Marching_squares.

75. Давыдов А. Г. Возможности программы ЭДЭМ для разработки устройств антенной техники / А. Г. Давыдов, Ю. В. Пименов // Антенны. – 2006. - №10.

76. Ожиганов А. А. Теория автоматов / А. А. Ожиганов // Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 84 с.

77. Мозговой М. В. Занимательное программирование: Самоучитель. – СПб: Питер, 2005. – 208 с.

78. Пинчук С. И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем: учебное пособие / С. И. Пинчук. – Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация "Дива", 2008. – 248 с.

79. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення: стандарт. – Офіц. вид. – Електрон. текстові дані. – Введ. с 1997.01.01. – [Б. м. : б. и.]. – 1 файл; 8 с.

80. ДСТУ 3973-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво.

81. Настанова з організації зв'язку та автоматизованих систем управління внутрішніх військ МВС України: Наказ МВС України від 09.07.2010 р. № 307.

82. Барабаш Ю. Л. Основи теорії оцінювання ефективності складних систем (методологія військово-наукових досліджень): навчальний посібник. – Київ: вид. НАОУ, 1999. – 38 с.

83. Щербина Л. П. Основы теории сетей военной связи. – Л.: ВАС, 1984. – 169 с.

84. Давыденко В. П. Основы военной кибернетики/ В. П. Давыденко, Е. М. Доронин, Н. Г. Лоскутов. – Л.: ЛВВИУС, 1980. – 314 с.

85. Организация связи в объединениях. Курс лекций. Общие теоретические положения организации связи в объединениях и соединениях – Л.: ВАС, 1988. – 102 с.

86. Розрахунок параметрів систем телекомунікацій методом теорії телетрафіку: навч. посібник / Л. П. Щербіна, А. І. Біленко, А. Г. Кучеренко. – К.: ІЗМН НТУУ "КПІ". – 148 с.

87. Григоров И. Н. Все об антеннах / И. Н. Григоров. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 350 с.

88. Современное состояние исследования малогабаритных антенн / В. П. Киселев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. –1990. – №5 – С. 54–60.

89. Банков С. Е, Курушин А. А, Разевиг В. Д. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS. – Москва: Солон-Пресс, 2004. – 283 с.

90. Шишаков К. В. Моделирование антенн и элементов тракта. Ижевск: ИжГТУ, 2009. – 127 с.

91. Delphi. Complete Works of Edgar Degas// Delphi Classic. 2016. P. - 515.

92. Бузов Г. А. Защита от утечки информации по техническим каналам. - М.: Горячая линия – "Телеком", 2005. – 416 с.

93. Межгосударственный стандарт. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. ГОСТ 8.207-76. М.: – 2000.

94. Яковлев Г. П. Краткие сведения по обработке результатов физических измерений / Г. П. Яковлев. – Екатеринбург: Уральский государственный университет, 2001. – 52 с.

95. ГОСТ 8. 401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. М.: – 1982.

96. МИ 1317-86. Методические указания. Результаты и характеристики погрешности измерения (способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров). М., 1986.

97. Колесников Г. Н. Элементарные сведения об оценках ошибок измерений: конспект курса лекций / МВ и ССО РСФСР. Уральский гос. ун-т им. А. М. Горького. - Свердловск : [б. и.], 1969. - 108 с.

98. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.

99. Касандрова О. Н. Обработка результатов наблюдений: учеб. пособие / О. Н. Касандрова, В. В. Лебедев // М.: Наука, 1970. – 107 с.

100. ДСТУ В 3265-95. Зв'язок військовий. Терміни та визначення. – К., 1995. – 11 с.

101. Скворцов А. В., Мирза Н. С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006.– 168 с.

102. Применение основных способов картографического изображения // ПГУ, Полоцк / Беларусь, Кафедра геодезии и кадастров, Барадулина С. Л., 2013 г.

103. Поротов Г. С. Математические методы моделирования в геологии: учебник. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского горного института, 2006. – 223 с.

104. Клебанович Н. В., Сорокин А. А. Увлажненность территории Беларуси. // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2011. – № 1. – С. 77-81.

105. Торокин А.А. Основы инженерно-технической защиты информации. – М.: Главиздат, 2007. – 310 с.

Додаток А

Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження

ЗАТВЕРДЖУЮЗаступник керівника АТЦ при
Службі безпеки України
генерал-майор**В.В. Маліков****АКТ**

про впровадження наукових результатів дисертаційного дослідження старшого офіцера відділу планування та застосування служби організації та проведення управління спеціальних операцій Головного управління Національної гвардії України майора Кузьминича Іллі Володимировича

Комісія у складі голови комісії – заступника начальника управління спеціальних операцій Головного управління Національної гвардії України полковника Стрельченко М.А. та членів комісії – заступника командира військової частини 3077 підполковника Якимчука Л.І., заступника начальника управління департаменту контррозвідки Служби безпеки України полковника Ткаченко С.В. офіцера 2 відділу 4 служби 1 департаменту Головного управління розвідки України Міністерства оборони України капітана Стрільчука В.С. склали цей акт про те, що у діяльність управління спеціальних операцій ГУ НГУ при проведенні Антитерористичної операції впроваджені й успішно використовуються наукові результати дисертаційного дослідження майора Кузьминича І.В.:

- метод визначення зон стійкого радіообміну підрозділами Національної гвардії України (СБУ, ДПСУ, МО, МВС) в умовах радіопридушення.

Впроваджені результати мають значну практичну цінність, оскільки дозволяють надійно вести радіообмін підрозділами Національної гвардії України (СБУ, ДПСУ, МО, МВС) в умовах радіопридушення.

Голова комісії:

полковник

А.М. Стрельченко

Члени комісії:

полковник

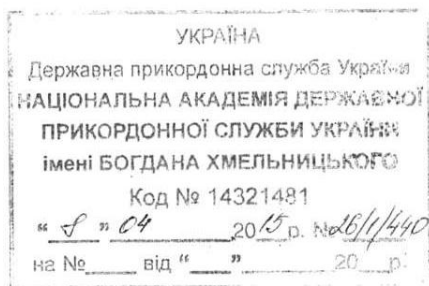
С.В. Ткаченко

підполковник

Л.І. Якимчук

капітан

В.С. Стрільчук



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник ректора Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького з навчальної та наукової роботи, доктор військових наук, старший науковий співробітник



В. А. Кириленко
2015 р.

АКТ

про впровадження наукових результатів дисертаційного дослідження старшого офіцера відділу планування та застосування служби організації та проведення управління спеціальних операцій ГУ НГУ майора Кузьминича Іллі Володимировича

Комісія у складі голови комісії – доцента кафедри зв'язку, автоматизації та захисту інформації, кандидата технічних наук, доцента, підполковника Прокопенка Є. В. та членів комісії — старшого викладача кафедри зв'язку автоматизації та захисту інформації, кандидата педагогічних наук підполковника Паращука Р. В., викладача кафедри зв'язку, автоматизації та захисту інформації підполковника Ліщенко В. В., склали цей акт про те, що у навчальну діяльність Національної академії Державної прикордонної служби України під час викладання дисциплін «Зв'язок в прикордонних підрозділах» та «Зв'язок в Державній прикордонній службі» впроваджені й успішно використовуються наукові результати дисертаційного дослідження майора Кузьминича І. В.:

- імітаційна модель радіоканалу в умовах радіопридушення, яка використовує аналітичний опис однозеркальної циліндричної параболічно направленої антени з дзеркалом стандартного протиударного алюмінієвого щита;
- метод визначення зони надійного прийому в радіомережах військового призначення в умовах радіопридушення.

Упроваджені результати мають значну практичну цінність, оскільки в умовах радіопридушення дозволяють візуалізувати процес визначення можливих варіантів розташування засобів зв'язку на місцевості протягом виконання операції.

Голова комісії:

підполковник

Є. В. Прокопенко

Члени комісії:

підполковник

Р. В. Паращук

підполковник

В. В. Ліщенко

ЗАТВЕРДЖУЮ



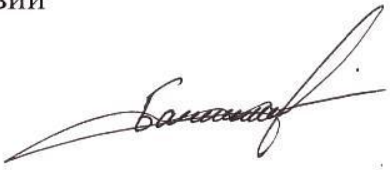

Начальник Національної академії
 Національної гвардії України
 кандидат педагогічних наук, доцент
 генерал-майор

**В.І. Пеньков****АКТ****впровадження результатів дисертаційного дослідження**

Комісія у складі: голови – заступника начальника навчально-методичного центру – начальника навчального відділу кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника полковника Кошкарова Ю. Ю., членів: завідувача кафедри управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку кандидата військових наук, доцента Майбороди І. М.; заступника начальника науково-дослідного центру – начальника науково-дослідної лабораторії СБЗ НГУ кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника полковника Бацамута В. М., провідного наукового співробітника науково-дослідної лабораторії СБЗ НГУ науково-дослідного центру, кандидата військових наук, доцента Сутюшева Т. А., визначила, що результати наукових досліджень Кузьминича І. В. за темою “Метод визначення зон стійкого радіообміну засобами радіозв'язку Національної гвардії України в умовах радіопридушення”, а саме:

- імітаційна модель радіоканалу в умовах радіопридушення;
- метод визначення зони стійкого радіообміну в умовах радіопридушення, впроваджені у науково-дослідних роботах, що проводяться у науково-дослідному центрі службово-бойової діяльності, а також у навчальний процес Національної академії Національної гвардії України і використовуються під час підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” за спеціальністю “Управління діями підрозділів діями підрозділів із

засобами військового зв'язку”.

- Голова комісії** кандидат технічних наук,
старший науковий
співробітник
полковник  Ю. Ю. Кошкаров
- Члени комісії** кандидат військових наук,
доцент  І. М. Майборода
- кандидат технічних наук,
старший науковий
співробітник
полковник  В. М. Бацамут
- кандидат військових наук,
доцент  Т. А. Сутюшев

25.08.2015

Додаток Б

Аналіз існуючих підходів до розрахунку зони придушення
радіоелектронних засобів

У комп'ютерній графіці та геоінформаційних системах для моделювання поверхонь і вирішення просторових задач широко використовується триангуляція, що є однією з базових структур обчислювальної геометрії [101].

Триангуляцію розглядають в двох напрямках:

- триангуляція полігональних областей;
- триангуляція набору точок.

Точковий опис поверхонь застосовують у тих випадках, коли поверхня дуже складна і не має гладкості, а детальне уявлення численних геометричних особливостей важливо для практики. До поверхонь такого роду можна віднести ділянки ґрунту, форми малих небесних тіл, мікрооб'єкти, зняті за допомогою електронного мікроскопа, та інші утворення зі складною формою.

Серед методів триангуляції для кінцевого набору точок, які задають поверхню, широко використовують триангуляцію Делоне, оскільки вона має низку оптимальних властивостей, відносно проста в аналізі і може бути побудована в середньому за лінійний час. Існуючі програмні комплекси, які використовують триангуляцію Делоне, на вході потребують готову таблицю поверхні, що вимагає попередніх обчислень поверхні функції $K_n(x, y, \theta_0^*)$ в усіх точках оперативної мапи. Тому розглянемо можливі алгоритмічні підходи до розв'язання задачі (3.12), які зменшують обчислювальні затрати порівняно з методом повного перебору.

Триангуляція називається триангуляцією Делоне, якщо вона є опуклою і задовольняє умові Делоне, тобто якщо всередину кола, описаного навколо будь-якого побудованого трикутника, не потрапляє жодна із заданих точок триангуляції. Триангуляція називається опуклою, якщо мінімальний

багатокутник, що охоплює всі її трикутники, є опуклим. Такий багатокутник називається опуклою оболонкою даної триангуляції.

При побудові триангуляції Делоне найважливішою операцією є перевірка виконання умови Делоне для пар трикутників. Умова Делоне полягає в тому, що всередину кола, описаного навколо деякого трикутника, не повинна потрапити жодна точка вихідного набору. Якщо така точка виявлена, то вона обов'язково є вершиною суміжного трикутника. Нехай P_1, P_2, P_3 - вершини трикутника, навколо якого описується коло; P_0 - вершина суміжного трикутника, що підлягає перевірці; $x_{P_i}, y_{P_i}, z_{P_i}$ - координати точки P_i .

$$k = x_{P_1}^2 + y_{P_1}^2;$$

$$m = x_{P_2}^2 + y_{P_2}^2;$$

$$n = x_{P_3}^2 + y_{P_3}^2;$$

$$a = x_{P_1} \cdot (y_{P_2} - y_{P_3}) + x_{P_2} \cdot (y_{P_3} - y_{P_1}) + x_{P_3} \cdot (y_{P_1} - y_{P_2});$$

$$b = k \cdot (y_{P_2} - y_{P_3}) + m \cdot (y_{P_3} - y_{P_1}) + n \cdot (y_{P_1} - y_{P_2});$$

$$c = k \cdot (x_{P_2} - x_{P_3}) + m \cdot (x_{P_3} - x_{P_1}) + n \cdot (x_{P_1} - x_{P_2});$$

$$d = k \cdot (x_{P_2} \cdot y_{P_3} - x_{P_3} \cdot y_{P_2}) + m \cdot (x_{P_3} \cdot y_{P_1} - x_{P_1} \cdot y_{P_3}) + n \cdot (x_{P_1} \cdot y_{P_2} - x_{P_2} \cdot y_{P_1}).$$

Умова Делоне не виконується при виконанні співвідношення

$$a \cdot (x_{P_0}^2 + y_{P_0}^2) - b \cdot x_{P_0} + c \cdot y_{P_0} < d$$

В цьому випадку проводиться операція перестроювання двох розглянутих трикутників, після чого трикутники вже задовольняють умові Делоне. Операція перестроювання полягає в зміні діагоналі чотирикутника, що складається з цих двох розглянутих суміжних трикутників. Перевірка умови Делоне для пари трикутників полягає в перевірці, чи не потрапляє вершина суміжного трикутника в коло, описане навколо даного трикутника.

Існує кілька способів побудови триангуляції Делоне. Всі вони зводяться до послідовного додавання точок у частково побудовану триангуляцію Делоне і перевірці умови Делоне для новоутворених трикутників. У разі невиконання цієї умови виробляються необхідні перестроювання до тих пір, поки триангуляція знову не буде повністю задовольняти умові Делоне.

Спочатку триангуляція будується на мінімальному наборі точок. При додаванні кожної нової точки визначається її місце розташування в триангуляції (локалізація) і відбувається побудова нових трикутників. При цьому можливі дві ситуації: точка, що додається, потрапляє всередину триангуляції або за її межі. У першому випадку поділу на кілька нових трикутників підлягає трикутник, всередині якого виявилася точка, що додається. У другому випадку необхідна побудова додаткових, зовнішніх до поточної триангуляції, трикутників, причому їх кількість заздалегідь не визначена, а процедура побудови досить складна. Для спрощення алгоритму додавання нової точки в триангуляцію необхідно гарантувати, що ця точка буде розташована всередині триангуляції. Для цього в якості первинного набору точок необхідно взяти тільки ті, які належать опуклій оболонці вихідної множини точок, і побудувати на цьому наборі триангуляцію Делоне. Після додавання кожної нової точки проводиться перевірка умови Делоне для всіх новостворених пар трикутників. Якщо для будь-якої пари умова не виконується, відбувається перестроювання цієї пари.

Розглянемо побудову триангуляції більш докладно. Вихідні дані задані у вигляді списку точок (вузлів майбутньої триангуляції). Кожна точка являє собою набір трьох значень: координат точки на площині і деякого значення в цій точці.

Підготовчий етап: побудова опуклої оболонки. На першому етапі побудови визначається точка, яка явно належить опуклій оболонці. Вона повинна мати максимальне значення по осі ординат. Якщо таких точок декілька, то з їх числа вибирається та, яка має мінімальне значення по осі абсцис (рисунок Б.1, точка 1). Знайдена точка додається в опуклу оболонку.

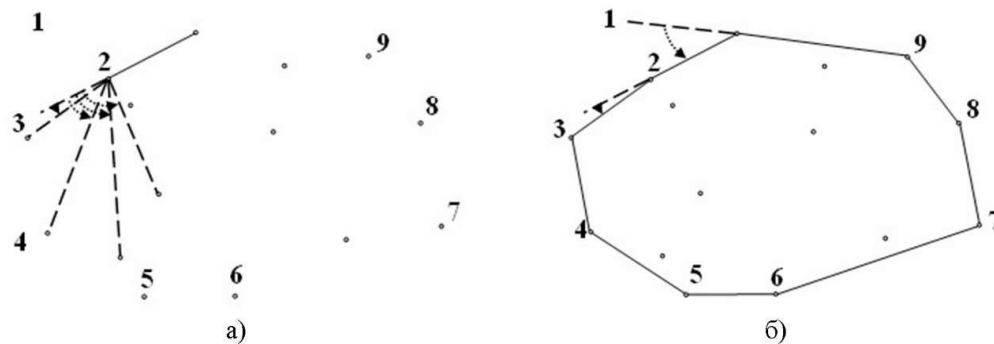


Рисунок Б.1 – Побудова опуклої оболонки

Далі відбувається процес, який називають "загортанням". Порівнюються кути між базовим вектором, що з'єднує передостанню і останню точку опуклої оболонки, і всіма можливими векторами, що з'єднують останню точку опуклої оболонки з усіма існуючими точками (рисунок Б.1 а). Треба зауважити, що на першому етапі опукла оболонка містить тільки одну точку, тому в якості базового вектора береться горизонтальний вектор довільної довжини, який спрямований вліво і приходить в точку 1.

Та точка, при розгляді якої кут між векторами виявився мінімальним, і буде наступною точкою опуклої оболонки. Процес повторюється до тих пір, поки знову знайдена точка не буде першою точкою опуклої оболонки (рисунок Б.1 б). Всі точки, що не потрапили до складу опуклої оболонки, будуть внутрішніми для цієї оболонки.

Побудова триангуляції Делоне. Початкова триангуляція Делоне будується на основі тільки тих точок, які належать опуклій оболонці. Створюються трикутники, однією з вершин яких є перша точка опуклої оболонки, а двома іншими - всі можливі пари сусідніх точок опуклої оболонки. Далі виконується перевірка виконання умови Делоне для всіх пар трикутників. Ті пари трикутників, які не задовольняють умові, - перебудовуються.

Після того як первісна триангуляція побудована, проводиться послідовне додавання точок, ще не включених до триангуляцію. Кожна нова точка локалізується, і відбувається додавання нових трикутників. Після чого

виконується процес перевірки умови Делоне для всіх новостворених пар трикутників, і здійснюються необхідні перестроювання.

Найбільш трудомістким кроком цього етапу є локалізація точки. Нелінійність залежності часу локалізації точки від кількості точок, які вже включені в триангуляцію при послідовному переборі трикутників, дуже сильно виражена. Для скорочення часу перебору застосовується метод динамічного кешування пошуку [6]. Будується кеш - спеціальна структура, що дозволяє за короткий час знайти деякий трикутник, близький до шуканого. Кеш являє собою сітку (рисунок Б.2 а), в кожній комірці якої знаходиться посилання на деякий трикутник триангуляції. Посилання комірці оновлюється в момент додавання нового або при перестроюванні вже існуючого трикутника, центр мас якого розташований в межах цієї комірки. В результаті перестроювань на якісь трикутники можуть посилатися кілька комірок, а на інші може не бути жодного посилання.

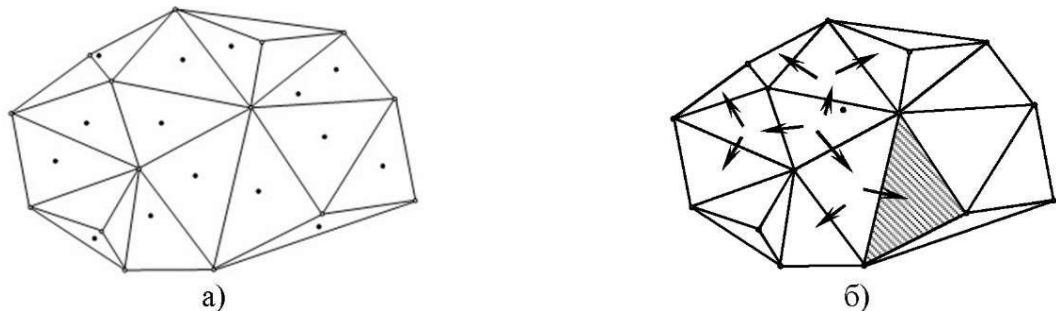


Рисунок Б.2 – Локалізація точки

- а) Кеш, чорна точка позначає посилання комірки кешу на трикутник, з якого починається локалізація точки;
- б) Процес локалізації, заштрихований трикутник - шуканий.

Далі в області знайденого трикутника проводиться пошук шуканого трикутника (рисунок Б.2 б). Алгоритм пошуку виглядає наступним чином. Перевірці підлягають трикутники, суміжні трикутнику, знайденому за допомогою кешу. Якщо серед них немає шуканого трикутника, до черги пошуку додаються ті, які є суміжними з тільки що перевіреними трикутниками,

за винятком тих, по посиланню з яких ми перейшли на дані трикутники. Процес продовжується до тих пір, поки шуканий трикутник не буде виявлений.

Для збільшення швидкості роботи кешу використовується метод динамічного кешування. Суть цього методу полягає у створенні кешу динамічно змінюваного розміру. Розмір кешу залежить від кількості точок триангуляції. При додаванні в триангуляцію нових точок і досягненні їх деякої порогової кількості, розбиття кешу збільшується в два рази по обох осях координат. При цьому інформація зі старого кешу переписується в новий. Для більшості випадкових розподілів цей алгоритм працює значно швидше багатьох інших алгоритмів.

Алгоритми побудови ізоліній з використанням триангуляції Делоне. У роботі для створення ізоліній з використанням триангуляції Делоне у графічній системі Isograph з метою ефективною побудови мереж 3G та 4G пропонується наступний алгоритм:

1. Вибираємо певне значення ізолінії h ;
2. Проводимо перевірку, щоб дізнатися чи присутній у триангуляції хоча б один вузол, у якого значення висоти збігається зі значенням ізолінії h . У разі існування такого вузла значення ізолінії зменшується на деяке маленьке значення dh і п. 2 повторюється;
3. Усі трикутники, через які проходить ізолінія зі значенням h , позначаються;
4. Відбувається пошук першого зазначеного трикутника; створюється масив для зберігання вузлів ізолінії;
5. Відстежується шлях ізолінії в обидві сторони від поточного трикутника. Знайдені вузли додаються в масив. Процес йде до тих пір, поки ізолінія не замкнеться або не вийде на границю триангуляції. З усіх трикутників, що беруть участь в обході, мітка знімається.
6. Пункти 4 і 5 повторюються до тих пір, поки не закінчатся помічені трикутники.

Недоліком розглянутих вище методів є складність алгоритмів побудови триангуляції Делоне, а також неоднозначність локалізації нових точок.

Інший підхід використовується при аналізі функцій, які задані у вузлах прямокутної сітки. Так, у роботі [102] розглядається електростатичне поле, що утворюється над пласкою граничною поверхнею із заданим розподілом напруженості. Вісь O_x належить площині граничної поверхні, а вісь O_y нормальна до неї. Область пошуку ізоліній обмежується фіктивними границями у вигляді відрізків прямих. Спочатку визначають координати першої точки ізолінії. Задавшись достатньо крупним кроком h , рухаються від реальної границі вздовж однієї з фіктивних границь, обчислюють значення функції поля та порівнюють цю величину з потенціалом, що відповідає ізолінії. Якщо ізолінія перетинає фіктивну границю, на деякому кроці буде локалізовано інтервал, якому належить точка із заданим потенціалом. Алгоритм уточнення координати цієї точки заснований на методі золотого перетину. Якщо ізолінія не перетинає фіктивну границю, відступивши на величину h в область пошуку ізоліній, рухаються вздовж прямої, паралельної фіктивній границі, повторюючи розрахунки. Після визначення першої точки ізолінії переходять до пошуку другої точки. Для цього проводять окружність з центром в першій точці ізолінії і з радіусом, що дорівнює h . Далі знаходять точку перетину шуканої ізолінії та окружності. Для цього обходять коло з деяким кутовим кроком доки не буде визначений кутовий інтервал локалізації точки із заданим потенціалом. Таких інтервалів буде два, оскільки лінія двічі перетинає окружність. Враховуючи вибраний напрямок обходу ізолінії, один з інтервалів відкидають. Далі уточнюють за допомогою алгоритму, заснованому на методі золотого перетину, координати другої точки ізолінії. Будують наступну окружність. Процедура повторюється доти, доки або екіпотенціал не вийде за границі області побудови ізоліній, або лінія не замкнеться.

У роботі [103] розглядається метод побудови ізоліній для функцій, заданих таблично на прямокутній нерівномірній сітці у довільній системі координат, однозначно пов'язаної з декартовою. Вважається, що сіткова

функція є досить гладкою. Якщо задана функція $Z(X, Y)$ в будь-якій точці прямокутної області, шукані ізолінії будуть рішенням рівняння

$$Z(x, y) = C \quad (3.23)$$

Якщо функція в заданій області не має локальних екстремумів, то рішенням будуть криві, що перетинають границю області. Якщо знайти корені рівняння (3.23) на границі області, то, відстежуючи ізолінії, що починаються в знайдених точках, можна отримати всю карту ізоліній.

Процес побудови ізолінії розбивається на етапи пошуку ізолінії (визначення початкової точки на ізолінії) і відстеження ізолінії (знаходження на ізолінії послідовності точок).

Якщо функція визначена на прямокутній області, яка має локальні екстремуми, то задача зводиться до попередньої, тобто область розбивається на прямокутні вікна, у яких локальні екстремуми є несуттєвими для картини рельєфу функції у всій області (рисунок Б.3).

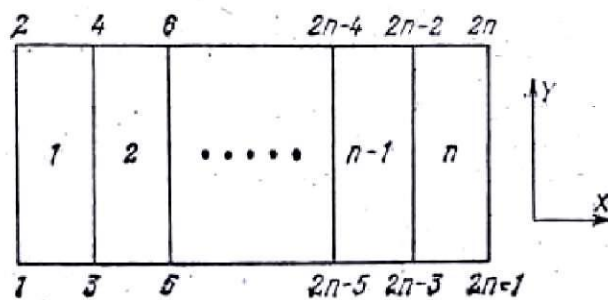


Рисунок Б.3 – Розбиття прямокутної області

Пошук коренів рівняння (3.23) на границях вікон здійснюється шляхом ділення сторін вікон на частини. Кожна частина перевіряється на наявність кореня, і якщо корінь є, то він обчислюється шляхом ділення навпіл з достатньою точністю. Таким чином, шукуються корені на границях кожного вікна. Після того як корені знайдені, проводяться ізолінії з початковими точками в цих коренях, а щоб не було повторного відстеження ізолінії, запам'ятовуються їх точки виходу на границі вікон. При виборі кореня для наступної ізолінії перевіряється його близькість до точок виходу. Якщо

виявилось, що корінь близький до точки виходу, то він відкидається і розглядається наступний.

Алгоритм відстеження ізоліній полягає у наступному. Нехай відомий корінь рівняння (3.23). Початковий напрямок лінії вибирається ортогональним до сторони вікна, на якій знайдено корінь. Нехай крок ведення лінії дорівнює S . Наступна точка лінії вибирається виходячи з умови мінімуму відхилення функції від заданого значення C в точках 1, 2, 3 (рисунок Б.4).

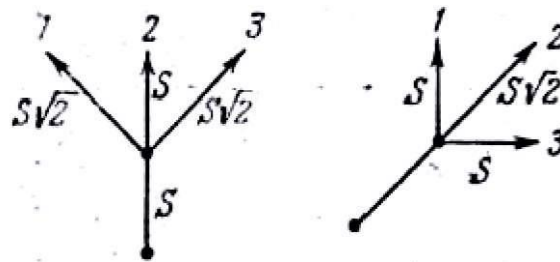


Рисунок Б.4 – Алгоритм відстеження ізоліній

У загальному випадку такий метод непридатний для функцій, лінії рівня яких мають злами, але вважається, що зменшуючи крок S можна домогтися будь-якого наближення до ідеальної ізолінії.

У роботі [103] алгоритм, який реалізується програмою ISOLIN, дозволяє будувати ізолінії для функції двох змінних $Z = Z(X, Y)$, заданої у вузлах прямокутної нерівномірної сітки $\{X_i, Y_j\}$, $i = 1, \dots, NX$, $j = 1, \dots, NY$. Двовимірною сітка розбиває область визначення функції на прямокутні комірки $(X_{i-1} \leq X \leq X_i, Y_{j-1} \leq Y \leq Y_j)$. Якщо до визначити функцію $Z = Z(X_i, Y_j)$ на ребрах комірки, використовуючи лінійну інтерполяцію, тоді лініями рівня будуть ламані, що проходять через точки перетину відрізків функції, заданих на ребрах комірок, з площинами $Z = \text{CONT}_k$, $k = 1, \dots, \text{NCN}$.

Розрізняють незамкнуті ізолінії, що починаються і закінчуються на межі області, і замкнуті лінії, що лежать цілком всередині області визначення функції. Завдання побудови ізоліній вирішується наступним чином. Для виявлення початкових точок незамкнутих ізоліній здійснюється обхід по

границі. Як тільки початкова точка виявлена, ізоляція відстежується до кінця, тобто до виходу її на границю. Після того як побудовані всі незамкнуті ізоляції, проводиться послідовний перегляд всіх горизонтальних ребер комірок для виявлення точки, що належить замкнутій ізоляції. Після виявлення такої точки, ізоляція відстежується до кінця, тобто до повернення в цю початкову точку. Як тільки побудовані всі лінії, що відповідають рівню $CONT_k$, здійснюється перехід до наступного рівня $CONT_{k+1}$ і процедура повторюється.

Щоб виключити повторне проведення ізоляцій, в процесі відстеження реєструється факт її проходження через дане ребро. При цьому вважається, що через кожне ребро не можна провести більше однієї лінії заданого рівня. Інформація про пройдені ребра зберігається і використовується для визначення кінця замкнутих ізоляцій.

При виявленні початкової точки розглядається поведінка лінії всередині комірки. Якщо лінія увійшла в клітинку, вона повинна вийти з неї через одне з інших трьох ребер. Перевіряючи співвідношення $(Z(a)-CONT_k) \cdot (Z(b)-CONT_k) \neq 0$, де a, b - граничні точки ребра, визначаємо через яке ребро лінія вийшла. Далі розглядається комірka, сусідня з цим ребром, і операція повторюється. Координати точки перетину лінії рівня з ребром знаходяться за допомогою лінійної інтерполяції. Ці координати запам'ятовуються в деякому масиві. Лінія викреслюється, коли досягнута границя області (або у випадку замкнутих ліній раніше пройдене ребро) або коли масив є заповненим.

При пошуку ліній рівня на сітці можуть виникнути неоднозначні ситуації:

- а) можливе проведення лінії рівня через всі ребра комірки;
- б) лінія проходить точно через вершину комірки.

У першому випадку можливі три способи з'єднання точок перетину ліній рівня з ребрами (рисунок Б.5)

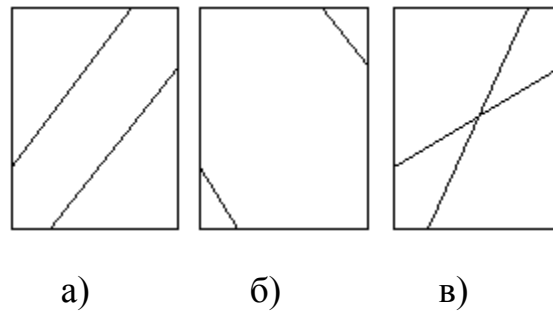


Рисунок Б.5 – Способи з'єднання точок перетину ізоліній з ребрами

Оскільки значення функції відомі тільки в чотирьох вершинах комірки, не можна сказати, яка з конфігурацій правильна. У такій ситуації пропонується вибирати варіант в). Неоднозначність другого виду призводить або до повторення лінії двічі, або до її обриву. Щоб уникнути цього, до виродженого вузла додається мале значення 10^{-5} . В результаті виродження усувається, викликаючи непомітну для ока "помилку" в ізолінії.

Доопрацьований попередній алгоритм полягає у тому, що поверхня, яка розглядається, попередньо "піднімається" у додатній напівпростір на величину $|ZMIN| + 1.0$, де $ZMIN$ - мінімальне від'ємне значення функції в області визначення або нуль. Рівні також змінюються на цю величину. Оскільки всі значення поверхні в результаті стають позитивними, проходження ізолінії через ребро відзначається присвоєнням знака мінус значенням функції у вузлах, що з'єднуються цим ребром. Таким чином вдається уникнути використання допоміжного масиву для зберігання інформації про проходження ізолінії через дане ребро. Після побудови всіх ліній рівня поверхня повертається до початкового вигляду.

При відстеженні ізолінії k -го рівня першого ребро, через яке проходить ізолінія, визначається з наступних умов:

$$Z(I+1, J) > ZIZ(K) * |Z(I, J)|$$

або

$$|Z(I+1, J)| > ZIZ(K) * Z(I, J) \neq 0,$$

де $ZIZ(K)$ - величина k -го рівня.

Відстеження ізолінії проводиться до тих пір, поки не вдасться вийти на її початок (або на границю області, якщо лінія починається на границі). Коли буферні масиви координат заповняться або ізолінія буде переглянута до кінця, вся ізолінія або частина її викреслюється. Потім проводиться перехід до обробки наступної ізолінії або до продовження поточної, якщо вона видана не повністю.

Програмна реалізація алгоритму дозволяє будувати карти ізоліній як у всій області визначення функції, так і в її підобластях. Для роботи програм потрібні два буферних масиви під координати ізолінії.

Недоліками алгоритмів є складність пошуку точок перетину ізолініями границь часткових областей, можливі неоднозначності на етапі відстеження ізоліній, обчислювальні витрати, пов'язані з обробкою буферних масивів.

Алгоритми побудови ізоліній на прямокутній сітці. Перший з них використовує метод порядкового сканування сітки з достатньо малим кроком. До суттєвих недоліків такого методу слід віднести високі обчислювальні витрати. Більш цікавий алгоритм заснований на методі трасування, який замінює зображення ламаною лінією, вибираючи досить малий крок. Кожну ланку такої ламаної можна отримати, рухаючись спочатку по дотичній до ізолінії, а потім "повертаючись" на ізолінію, тобто переходячи до найближчої точки із заданим рівнем значення функції.

Як відомо, дотична до лінії постійного рівня гладкої функції перпендикулярна вектору градієнта

$$f'(x, y) = \left(f'_x(x, y), f'_y(x, y) \right)^T,$$

складові якого – часткові похідні функції по x і y відповідно, і який визначає напрямок найшвидшого зростання функції.

Таким чином, побудова кожного відрізка ламаної, вписаної в ізолінію, складається з таких етапів:

Крок 1. Переміщення від початкової точки (X_0, Y_0) уздовж дотичної до ізолінії $f(x, y) = C$ на крок L в точку (X, Y) . Рівняння дотичної до лінії рівня в точці (X_0, Y_0) має вигляд

$$f'_x(X_0, Y_0) \cdot (X - X_0) + f'_y(X_0, Y_0) \cdot (Y - Y_0) = 0.$$

При довжині кроку L , тобто при

$$\left((X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 \right)^{1/2} = L$$

одержуємо

$$X = X_0 + R \cdot L \cdot \frac{f'_y(X_0, Y_0)}{|f'(X_0, Y_0)|},$$

$$Y = Y_0 + R \cdot L \cdot \frac{f'_x(X_0, Y_0)}{|f'(X_0, Y_0)|}.$$

Тут знак множника $R = \pm 1$ визначає напрямок обходу ізолінії: при $R = 1$ переміщення відбувається вправо від вектора градієнта, а при $R = -1$ переміщення здійснюється в зворотному напрямку.

Крок 2. Пошук точки (X_1, Y_1) із заданим рівнем $f(X_1, Y_1) = C$, найближчої до отриманої точки (X, Y) . Для цього використовується той факт, що якнайшвидша зміна значень функції відбувається по напрямку вектора градієнта. Щоб вирішити рівняння $f(X, Y) = C$ вздовж лінії градієнта, застосовується ітераційний метод Ньютона. Позначивши $t = (X, Y)^T$, ітераційний крок уздовж лінії градієнта одержують у вигляді

$$t^{k+1} = t^k + \alpha_k \cdot f'(t^k), \quad k = 1, 2, \dots$$

Тоді з урахуванням диференційованості $f(t)$

$$f(t^k + \alpha \cdot f'(t^k)) = f(t^k) + \alpha \cdot |f'(t^k)|^2 + o(\alpha).$$

Покладаючи

$$f(t^k) + \alpha_k \cdot |f'(t^k)|^2 = C$$

одержують

$$\alpha_k = \frac{C - f(t^k)}{|f'(t^k)|^2}.$$

Для того, щоб завершити побудову замкнutoї ізолінії, необхідно перед кожним переходом з точки (X_0, Y_0) у точку (X_1, Y_1) , починаючи з третього відрізка ламаної, контролювати відстань від останньої з точок $t_0 = (X_0, Y_0)^T$ до першої з початкових точок $s = (P, Q)^T$. При їх достатній близькості, наприклад, при $|t^0 - s| < 1.5L$, слід покласти $(X_1, Y_1) = s$, зобразити останній відрізок і закінчити роботу.

До недоліків даного алгоритму слід віднести використання ітераційного методу уточнення точок ізолінії, що підвищує його обчислювальну складність. Крім того, використання даного методу у рамках задачі (3.22) є неприйнятним, оскільки він потребує завдання диференційованої функції у аналітичному вигляді.

До найбільш популярних алгоритмів візуалізації скалярних полів в вигляді ліній рівня відноситься алгоритм обробки полігональної сітки ізоповерхні тривимірних скалярних полів *Marching Cubes*. Його аналогом для двовимірного скалярного поля є *алгоритм крокуючих квадратів (Marching Squares)*.

На вході алгоритм крокуючих квадратів отримує регулярну сітку, в кожному вузлі якої відомо значення поля. Далі виконуються наступні операції:

Крок 1. Для кожного вузла сітки перевіряється, чи є значення в ньому вищим, ніж на ізоповерхні. Таким вузлам приписується значення "+", решті – значення "-". В результаті отримуємо бітову маску вихідної сітки.

Крок 2. Бітова маска покривається контурною сіткою, яка складається з контурних комірок (рисунок Б.6). Кожна контурна комірка є прямокутником, що охоплює блок бітової сітки розміром 3×3 .

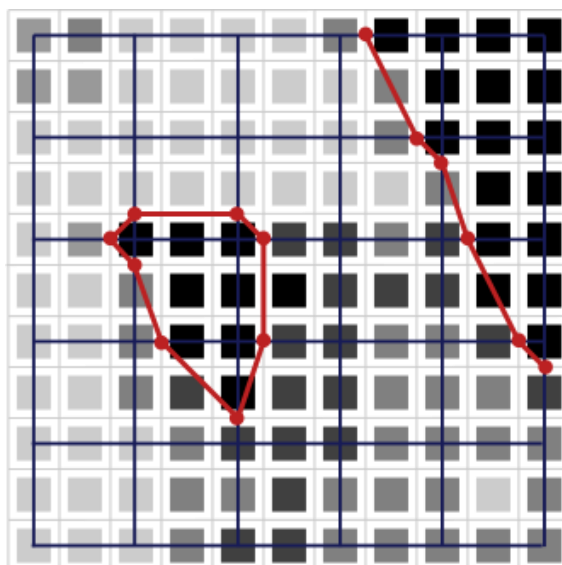


Рисунок Б.6 – Контурна сітка у алгоритмі Marching Squares

Крок 3. Для поточної контурної комірки визначається форма фрагменту ізоляції. Можливі 16 різних випадків (рисунок Б.7).

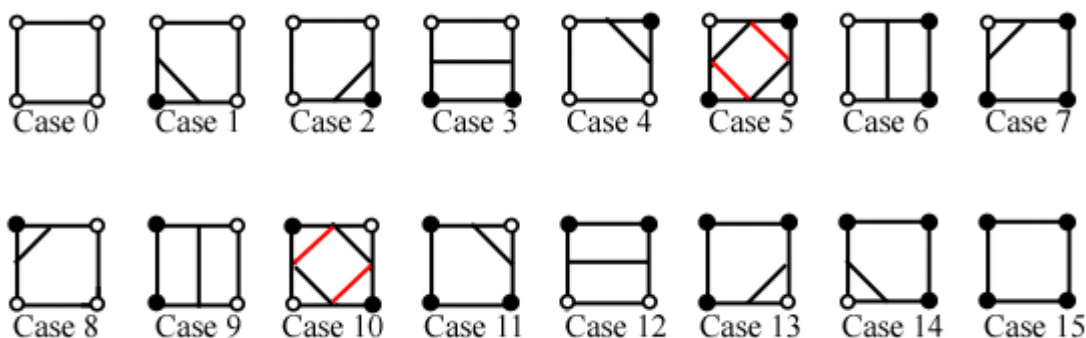
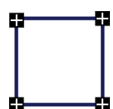
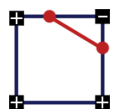


Рисунок Б.7 – Варіанти фрагментів ізоляції у контурній комірці

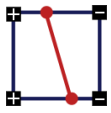
З урахуванням симетрії і поворотів усі варіанти фрагментів ізоляції можна звести до чотирьох:



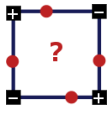
Випадок 1: всі вершини мають один знак (фрагмент ізоляції відсутній)



Випадок 2: у однієї вершини знак відрізняється (фрагмент ізоляції присутній)

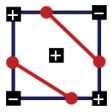


Випадок 3: вершини з однаковими знаками мають спільне ребро (фрагмент ізолінії присутній)



Випадок 4: вершини з однаковими знаками не мають спільного ребра (присутні два фрагменти ізолінії)

У четвертому випадку неможливо однозначно визначити форму сегмента ізолінії, тому додатково переглядається значення в центрі контурної комірки:



Рішення випадку 4 при позитивному значенні у центрі контурної комірки



Рішення випадку 4 при негативному значенні у центрі контурної комірки

При неможливості дізнатися значення в центрі квадрата прийняте рішення може вплинути на зв'язність ізолінії.

Крок 4. Для поліпшення якості одержуваної ізолінії застосовується лінійна інтерполяція. У такому випадку кінець сегмента ізолінії на ребрі

квадрата поділяє ребро у відношенні $\frac{f_1 - c}{c - f_2}$, де f_1, f_2 - значення на кінцях ребра квадрата, c - значення ізолінії.

Крок 5. Збереження отриманого сегменту ізолінії у підсумкову криву.

Кроки 3-5 повторюються для кожної контурної комірки.

Алгоритм Marching Squares для заданого рівня контуру дозволяє будувати ізолінії, послідовно обходячи всі комірки контурної сітки. На рівні контуру можуть бути знайдені декілька ізоліній. При послідовному обході усіх комірок контурної сітки серед знайдених точок ліній рівня неможливо однозначно зіставити точку та відповідну їй ізолінію. Для виправлення цього недоліку необхідно виконати наступні дії:

- а) знайти контурну комірку $V_{i,j}$, у якій проходить лінія рівня D_i , переглянувши контурну сітку;
- б) визначити наступну контурну комірку, у якій лінія D_i має продовження;
- в) обійти послідовно по годинниковій стрілці контурні комірки, у яких проходить лінія рівня D_i , доки не буде знайдена контурна комірка $V_{i,j}$.

Даний метод визначення ізолінії вимагає, щоб контурна лінія була замкнутою.

Перевагою алгоритму є його універсальність. До недоліків даного методу слід віднести необхідність обчислення значень поля в усіх вузлах вихідної регулярної сітки, наявність неоднозначних випадків під час класифікації фрагментів ізолінії та забезпечення замкнутості контуру ізолінії.

Класичний хвильовий метод працює на прямокутному дискретному робочому полі (ДРП), розбитому на квадратні комірки. У множині комірок ДРП визначаються вільні комірки, проходження хвилі через які дозволено; "перепони" - комірки, проходження хвилі через які заборонено; стартова та фінішна комірки, між якими треба знайти найкоротший шлях.

Метою методу є пошук найкоротшого шляху від стартової до фінісної комірки. Робота алгоритму складається з трьох етапів:

- ініціалізація;
- розповсюдження хвилі;
- прокладання шляху.

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

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 (рисунок Б.8 а).

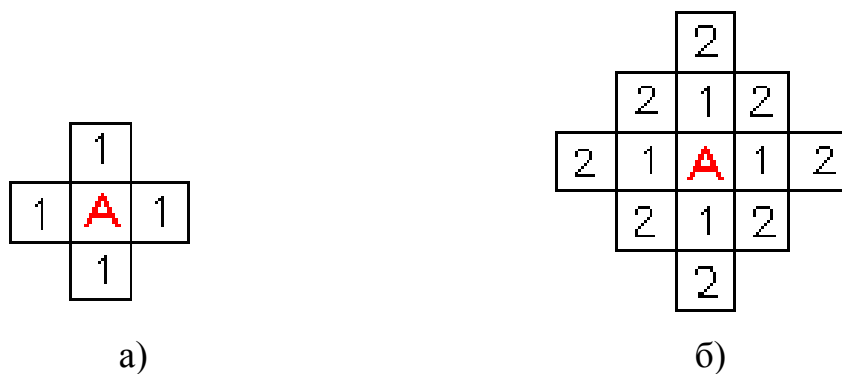


Рисунок Б.8 – Розповсюдження хвилі

Надалі кожна комірка, що отримала номер фронту, становиться стартовою, і з неї виконуються чергові кроки у сусідні комірki з утворенням наступного фронту хвилі (рисунок Б.8 б). Елементи другого фронту хвилі генерують хвилю третього фронту і т.д. Процес закінчується, коли буде досягнута фінішна комірka або утворення нового фронту хвилі стане неможливим.

Додаток В

Склад експериментальної установки

1. Генератор сигналів високочастотний РГ4-08 (рисунок В.1). Технічні характеристики:

- діапазон частот: 50-1110 МГц;
- похибка встановлення частоти: $\pm 0,1\%$;
- нестабільність частоти за 15 хвилин: $\pm 5 \cdot 10^{-5}f$;
- паразитична девіація частоти: $10^{-5}f$;
- рівень вихідної потужності: 2 Вт;
- нестабільність рівня вихідної потужності: $\pm 0,2$ дБ.



Рисунок В.1 – Генератор сигналів високочастотний РГ4-08

2. Генератор сигналів високочастотний Г4-76А (рисунок В.2). Технічні характеристики:

- діапазон частот: 400-1200 МГц;
- похибка встановлення частоти: 1%;
- нестабільність частоти: 0,01%;
- вихідна потужність: 10^{-3} - 10^{-15} Вт (калібрована) і $> 0,5$ Вт (некалібрована);
- похибка встановлення опорного рівня потужності: ± 1 дБ (75 Ом) і $\pm 1,5$ дБ (50 Ом).



Рисунок В.2 – Генератор сигналів високочастотний Г4-76А

3. Скануючий приймач AR5000A (рисунок В.3). Технічні характеристики:

- надширокий діапазон: 0,01-3000 МГц;
- програмований шаг перебудування: 1 Гц - 1 МГц, для всіх режимів;
- види модуляції: AM, FM, SSB (USB, LSB), CW;
- кількість каналів пам'яті: 1000;
- швидкість сканування: до 45 кан./сек;
- фільтр ПЧ: 3 кГц - 220 кГц;
- висока стабільність частоти (температурна нестабільність ТСХО: $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$ в діапазоні температур від 0°C до + 50°C; старіння: $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ за рік).



Рисунок В.3 – Скануючий приймач AR5000A

4. Вихідний еталон Збройних Сил України одиниці щільності потоку енергії ВЕ ЗСУ 09-00-05-09 призначений для збереження і передачі одиниці щільності потоку енергії в діапазоні частот 0,15-16,7 ГГц вимірювачам

щільності потоку енергії типу ПЗ-9, ПЗ-13 (ПО-1) з метою забезпечення єдності вимірювань в ЗСУ (рисунок В.4). Метрологічні характеристики еталона ВЕ ЗСУ 09-00-05-09:

- робочий діапазон частот, в якому забезпечується відтворення, зберігання й передача розміру одиниці щільності потоку енергії: 0,15–16,7 ГГц;
- діапазон вимірюваних та відтворюваних значень щільності потоку енергії: $0,5-100 \cdot 10^3$ мкВт/см²;
- НСП: не більше 0,6 дБ;
- СКВ результатів вимірювань: не більше 0,4 дБ.



Рисунок В.4 – Еталон щільності потоку енергії ВЕ ЗСУ 09-00-05-09

5. Перетворювач вимірювальний первинний М5-29 (рисунок В.5) застосовується для вимірювання потужності в комплекті з термісторними мостами, режими яких забезпечують нормальний робочий режим перетворювача. Технічні характеристики М5-29:

- температура: 243-323 К (від -30°C до +50°C);
- відносна вологість: 98% при 313 К (29°C);
- діапазон частот: 0,03-1,0 ГГц;
- рознімання: тип VIII;
- хвильовий опір: 75 Ом;
- КЕФ в діапазоні частот: 0,9;

- КСВН входу в діапазоні частот: не більше 1,3;
- максимальна вимірювальна потужність: 7,5 мВт.



Рисунок В.5 – Перетворювач вимірювальний первинний М5-29

6. Вимірювач потужності термісторний М2-22А (рисунок В.6). Технічні характеристики прибою:

- діапазон частот: 0,03-53,6 ГГц;
- межі вимірювальної потужності: 1 мкВт-10 мВт;
- межі допустимої основної похибки вимірювань прибором без перетворювача: $\pm(0,8+0,2 P_k / P_x) \%$ (10 мкВт), $\pm(0,3+0,2 P_k / P_x) \%$ (100 мкВт; 1 і 10 мВт);
- КСВН в залежності від діапазону частот: менше 1,7;
- загальна похибка вимірювача в залежності від діапазону частот і межі вимірювання: 10%; 15%; 25%;
- потужність, що споживається: 25 Вт.



Рисунок В.6 – Вимірювач потужності термісторний М2-22А

7. Щит "Вітраж" та антени штатних радіостанцій Kenwood (рисунок В.7):



Рисунок В.7 – Щит "Вітраж"; антени штатних радіостанцій Kenwood

8. Поворотний вимірювальний механізм - лімб (рисунок В.8):



Рисунок В.8 – Поворотний вимірювальний механізм (лімб)

9. Пристрій для вимірювання фокусної відстані (рисунок В.9):



Рисунок В.9 – Пристрій для вимірювання фокусної відстані

10. Персональна ЕОМ (рисунок В.10):

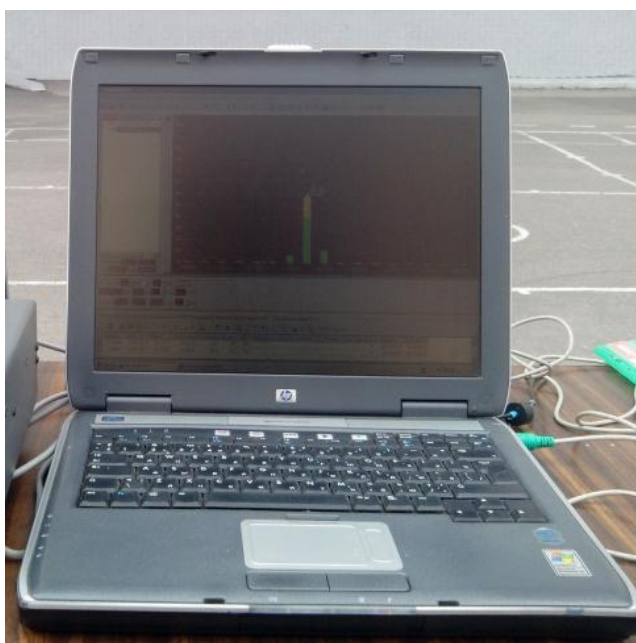


Рисунок В.10 – ПЕОМ

Експериментальна установка складається з двох частин – випромінювальної (рисунок В.11, В.12) та вимірювальної (рисунок В.13).



Рисунок В.11 – Випромінювальна частина експериментальної установки (перший етап)



Рисунок В.12 – Випромінювальна частина експериментальної установки (другий етап)



Рисунок В.13 – Вимірювальна частина експериментальної установки

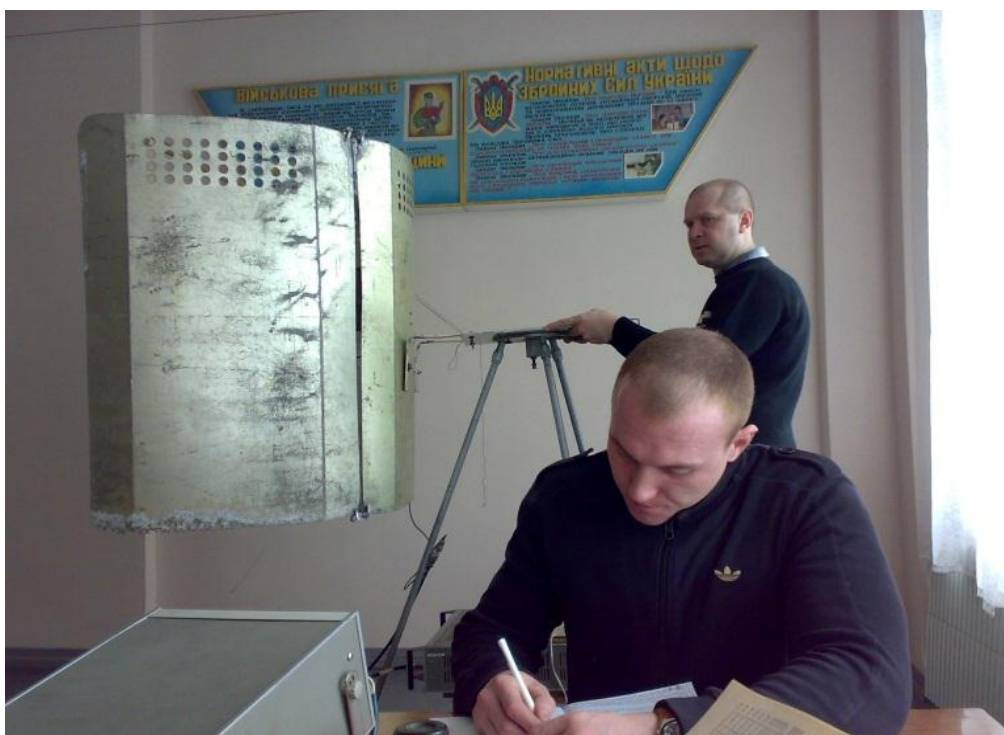


Рисунок В.14 – Фіксація результатів вимірювання

Додаток Г

Розміри протиударного алюмінієвого щита

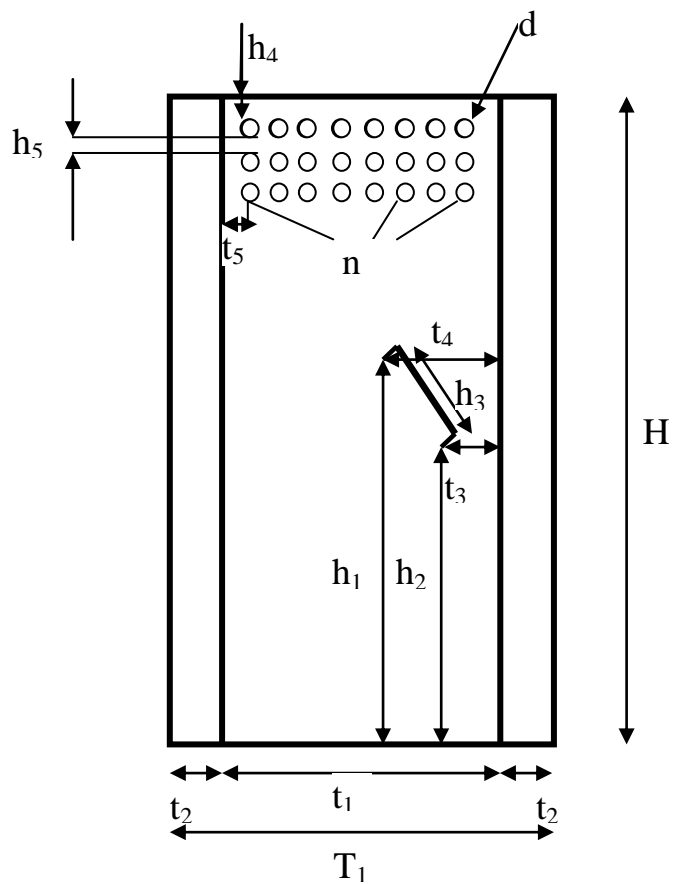


Рисунок Г.1 – Схема одного ПАЩ по фронту

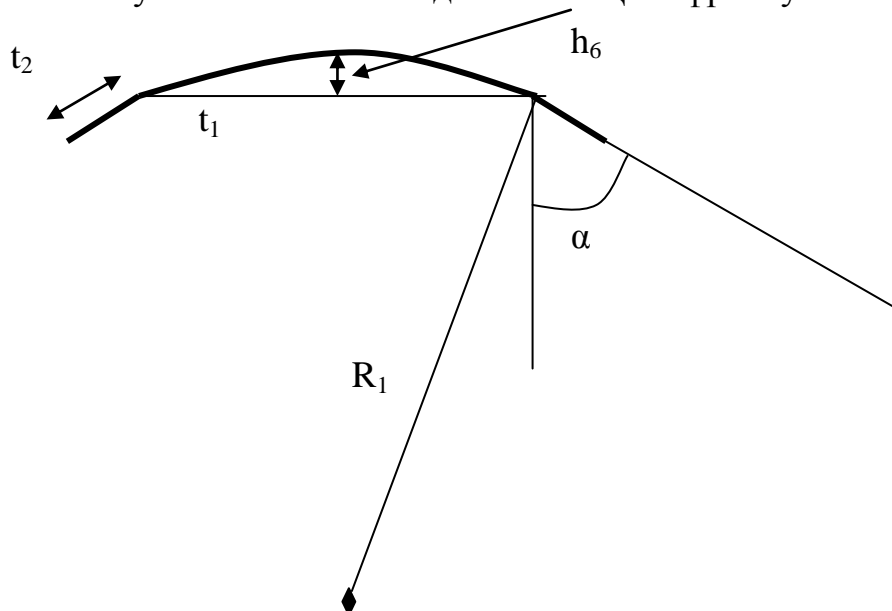


Рисунок Г.2 – Схема одного ПАЩ у верхній проекції

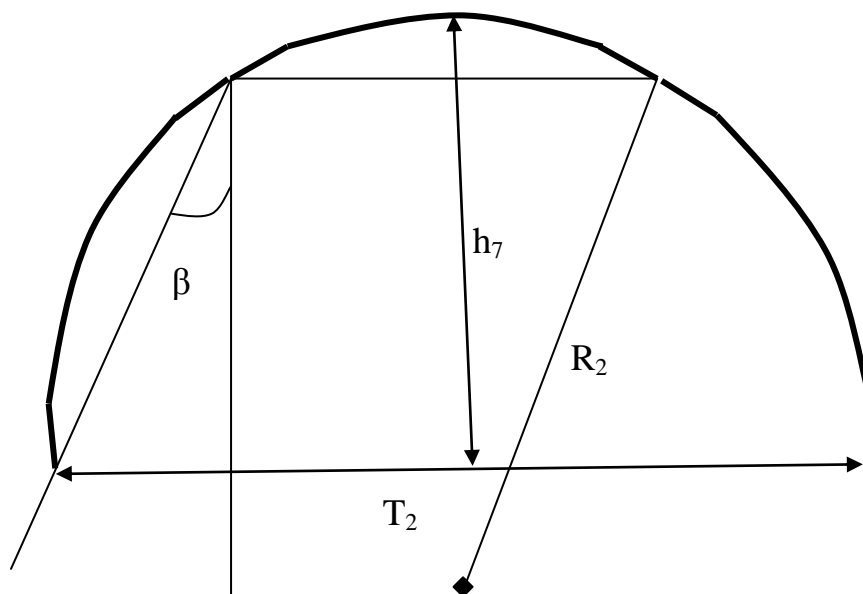


Рисунок Г.3 – Схема трьох ПАЩ у верхній проекції

Таблиця Г.1. Значення розмірів ПАЩ

| Висота і довжина, см | Відстань, см | Кругові параметри, см |
|----------------------|----------------------|-----------------------|
| H=100 | T ₁ =62 | R ₁ =53 |
| h ₁ =74 | T ₂ =120 | R ₂ =62,5 |
| h ₂ =60 | t ₁ =43 | α=48 |
| h ₃ =15,5 | t ₂ =11,5 | β=32 |
| h ₄ =5,5 | t ₃ =3 | d=2 |
| h ₅ =1 | t ₄ =9 | |
| h ₆ =5 | t ₅ =4,5 | |
| h ₇ =60 | | |

Додаток Д

Результати експериментальних досліджень

Таблиця Д.1 – Експериментальні дані ДС вібратора

| Θ, град | Вібратор, Р, мкВт | | | Р _{ср.} , мкВт | СКВРВ, мкВт | ρ _х , дБ |
|--------------------|-------------------|-------|-------|-------------------------|-------------|---------------------|
| 0 | 0,091 | 0,088 | 0,089 | 0,089 | 0,0009 | 19,510 |
| 10 | 0,112 | 0,107 | 0,110 | 0,110 | 0,0015 | 20,401 |
| 20 | 0,113 | 0,116 | 0,111 | 0,113 | 0,0015 | 20,544 |
| 30 | 0,117 | 0,118 | 0,122 | 0,119 | 0,0015 | 20,755 |
| 40 | 0,121 | 0,126 | 0,122 | 0,123 | 0,0015 | 20,899 |
| 50 | 0,135 | 0,135 | 0,132 | 0,134 | 0,0010 | 21,271 |
| 60 | 0,152 | 0,153 | 0,149 | 0,151 | 0,0012 | 21,799 |
| 70 | 0,177 | 0,180 | 0,180 | 0,179 | 0,0010 | 22,525 |
| 80 | 0,185 | 0,179 | 0,179 | 0,181 | 0,0020 | 22,566 |
| 90 | 0,184 | 0,181 | 0,182 | 0,182 | 0,0009 | 22,617 |
| 100 | 0,185 | 0,187 | 0,190 | 0,187 | 0,0015 | 22,726 |
| 110 | 0,172 | 0,174 | 0,176 | 0,174 | 0,0012 | 22,413 |
| 120 | 0,175 | 0,177 | 0,172 | 0,175 | 0,0015 | 22,418 |
| 130 | 0,161 | 0,157 | 0,160 | 0,159 | 0,0012 | 22,023 |
| 140 | 0,153 | 0,153 | 0,150 | 0,152 | 0,0010 | 21,818 |
| 150 | 0,120 | 0,122 | 0,120 | 0,121 | 0,0007 | 20,816 |
| 160 | 0,120 | 0,124 | 0,120 | 0,121 | 0,0013 | 20,840 |
| 170 | 0,109 | 0,111 | 0,111 | 0,110 | 0,0007 | 20,427 |
| 180 | 0,105 | 0,103 | 0,104 | 0,104 | 0,0006 | 20,170 |
| 190 | 0,095 | 0,097 | 0,094 | 0,095 | 0,0009 | 19,494 |
| 200 | 0,123 | 0,117 | 0,119 | 0,120 | 0,0018 | 19,792 |
| 210 | 0,224 | 0,220 | 0,218 | 0,221 | 0,0018 | 20,780 |
| 220 | 0,221 | 0,217 | 0,218 | 0,219 | 0,0012 | 23,437 |
| 230 | 0,402 | 0,397 | 0,401 | 0,400 | 0,0015 | 23,398 |
| 240 | 0,422 | 0,422 | 0,422 | 0,422 | 0,0000 | 26,021 |
| 250 | 0,607 | 0,604 | 0,606 | 0,606 | 0,0009 | 26,253 |
| 260 | 0,621 | 0,617 | 0,619 | 0,619 | 0,0012 | 27,822 |
| 270 | 0,533 | 0,532 | 0,536 | 0,534 | 0,0012 | 27,917 |
| 280 | 0,462 | 0,464 | 0,463 | 0,463 | 0,0006 | 27,273 |
| 290 | 0,408 | 0,413 | 0,410 | 0,410 | 0,0015 | 26,656 |
| 300 | 0,423 | 0,426 | 0,428 | 0,426 | 0,0015 | 26,131 |
| 310 | 0,232 | 0,229 | 0,230 | 0,230 | 0,0009 | 26,291 |
| 320 | 0,209 | 0,208 | 0,210 | 0,209 | 0,0006 | 23,624 |
| 330 | 0,114 | 0,113 | 0,116 | 0,114 | 0,0009 | 23,201 |
| 340 | 0,089 | 0,093 | 0,090 | 0,091 | 0,0012 | 20,582 |
| 350 | 0,101 | 0,098 | 0,103 | 0,101 | 0,0015 | 19,574 |
| 360 | 0,095 | 0,097 | 0,094 | 0,095 | 0,0009 | 20,029 |
| максСКВРВ = 0,0020 | | | | | | |

Таблиця Д.2 – Експериментальні дані для визначення фокусної відстані

| f, см | P, мкВт | ρ_x , дБ |
|-------|----------|---------------|
| 15 | 0,183908 | 22,64601 |
| 16 | 0,275862 | 24,40692 |
| 17 | 0,413793 | 26,16783 |
| 18 | 0,436782 | 26,40264 |
| 19 | 0,413793 | 26,16783 |
| 20 | 0,45977 | 26,62541 |
| 21 | 0,413793 | 26,16783 |
| 22 | 0,390805 | 25,9196 |
| 23 | 0,367816 | 25,65631 |
| 24 | 0,091954 | 19,63571 |
| 25 | 0,068966 | 18,38632 |

Таблиця Д.3 – Експериментальні дані ДС одного щита

| Θ, град | Вібратор, Р, мкВт | | | Р _{ср} , мкВт | СКВРВ, мкВт | ρ _х , дБ |
|--------------------|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------|---------------------|
| | | | | | | |
| 0 | 0,171 | 0,167 | 0,164 | 0,167 | 0,0020 | 22,236 |
| 10 | 0,140 | 0,139 | 0,146 | 0,142 | 0,0022 | 21,513 |
| 20 | 0,114 | 0,108 | 0,104 | 0,109 | 0,0029 | 20,361 |
| 30 | 0,111 | 0,113 | 0,117 | 0,114 | 0,0018 | 20,556 |
| 40 | 0,120 | 0,129 | 0,128 | 0,126 | 0,0028 | 20,994 |
| 50 | 0,134 | 0,139 | 0,139 | 0,137 | 0,0017 | 21,378 |
| 60 | 0,149 | 0,154 | 0,149 | 0,151 | 0,0017 | 21,78 |
| 70 | 0,174 | 0,179 | 0,176 | 0,176 | 0,0015 | 22,46 |
| 80 | 0,185 | 0,180 | 0,181 | 0,182 | 0,0015 | 22,59 |
| 90 | 0,183 | 0,182 | 0,181 | 0,182 | 0,0006 | 22,609 |
| 100 | 0,190 | 0,186 | 0,184 | 0,187 | 0,0018 | 22,711 |
| 110 | 0,174 | 0,174 | 0,174 | 0,174 | 0,0000 | 22,413 |
| 120 | 0,171 | 0,173 | 0,172 | 0,172 | 0,0006 | 22,351 |
| 130 | 0,174 | 0,173 | 0,170 | 0,172 | 0,0012 | 22,355 |
| 140 | 0,169 | 0,161 | 0,172 | 0,167 | 0,0033 | 22,239 |
| 150 | 0,164 | 0,162 | 0,166 | 0,164 | 0,0012 | 22,148 |
| 160 | 0,156 | 0,157 | 0,155 | 0,156 | 0,0006 | 21,929 |
| 170 | 0,141 | 0,139 | 0,141 | 0,140 | 0,0007 | 21,472 |
| 180 | 0,138 | 0,140 | 0,140 | 0,139 | 0,0007 | 21,441 |
| 190 | 0,133 | 0,129 | 0,128 | 0,130 | 0,0015 | 21,139 |
| 200 | 0,051 | 0,049 | 0,049 | 0,050 | 0,0007 | 16,961 |
| 210 | 0,040 | 0,042 | 0,040 | 0,041 | 0,0007 | 16,092 |
| 220 | 0,302 | 0,301 | 0,299 | 0,301 | 0,0009 | 24,781 |
| 230 | 0,456 | 0,450 | 0,450 | 0,452 | 0,0020 | 26,551 |
| 240 | 0,588 | 0,590 | 0,590 | 0,589 | 0,0007 | 27,704 |
| 250 | 0,619 | 0,619 | 0,617 | 0,618 | 0,0007 | 27,912 |
| 260 | 0,535 | 0,533 | 0,535 | 0,534 | 0,0007 | 27,278 |
| 270 | 0,464 | 0,461 | 0,464 | 0,463 | 0,0010 | 26,656 |
| 280 | 0,438 | 0,432 | 0,438 | 0,436 | 0,0020 | 26,395 |
| 290 | 0,429 | 0,423 | 0,424 | 0,425 | 0,0019 | 26,287 |
| 300 | 0,310 | 0,309 | 0,309 | 0,309 | 0,0003 | 24,904 |
| 310 | 0,209 | 0,208 | 0,211 | 0,209 | 0,0009 | 23,208 |
| 320 | 0,113 | 0,113 | 0,115 | 0,114 | 0,0007 | 20,556 |
| 330 | 0,076 | 0,074 | 0,074 | 0,075 | 0,0007 | 18,731 |
| 340 | 0,079 | 0,081 | 0,080 | 0,080 | 0,0006 | 19,031 |
| 350 | 0,145 | 0,141 | 0,145 | 0,144 | 0,0013 | 21,574 |
| 360 | 0,170 | 0,168 | 0,165 | 0,168 | 0,0015 | 22,244 |
| максСКВРВ = 0,0033 | | | | | | |

Таблиця Д.4 – Експериментальні дані ДС дзеркала з трьох щитів

| Θ, град | Вібратор, Р, мкВт | | | Р _{ср} , мкВт | СКВРВ, мкВт | ρ _х , дБ |
|---------|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------|---------------------|
| | | | | | | |
| 0 | 0,019 | 0,021 | 0,017 | 0,019 | 0,0012 | 22,236 |
| 10 | 0,031 | 0,030 | 0,033 | 0,031 | 0,0009 | 21,513 |
| 20 | 0,027 | 0,032 | 0,028 | 0,029 | 0,0015 | 20,361 |
| 30 | 0,058 | 0,061 | 0,062 | 0,060 | 0,0012 | 20,556 |
| 40 | 0,068 | 0,067 | 0,071 | 0,069 | 0,0012 | 20,994 |
| 50 | 0,072 | 0,070 | 0,067 | 0,070 | 0,0015 | 21,378 |
| 60 | 0,049 | 0,050 | 0,053 | 0,051 | 0,0012 | 21,780 |
| 70 | 0,037 | 0,037 | 0,040 | 0,038 | 0,0010 | 22,460 |
| 80 | 0,031 | 0,027 | 0,027 | 0,028 | 0,0013 | 22,590 |
| 90 | 0,037 | 0,040 | 0,041 | 0,039 | 0,0012 | 22,609 |
| 100 | 0,037 | 0,037 | 0,039 | 0,038 | 0,0007 | 22,711 |
| 110 | 0,030 | 0,028 | 0,031 | 0,030 | 0,0009 | 22,413 |
| 120 | 0,038 | 0,040 | 0,041 | 0,040 | 0,0009 | 22,351 |
| 130 | 0,053 | 0,050 | 0,052 | 0,052 | 0,0009 | 22,355 |
| 140 | 0,039 | 0,039 | 0,037 | 0,038 | 0,0007 | 22,239 |
| 150 | 0,030 | 0,028 | 0,030 | 0,029 | 0,0007 | 22,148 |
| 160 | 0,032 | 0,032 | 0,031 | 0,032 | 0,0003 | 21,929 |
| 170 | 0,040 | 0,043 | 0,041 | 0,041 | 0,0009 | 21,472 |
| 180 | 0,019 | 0,021 | 0,017 | 0,019 | 0,0012 | 21,441 |
| 190 | 0,140 | 0,138 | 0,137 | 0,138 | 0,0009 | 21,139 |
| 200 | 0,039 | 0,043 | 0,037 | 0,040 | 0,0018 | 16,961 |
| 210 | 0,061 | 0,063 | 0,057 | 0,060 | 0,0018 | 16,092 |
| 220 | 0,153 | 0,157 | 0,154 | 0,155 | 0,0012 | 24,781 |
| 230 | 0,274 | 0,270 | 0,273 | 0,272 | 0,0012 | 26,551 |
| 240 | 0,497 | 0,497 | 0,499 | 0,498 | 0,0007 | 27,704 |
| 250 | 0,658 | 0,661 | 0,660 | 0,660 | 0,0009 | 27,912 |
| 260 | 0,851 | 0,853 | 0,856 | 0,853 | 0,0015 | 27,278 |
| 270 | 0,981 | 0,976 | 0,976 | 0,978 | 0,0017 | 26,656 |
| 280 | 0,835 | 0,838 | 0,839 | 0,837 | 0,0012 | 26,395 |
| 290 | 0,643 | 0,642 | 0,639 | 0,641 | 0,0012 | 26,287 |
| 300 | 0,502 | 0,501 | 0,501 | 0,501 | 0,0003 | 24,904 |
| 310 | 0,421 | 0,423 | 0,419 | 0,421 | 0,0012 | 23,208 |
| 320 | 0,281 | 0,282 | 0,283 | 0,282 | 0,0006 | 20,556 |
| 330 | 0,141 | 0,143 | 0,138 | 0,141 | 0,0015 | 18,731 |
| 340 | 0,057 | 0,061 | 0,059 | 0,059 | 0,0012 | 19,031 |
| 350 | 0,038 | 0,043 | 0,040 | 0,040 | 0,0015 | 21,574 |
| 360 | 0,030 | 0,028 | 0,033 | 0,030 | 0,0015 | 22,244 |

максСКВРВ = 0,0018

Таблиця Д.5 – Експериментальні дані для визначення фокусної відстані ДЗЗНЗ з трьох щитів

| f, см | Вібратор, P, мкВт | | | P _{ср} , мкВт | СКВРВ, мкВт | ρ _x , дБ |
|--------------------|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------|---------------------|
| 10,0 | 0,130 | 0,132 | 0,129 | 0,130 | 0,0009 | 21,110 |
| 10,5 | 0,158 | 0,158 | 0,162 | 0,159 | 0,0013 | 22,060 |
| 11,0 | 0,132 | 0,128 | 0,133 | 0,131 | 0,0015 | 21,130 |
| 11,5 | 0,092 | 0,089 | 0,089 | 0,090 | 0,0010 | 19,560 |
| 12,0 | 0,069 | 0,067 | 0,073 | 0,070 | 0,0018 | 18,430 |
| 12,5 | 0,018 | 0,019 | 0,021 | 0,019 | 0,0009 | 12,710 |
| 13,0 | 0,008 | 0,013 | 0,007 | 0,009 | 0,0019 | 9,850 |
| 13,5 | 0,077 | 0,081 | 0,081 | 0,080 | 0,0013 | 19,010 |
| 14,0 | 0,170 | 0,168 | 0,172 | 0,170 | 0,0012 | 22,280 |
| 14,5 | 0,067 | 0,069 | 0,067 | 0,068 | 0,0007 | 18,410 |
| 15,0 | 0,183 | 0,178 | 0,180 | 0,180 | 0,0015 | 22,540 |
| 15,5 | 0,429 | 0,432 | 0,429 | 0,430 | 0,0010 | 26,330 |
| 16,0 | 0,601 | 0,598 | 0,599 | 0,599 | 0,0009 | 27,800 |
| 16,5 | 0,970 | 0,967 | 0,969 | 0,969 | 0,0009 | 29,880 |
| 17,0 | 0,988 | 0,992 | 0,989 | 0,990 | 0,0012 | 29,960 |
| 17,5 | 0,980 | 0,977 | 0,980 | 0,979 | 0,0010 | 29,910 |
| 18,0 | 0,878 | 0,883 | 0,882 | 0,881 | 0,0015 | 29,440 |
| 18,5 | 0,479 | 0,477 | 0,478 | 0,478 | 0,0006 | 26,790 |
| 19,0 | 0,382 | 0,377 | 0,377 | 0,379 | 0,0017 | 25,800 |
| 19,5 | 0,081 | 0,083 | 0,080 | 0,081 | 0,0009 | 19,070 |
| 20,0 | 0,041 | 0,040 | 0,038 | 0,040 | 0,0009 | 16,160 |
| 20,5 | 0,182 | 0,183 | 0,181 | 0,182 | 0,0006 | 22,580 |
| 21,0 | 0,152 | 0,147 | 0,149 | 0,149 | 0,0015 | 21,740 |
| 21,5 | 0,180 | 0,181 | 0,182 | 0,181 | 0,0006 | 22,520 |
| 22,0 | 0,028 | 0,032 | 0,032 | 0,031 | 0,0013 | 14,770 |
| максСКВРВ = 0,0019 | | | | | | |

Таблиця Д.6 – Дані ДС вібратору штатного засобу радіозв'язку

| θ, град | Вібратор, P, дБ (В/м) | | | | | | | | | | СКВРВ, мкВт | μ |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | | |
| 0 | 0,157 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,158 | 0,155 | 0,159 | 0,156 | 0,155 | 0,157 | 0,0007 | 0,1566 |
| 10 | 0,153 | 0,152 | 0,154 | 0,153 | 0,152 | 0,155 | 0,153 | 0,154 | 0,153 | 0,155 | 0,0002 | 0,1543 |
| 20 | 0,158 | 0,157 | 0,156 | 0,159 | 0,158 | 0,156 | 0,157 | 0,159 | 0,156 | 0,158 | 0,0005 | 0,1574 |
| 30 | 0,154 | 0,153 | 0,155 | 0,154 | 0,153 | 0,152 | 0,154 | 0,153 | 0,155 | 0,154 | 0,0003 | 0,1538 |
| 40 | 0,156 | 0,155 | 0,154 | 0,156 | 0,157 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,158 | 0,156 | 0,0005 | 0,1564 |
| 50 | 0,148 | 0,147 | 0,145 | 0,147 | 0,148 | 0,144 | 0,146 | 0,147 | 0,148 | 0,147 | 0,0003 | 0,1467 |
| 60 | 0,143 | 0,144 | 0,142 | 0,145 | 0,143 | 0,142 | 0,145 | 0,143 | 0,141 | 0,144 | 0,0006 | 0,1429 |
| 70 | 0,156 | 0,157 | 0,155 | 0,157 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,157 | 0,156 | 0,154 | 0,0003 | 0,1553 |
| 80 | 0,156 | 0,157 | 0,155 | 0,157 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,157 | 0,156 | 0,154 | 0,0003 | 0,1553 |
| 90 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,153 | 0,0003 | 0,1541 |
| 100 | 0,158 | 0,157 | 0,156 | 0,158 | 0,155 | 0,157 | 0,158 | 0,156 | 0,157 | 0,158 | 0,0003 | 0,1574 |
| 110 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,153 | 0,154 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,0003 | 0,1546 |
| 120 | 0,159 | 0,157 | 0,156 | 0,158 | 0,157 | 0,159 | 0,156 | 0,158 | 0,159 | 0,157 | 0,0005 | 0,1576 |
| 130 | 0,154 | 0,152 | 0,153 | 0,155 | 0,154 | 0,153 | 0,155 | 0,154 | 0,155 | 0,154 | 0,0002 | 0,1547 |
| 140 | 0,158 | 0,157 | 0,156 | 0,158 | 0,155 | 0,157 | 0,158 | 0,156 | 0,157 | 0,158 | 0,0003 | 0,1574 |
| 150 | 0,153 | 0,152 | 0,151 | 0,154 | 0,155 | 0,153 | 0,152 | 0,153 | 0,154 | 0,153 | 0,0003 | 0,1535 |
| 160 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,153 | 0,154 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,0003 | 0,1546 |
| 170 | 0,152 | 0,151 | 0,154 | 0,153 | 0,152 | 0,151 | 0,152 | 0,153 | 0,151 | 0,154 | 0,0003 | 0,1526 |
| 180 | 0,156 | 0,154 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,153 | 0,0003 | 0,1541 |
| максСКВРВ = 0,0007 | | | | | | | | | | | | |

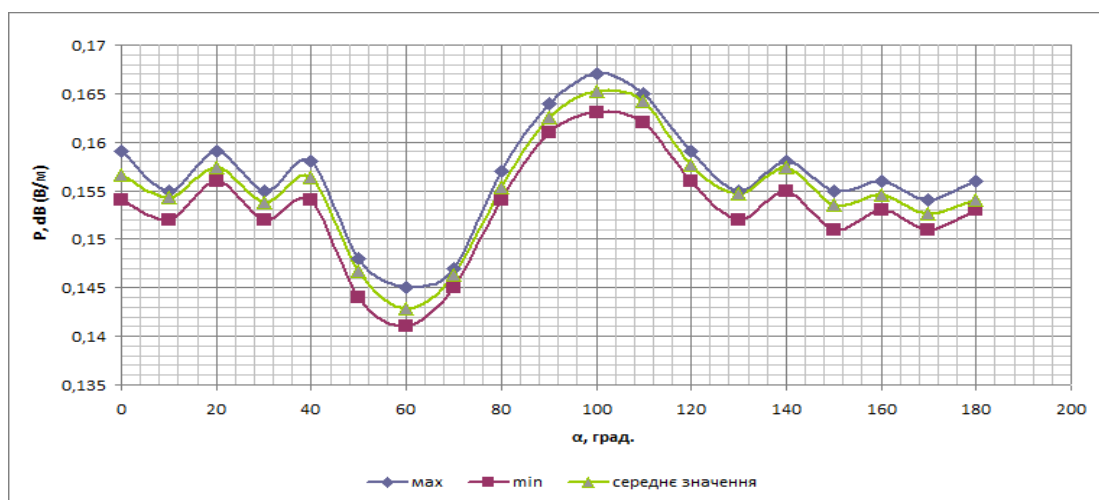


Рисунок Д.1 – ДС в декартовій системі координат для одного щита

Таблиця Д.7 – Дані ДС імпровізованого антенного пристрою з одного щита

| θ, град | Один щит, P, дБ (В/м) | | | | | | | | | | СКВРВ, мкВт | μ |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|
| | 0,021 | 0,022 | 0,021 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | 0,024 | 0,022 | 0,021 | 0,023 | | |
| 0 | 0,021 | 0,022 | 0,021 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | 0,024 | 0,022 | 0,021 | 0,023 | 0,0005 | 0,0226 |
| 10 | 0,013 | 0,012 | 0,012 | 0,014 | 0,013 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,012 | 0,011 | 0,0004 | 0,0118 |
| 20 | 0,008 | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,007 | 0,0004 | 0,0076 |
| 30 | 0,016 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,014 | 0,014 | 0,016 | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 0,0005 | 0,0146 |
| 40 | 0,063 | 0,061 | 0,063 | 0,062 | 0,064 | 0,061 | 0,062 | 0,063 | 0,061 | 0,064 | 0,0003 | 0,0626 |
| 50 | 0,156 | 0,154 | 0,156 | 0,155 | 0,157 | 0,154 | 0,155 | 0,156 | 0,154 | 0,156 | 0,0003 | 0,1552 |
| 60 | 0,243 | 0,242 | 0,241 | 0,245 | 0,243 | 0,243 | 0,244 | 0,241 | 0,245 | 0,243 | 0,0007 | 0,2436 |
| 70 | 0,324 | 0,322 | 0,321 | 0,324 | 0,323 | 0,322 | 0,321 | 0,325 | 0,323 | 0,322 | 0,0006 | 0,3226 |
| 80 | 0,318 | 0,317 | 0,319 | 0,317 | 0,318 | 0,316 | 0,319 | 0,317 | 0,316 | 0,315 | 0,0005 | 0,3158 |
| 90 | 0,295 | 0,296 | 0,294 | 0,295 | 0,296 | 0,295 | 0,293 | 0,295 | 0,296 | 0,297 | 0,0005 | 0,2957 |
| 100 | 0,283 | 0,284 | 0,282 | 0,285 | 0,283 | 0,284 | 0,282 | 0,284 | 0,283 | 0,284 | 0,0003 | 0,2835 |
| 110 | 0,246 | 0,245 | 0,246 | 0,246 | 0,247 | 0,246 | 0,245 | 0,246 | 0,246 | 0,247 | 0,0002 | 0,2464 |
| 120 | 0,152 | 0,151 | 0,154 | 0,153 | 0,152 | 0,154 | 0,151 | 0,152 | 0,153 | 0,155 | 0,0003 | 0,1536 |
| 130 | 0,093 | 0,095 | 0,092 | 0,094 | 0,093 | 0,095 | 0,096 | 0,093 | 0,095 | 0,092 | 0,0005 | 0,0939 |
| 140 | 0,066 | 0,067 | 0,064 | 0,065 | 0,066 | 0,064 | 0,066 | 0,067 | 0,064 | 0,067 | 0,0005 | 0,0657 |
| 150 | 0,058 | 0,059 | 0,057 | 0,059 | 0,055 | 0,058 | 0,057 | 0,059 | 0,056 | 0,057 | 0,0005 | 0,0567 |
| 160 | 0,055 | 0,056 | 0,054 | 0,053 | 0,055 | 0,053 | 0,055 | 0,056 | 0,053 | 0,054 | 0,0005 | 0,0538 |
| 170 | 0,045 | 0,043 | 0,046 | 0,044 | 0,043 | 0,042 | 0,044 | 0,043 | 0,045 | 0,046 | 0,0003 | 0,0443 |
| 180 | 0,024 | 0,023 | 0,024 | 0,025 | 0,023 | 0,024 | 0,025 | 0,025 | 0,023 | 0,021 | 0,0004 | 0,0230 |
| максСКВРВ = 0,0007 | | | | | | | | | | | | |

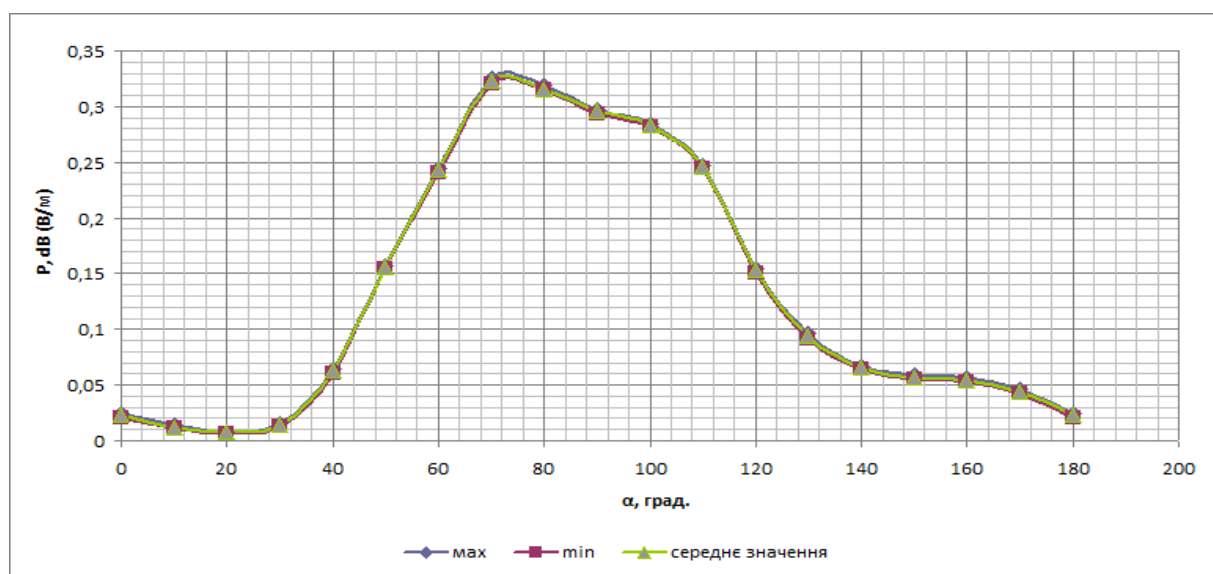


Рисунок Д.2 – ДС в декартовій системі координат

Таблиця Д.8 – Дані діаграми спрямованості ДЗЗНЗ з трьох щитів

| θ, град | Три щити, P, (мкВ/м) | | | | | | | | | | СКВРВ, мкВт | P _{норм} |
|------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------------------|
| | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | | |
| 0 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,0002 | 0,0031 |
| 10 | 0,008 | 0,007 | 0,009 | 0,008 | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,007 | 0,008 | 0,0003 | 0,0072 |
| 20 | 0,016 | 0,014 | 0,013 | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,016 | 0,014 | 0,013 | 0,015 | 0,0005 | 0,0142 |
| 30 | 0,023 | 0,024 | 0,022 | 0,023 | 0,024 | 0,023 | 0,022 | 0,024 | 0,023 | 0,025 | 0,0003 | 0,0238 |
| 40 | 0,035 | 0,033 | 0,034 | 0,036 | 0,032 | 0,033 | 0,034 | 0,032 | 0,035 | 0,033 | 0,0005 | 0,0336 |
| 50 | 0,067 | 0,066 | 0,069 | 0,068 | 0,066 | 0,067 | 0,068 | 0,067 | 0,065 | 0,069 | 0,0005 | 0,0672 |
| 60 | 0,128 | 0,127 | 0,129 | 0,125 | 0,128 | 0,129 | 0,127 | 0,126 | 0,129 | 0,125 | 0,0005 | 0,1266 |
| 70 | 0,327 | 0,326 | 0,329 | 0,327 | 0,325 | 0,327 | 0,326 | 0,328 | 0,326 | 0,329 | 0,0004 | 0,3274 |
| 80 | 0,382 | 0,385 | 0,383 | 0,384 | 0,386 | 0,384 | 0,383 | 0,386 | 0,385 | 0,384 | 0,0005 | 0,3851 |
| 90 | 0,414 | 0,413 | 0,416 | 0,415 | 0,413 | 0,414 | 0,415 | 0,414 | 0,416 | 0,414 | 0,0003 | 0,4148 |
| 100 | 0,366 | 0,365 | 0,368 | 0,366 | 0,364 | 0,365 | 0,363 | 0,365 | 0,366 | 0,367 | 0,0005 | 0,3652 |
| 110 | 0,293 | 0,294 | 0,291 | 0,297 | 0,294 | 0,295 | 0,293 | 0,294 | 0,295 | 0,298 | 0,0003 | 0,2962 |
| 120 | 0,194 | 0,193 | 0,196 | 0,194 | 0,192 | 0,196 | 0,194 | 0,195 | 0,197 | 0,194 | 0,0005 | 0,1954 |
| 130 | 0,138 | 0,137 | 0,136 | 0,137 | 0,139 | 0,135 | 0,136 | 0,139 | 0,137 | 0,136 | 0,0005 | 0,1366 |
| 140 | 0,124 | 0,121 | 0,123 | 0,122 | 0,121 | 0,124 | 0,122 | 0,123 | 0,122 | 0,121 | 0,0002 | 0,1217 |
| 150 | 0,095 | 0,094 | 0,096 | 0,092 | 0,097 | 0,095 | 0,094 | 0,095 | 0,092 | 0,096 | 0,0005 | 0,0944 |
| 160 | 0,132 | 0,135 | 0,138 | 0,134 | 0,136 | 0,132 | 0,136 | 0,134 | 0,136 | 0,133 | 0,0004 | 0,1345 |
| 170 | 0,058 | 0,056 | 0,057 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,056 | 0,057 | 0,058 | 0,059 | 0,0003 | 0,0579 |
| 180 | 0,045 | 0,047 | 0,044 | 0,043 | 0,047 | 0,045 | 0,046 | 0,048 | 0,044 | 0,048 | 0,0006 | 0,0468 |

максСКВРВ = 0,0006

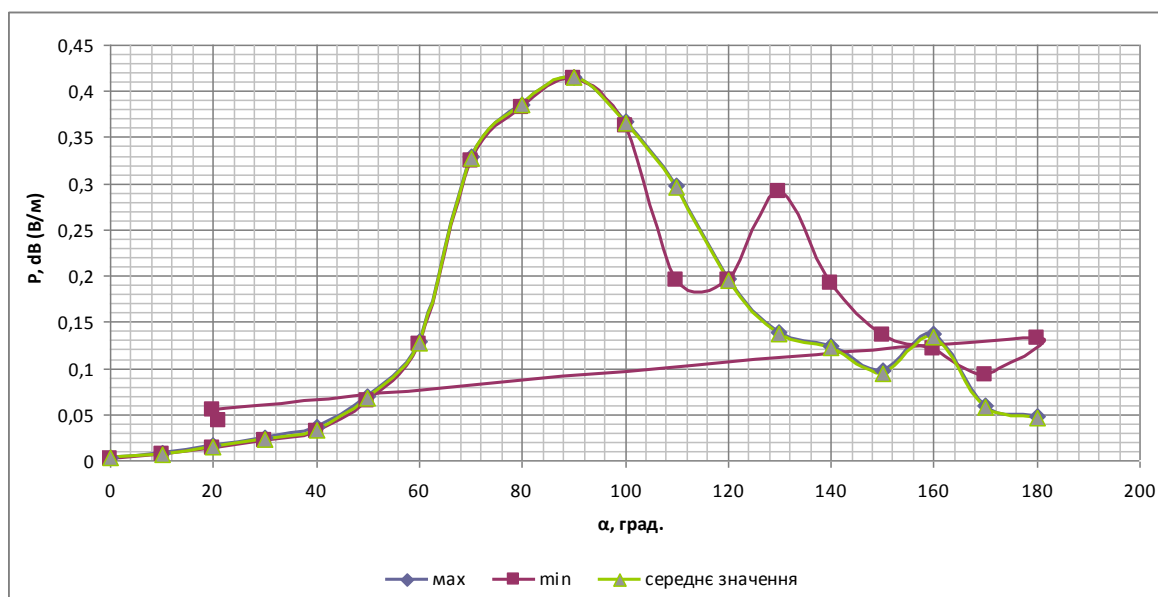


Рисунок Д.3 – ДС в декартовій системі координат

ДОДАТОК Е
Текст програми IMRC

```
unit _Main;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, Math, ComCtrls, JPeg, Grids;

type
  TForm1 = class(TForm)
    btnExit: TButton;
    Panel1: TPanel;
    PageControl1: TPageControl;
    TabMap: TTabSheet;
    ImageMap: TImage;
    lblScale: TLabel;
    RadioGroup1: TRadioGroup;
    GroupBox1: TGroupBox;
    lblCoordVV: TLabel;
    lblID_KP: TLabel;
    lblTetaKP: TLabel;
    rbCalibr: TRadioButton;
    rbTarget: TRadioButton;
    StringGridZavada: TStringGrid;
    btnAutoPlaceObjects: TButton;
    btnClear: TButton;
    TabCalc: TTabSheet;
    ImageZone: TImage;
    CheckBox1: TCheckBox;
    btnCalcDefense: TButton;
    chkNakopl: TCheckBox;
    Label1: TLabel;
    GroupBox3: TGroupBox;
    lblCoordKP: TLabel;
    edtP: TEdit;
    Label5: TLabel;
    GroupBox4: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    edtPz: TEdit;
    btnDelZ: TButton;
    Label12: TLabel;
    GroupBox5: TGroupBox;
    lblSDefense0: TLabel;
    lblSDefense: TLabel;
    lblSDefenseOpt: TLabel;
    GroupBox6: TGroupBox;
    lblTimeDefense0: TLabel;
```

```

lblTimeDefense: TLabel;
lblTimeDefenseOpt: TLabel;
GroupBox7: TGroupBox;
lblKpokr0: TLabel;
lblKpokr: TLabel;
lblKpokrOpt: TLabel;
rgZone: TRadioGroup;
btnClearMap: TButton;
btnAbout: TBitBtn;
btnTest: TButton;
GroupBox2: TGroupBox;
lblKpod: TLabel;
rdgVV: TRadioGroup;
edtTeta2: TEdit;
UpDownTeta2: TUpDown;
RadioButton1: TRadioButton;
rgTA2: TRadioGroup;
procedure btnExitClick(Sender: TObject);
procedure btnClearClick(Sender: TObject);
procedure ImageMapMouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure ImageMapMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure ImageMapMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure rbCalibrClick(Sender: TObject);
procedure rbTargetClick(Sender: TObject);
procedure CalcKpod;
procedure ShowLine0;
procedure btnCalcDefenseClick(Sender: TObject);
procedure btnAutoPlaceObjectsClick(Sender: TObject);
procedure btnAddZClick(Sender: TObject; X1,Y1:integer);
procedure btnDelZClick(Sender: TObject);
procedure rgZoneClick(Sender: TObject);
procedure btnClearMapClick(Sender: TObject);
procedure TabCalcShow(Sender: TObject);
procedure TabMapShow(Sender: TObject);
procedure btnAboutClick(Sender: TObject);
procedure btnTestClick(Sender: TObject);
procedure rdgVVClick(Sender: TObject);
procedure UpDownTeta2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure rgTA2Click(Sender: TObject);
private
procedure ShowZavada;
procedure GridZavada(Mode:byte);
procedure ShowKP;
procedure ShowVV;
procedure Param_KP;
procedure Param_Zavad;
procedure CalcDefense;
procedure CalcIzoLine;

```



```

procedure Report;
procedure RepaintMap(x,y:integer);
procedure Analysis_of_situation;
public
{ Public declarations }
end;

Var
Form1: TForm1;

implementation
uses _Types,_Calibr,_About;

{$R *.dfm}

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Label12.caption:='Розміри мапи: '+ Inttostr(ImageMap.Picture.Bitmap.Width)+' '
+ Inttostr(ImageMap.Picture.Bitmap.Height);
PageControl1.ActivePageIndex:=0;
RadioGroup1.ItemIndex:=0;
rgTA2.ItemIndex:=1;
rbTarget.Checked:=True; rbCalibr.Checked:=not rbTarget.Checked;
lblScale.Caption:='Масштаб, м/піксель'+Format('%2.2f',[Scale]);
Status:=1;
end;

procedure TForm1.btnExitClick(Sender: TObject);
begin
close
end;

////////////////////////////////////
//          РОБОТА З МАПОЮ
////////////////////////////////////

function Min(const A, B: Integer): Integer;
begin
Result := (A + B - Abs(A - B)) div 2;
end;

// автоматичне розміщення об'єктів для тестування
procedure TForm1.btnAutoPlaceObjectsClick(Sender: TObject);
var X1,Y1:integer;
begin
//КП
X1:=400; Y1:=400;
KoordX_KP:=X1; KoordY_KP:=Y1;
flKPPresent:=True;
ShowKP;
//підрозділ НГ

```

```

X1:=300; Y1:=400;
KoordX_VV:=X1; KoordY_VV:=Y1;
flVVPresent:=True;
ShowVV;
//завада
X1:=100; Y1:=400;
KolZ:=1;
KoordX_Z[KolZ]:=X1; KoordY_Z[KolZ]:=Y1;
Rz[KolZ]:=0; Tetaz[KolZ]:=0; Pz[KolZ]:=strtfloat(edtPz.Text);
flZPresent:=True;
ShowZavada;
GridZavada(1);
Param_KP;
Param_Zavad;
ImageMap.Picture.SaveToFile('temp.bmp');
// обчислити коефіцієнт придушення
CalcKpod;
ShowLine0;
end;

// початок калібровки
procedure TForm1.ImageMapMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
if not rbCalibr.Checked then Exit;
P1.x:=X; P1.y:=Y;
StartLine:=True;
ImageMap.Picture.SaveToFile('temp.bmp');
end;

// прорисовка калібрувальної лінії
procedure TForm1.ImageMapMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);
begin
if not rbCalibr.Checked then Exit;
if StartLine then begin
P2.x:=X; P2.y:=Y;
ImageMap.Picture.LoadFromFile('temp.bmp');
ImageMap.Canvas.Pen.Color :=clRed ;
ImageMap.Canvas.Moveto(P1.x,P1.y);
ImageMap.Canvas.Lineto(P2.x,P2.y);
end
end;

//показати заваду
procedure TForm1.ShowZavada;
var x1,y1,x2,y2:integer;
i:byte;
begin
case PageControl1.ActivePageIndex of
0:begin
ImageMap.Canvas.Brush.Color:=Z_Color;
for i:=1 to KolZ do begin
x1:=ROUND(KoordX_Z[i]-Rad/2); y1:=ROUND(KoordY_Z[i]-Rad/2);

```

```

    x2:=ROUND(KoordX_Z[i]+Rad/2); y2:=ROUND(KoordY_Z[i]+Rad/2);
    ImageMap.Canvas.Ellipse(x1,y1,x2,y2)
  end;
end;
1:begin
  ImageZone.Canvas.Brush.Color:=Z_Color;
  for i:=1 to KolZ do begin
    x1:=ROUND(KoordX_Z[i]-Rad/2); y1:=ROUND(KoordY_Z[i]-Rad/2);
    x2:=ROUND(KoordX_Z[i]+Rad/2); y2:=ROUND(KoordY_Z[i]+Rad/2);
    ImageZone.Canvas.Ellipse(x1,y1,x2,y2)
  end;
end;
end;//of case
end;

// показати ПНГ
procedure TForm1.ShowVV;
var x1,y1,x2,y2:integer;
begin
  x1:=ROUND(KoordX_VV-Rad/2); y1:=ROUND(KoordY_VV-Rad/2);
  x2:=ROUND(KoordX_VV+Rad/2); y2:=ROUND(KoordY_VV+Rad/2);
  case PageControl1.ActivePageIndex of
  0:begin
    ImageMap.Canvas.Brush.Color:=VV_Color;
    ImageMap.Canvas.Ellipse(x1,y1,x2,y2);
  end;
  1:begin
    ImageZone.Canvas.Brush.Color:=VV_Color;
    ImageZone.Canvas.Ellipse(x1,y1,x2,y2);
  end;
end;//of case
lblCoordVV.Caption:='Координати: '+Inttostr(KoordX_VV)+' '+Inttostr(KoordY_VV);
end;

// показати КП
procedure TForm1.ShowKP;
var x1,y1,x2,y2:integer;
begin
  x1:=ROUND(KoordX_KP-Rad/2); y1:=ROUND(KoordY_KP-Rad/2);
  x2:=ROUND(KoordX_KP+Rad/2); y2:=ROUND(KoordY_KP+Rad/2);
  case PageControl1.ActivePageIndex of
  0:begin
    ImageMap.Canvas.Brush.Color:=KP_Color;
    ImageMap.Canvas.Rectangle(x1,y1,x2,y2);
  end;
  1:begin
    ImageZone.Canvas.Brush.Color:=KP_Color;
    ImageZone.Canvas.Rectangle(x1,y1,x2,y2);
  end;
end;//of case
lblCoordKP.Caption:='Координати: '+Inttostr(KoordX_KP)+' '+Inttostr(KoordY_KP);
end;

//показати лінію спрямування 0

```

```

procedure TForm1.ShowLine0;
var a:real;
    xp,yp:integer;
begin
a:=N0*Pi/180;
xp:= KoordX_VV; yp:=KoordY_VV;
if N0=360 then N0:=0;
if N0=0 then begin xp:= KoordX_VV; yp:=KoordY_VV-10 end;
if (N0>0) and (N0<90) then begin xp:= KoordX_VV+ROUND(10*tan(a)); yp:=KoordY_VV-10
end;
if N0=90 then begin xp:= KoordX_VV+10; yp:=KoordY_VV end;
if (N0>90) and (N0<180) then begin xp:= KoordX_VV+ROUND(10/tan(a-Pi/2));
yp:=KoordY_VV+10 end;
if N0=180 then begin xp:= KoordX_VV; yp:=KoordY_VV+10 end;
if (N0>180) and (N0<270) then begin xp:= KoordX_VV-ROUND(10*tan(a-Pi));
yp:=KoordY_VV+10 end;
if N0=270 then begin xp:= KoordX_VV-10; yp:=KoordY_VV end;
if (N0>270) and (N0<360) then begin xp:= KoordX_VV-ROUND(10/tan(a-3*Pi/2));
yp:=KoordY_VV-10 end;
case PageControl1.ActivePageIndex of
0:begin
    ImageMap.Picture.LoadFromFile('temp.bmp');
    with ImageMap.Canvas do begin
        Pen.Color:=clRed; Pen.Width:=1;
        MoveTo(KoordX_VV,KoordY_VV);
        LineTo(xp,yp);
    end;
end;
1:begin
    {ImageZone.Picture.LoadFromFile('temp.bmp');
    with ImageZone.Canvas do begin
        Pen.Color:=clRed;
        Pen.Width:=1;
        MoveTo(KoordX_VV,KoordY_VV);
        LineTo(xp,yp);
    end; }
end;
end;//of case
end;

// таблиця параметрів завад
procedure TForm1.GridZavada(Mode:byte);
var i,j:byte;
begin
//шапка
StringGridZavada.Cells[1,0]:=' X';
StringGridZavada.Cells[2,0]:=' Y';
StringGridZavada.Cells[3,0]:='Відстань';
StringGridZavada.Cells[4,0]:='Азимут';
StringGridZavada.Cells[5,0]:='Потужність';
//лівий стовпець
StringGridZavada.Cells[0,0]:='Завада';

```

```

case Mode of
  0:begin // очистити таблицю
    StringGridZavada.RowCount:= KolZ+1;
    StringGridZavada.Cells[0,1]:='1';
    for i:=1 to KolZ+1 do
      for j:=1 to 5 do begin
        StringGridZavada.Cells[j,i]:=' ';
      end;
    end;
  end;
  1:begin //показати параметри завод
StringGridZavada.RowCount:= KolZ+1;
  for i:=1 to KolZ do begin
    StringGridZavada.Cells[0,i]:=inttostr(i);
    StringGridZavada.Cells[1,i]:=inttostr(KoordX_Z[i]);
    StringGridZavada.Cells[2,i]:=inttostr(KoordY_Z[i]);
    StringGridZavada.Cells[3,i]:=Format('%f',[Rz[i]]);
    StringGridZavada.Cells[4,i]:=Format('%f',[Tetaz[i]]);
    StringGridZavada.Cells[5,i]:=Format('%f',[Pz[i]]);
  end;
end;
end;
end;
// додати заводу
procedure TForm1.btnAboutClick(Sender: TObject);
begin
frmAbout.ShowModal;
end;

procedure TForm1.btnAddZClick(Sender: TObject; X1,Y1:integer);
begin
  Inc(KolZ);
  KoordX_Z[KolZ]:=X1; KoordY_Z[KolZ]:=Y1;
  Rz[KolZ]:=strtofloat(edtPz.Text); Tetaz[KolZ]:=0;
  GridZavada(1);
  flZPresent:=True;
  ShowZavada;
end;

//=====
//+++++++ // підняли клавiшу миші!
//=====
procedure TForm1.ImageMapMouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var X1,Y1:integer;
    ts,FL:real;
begin
  StartLine:=False;
// кінець калiбровки
  if rbCalibr.Checked then begin
    tS:=SQRT(SQR(Abs(P1.X-P2.X))+SQR(Abs(P1.Y-P2.Y)));
    frmCalibr.Showmodal;
    FL:=StrtoFloat(frmCalibr.Edit1.text);

```

```

Scale:=FL/ts;
//MessageDLG('Масштаб, м/пиксель: '+Format('%2.2f',[Scale]),mtInformation,[mbOk], 0);
lblScale.Caption:='Масштаб, м/пиксель='+Format('%2.2f',[Scale]);
Exit
end;
//Цілевказання
X1:=X; Y1:=Y;
case RadioGroup1.ItemIndex of
0:begin //положення КП
KoordX_KP:=X1; KoordY_KP:=Y1;
flKPPresent:=True;
ShowKP;
RadioGroup1.ItemIndex:=1;
end;
1:begin //положення підрозділу НГ
KoordX_VV:=X1; KoordY_VV:=Y1;
flVVPresent:=True;
ShowVV;
RadioGroup1.ItemIndex:=2;
end;
2:begin //додати заваду
Inc(KolZ);
if KolZ>KolZmaxthenbeginMessageDLG('ImageMapMouseUp: KolZ>KolZmax, додавання
завади неможливе! ',
mtError,[mbOk], 0); Exit end;
KoordX_Z[KolZ]:=X1; KoordY_Z[KolZ]:=Y1;
Rz[KolZ]:=0; Tetaz[KolZ]:=0; Pz[KolZ]:=strtofloat(edtPz.Text);
flZPresent:=True;
ShowZavada;
GridZavada(1);
end;
end;
ImageMap.Picture.SaveToFile('temp.bmp');
if flZPresent and flKPPresent and flVVPresent then begin
CalcKpod;
ImageMap.Picture.LoadFromFile('temp.bmp');
ShowZavada;
GridZavada(1);
//ShowLine0;
ShowVV;
ShowKP;
end;
end;
//видалити останню заваду
procedure TForm1.btnDelZClick(Sender: TObject);
begin
GridZavada(0);
Dec(KolZ);
if KolZ<0 then begin MessageDLG('btnDelZClick: KolZ<0, видалення завади неможливе! ',
mtError,[mbOk], 0); Exit end;
GridZavada(1);
CalcKpod;

```

```

ImageMap.Picture.LoadFromFile('PIPovst.bmp');
ShowZavada;
ShowVV;
ShowKP;
end;

//скинути все, перезавантажити мапу
procedure TForm1.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
ImageMap.Picture.LoadFromFile('PIPovst.bmp');
Init;
GridZavada(0);
ImageMap.Picture.SaveToFile('temp.bmp');
lblCoordKP.Caption:='Координати: ? ?';
lblCoordVV.Caption:='Координати: ? ?';
lblTetaKP.Caption:='Азимут на КП: ? ';
lblKpod.Caption:='Коеф. придушення= ? ';
lblD_KP.Caption:='Відстань до КП: ? ';
RadioGroup1.ItemIndex:=0;
end;

procedure TForm1.btnClearMapClick(Sender: TObject);
begin
ImageZone.Picture.LoadFromFile('temp.bmp');
ShowZavada;
ShowVV;
ShowKP;
end;

//Перейти на вкладку розрахунків
procedure TForm1.TabCalcShow(Sender: TObject);
begin
if not PrevOblComplete then ImageZone.Picture.Bitmap:=ImageMap.Picture.Bitmap;
GroupBox2.Enabled:=False;
GroupBox2.Font.Style=[];
end;

procedure TForm1.TabMapShow(Sender: TObject);
begin
GroupBox2.Enabled:=True;
GroupBox2.Font.Style:=GroupBox2.Font.Style+[fsBold];
end;

////////////////////////////////////
//          РАДІОКАНАЛ
////////////////////////////////////

//обчислити точку діаграми спрямованості
Function G(TA:byte; V:real):real;
Const
N=37;
Tx:array [1..N] of real=( 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90,

```

100,110,120,130,140,150,160,170,180,190,
200,210,220,230,240,250,260,270,280,290,
300,310,320,330,340,350,360);

Ty1:array [1..N] of
real=(1.286325,1.362869,1.294624,1.093208,1.049784,0.949367,0.797386,0.774194,0.607456,0.67
9487, 0.707527,0.847312,0.854701,0.95614, 1.229437,2.155093,2.779343,3.82906,
3.952991,3.440171, 2.010616,2.017316,1.886792,1.381264,1.33121, 1.045752,
0.777056,0.730684,0.679336,0.749455,0.761603,0.805195,0.790598, 0.95045, 1.160839,
1.226496, 1.25641);

Ty2:array [1..N] of
real=(0.386752,0.341772,0.395699,0.419287,0.396104,0.392405,0.396514,0.32043,0.392544,0.341
88, 0.425806,0.44086, 0.333333,0.25, 0.331169,1.875, 2.464789,4.17735,6.269231,4.99359,
2.607219, 1.168831, 0.421384, 0.296296, 0.350318, 0.442266, 0.331169,
0.366446,0.358235,0.389978, 0.327004, 0.339827, 0.363248, 0.468468, 0.424242,
0.294872,0.320513);

Var
i:byte;
x,Cx:real;
Function F(x,x0,y0,x1,y1:real):real;
begin
F:=((x-x1)*y0-(x-x0)*y1)/(x0-x1);
End;
BEGIN
Cx:=1;
case TA of
0:Cx:=1; // без захисту
1: begin // 1 щит
Cx:=0;
x:=V;
while x>360 do x:=x-360;
while x<0 do x:=x+360;
for i:=1 to N-1 do
if (x>=Tx[i]) and (x<=Tx[i+1]) then
Cx:=F(x,Tx[i],Ty1[i],Tx[i+1],Ty1[i+1]);
end;
2: begin //3 щити
Cx:=0;
x:=V;
while x>360 do x:=x-360;
while x<0 do x:=x+360;
for i:=1 to N-1 do
if (x>=Tx[i]) and (x<=Tx[i+1]) then
Cx:=F(x,Tx[i],Ty2[i],Tx[i+1],Ty2[i+1]);
end;
end;
G:=Cx;
End;

//обчислити азимут на ціль xc,yc з точки x0,y0


```

function Azimut(x0,y0,xc,yc:real):real;
var a,teta,Dx,Dy:real;
begin
teta:=0;
Dx:=xc-x0;
Dy:=yc-y0;
try
if Dx=0 then begin
    if Dy>0 then teta:=Pi;
    if Dy<0 then teta:=0;
    //if Dy=0 then raise Exception.Create('Azimut: Помилка Хс=0, Yc=0!');
end
else if Dy>=0 then begin // квадранти 2-3
    a:=arctan(Abs(Dy)/Abs(Dx));
    if Dx>0 then teta:=Pi/2+a
    else teta:=3*Pi/2-a;
end
else begin // квадранти 1-4
    a:=arctan(Abs(Dy)/Abs(Dx));
    if Dx>0 then teta:=Pi/2-a
    else teta:=3*Pi/2+a;
end;
// помилка
except
on E: Exception do begin
    ShowMessage(E.Message);
end;
end;
Azimut:= teta*180/Pi;
end;

//параметри центра зв'язку
procedure TForm1.Param_KP;
var a,b:real;
begin
if not flKPPresent then begin MessageDLG('Param_KP: Дані про КП відсутні !',
    mtError,[mbOk], 0); Exit end;
if not flVVPresent then begin MessageDLG('Param_KP: Дані про підрозділ ВВ відсутні !',
    mtError,[mbOk], 0); Exit end;
P:=strtofloat(edtP.Text);
a:=SQR(KoordX_KP-KoordX_VV); b:=SQR(KoordY_KP-KoordY_VV);
R:=SQRT(a+b)*Scale;
Teta:=Azimut(KoordX_VV,KoordY_VV,KoordX_KP,KoordY_KP);
lblID_KP.Caption:='Відстань до КП: '+Format('%f',[R]);
lblTetaKP.Caption:='Азимут на КП: '+Format('%f',[Teta]);
end;

//параметри завод
procedure TForm1.Param_Zavad;
var a,b:real;
    i:integer;
begin

```

```

if not flZPresent then begin MessageDLG('Param_Zavad: Дані про завади відсутні !',
    mtError,[mbOk], 0); Exit end;
if not flVVPresent then begin MessageDLG('Param_KP: Дані про підрозділ ВВ відсутні !',
    mtError,[mbOk], 0); Exit end;
for i:=1 to KolZ do Pz[i]:=strtofloat(StringGridZavada.Cells[5,i]);
for i := 1 to KolZ do begin
    a:=SQR(KoordX_Z[i]-KoordX_VV); b:=SQR(KoordY_Z[i]-KoordY_VV);
    Rz[i]:=SQRT(a+b)*Scale;
    Tetaz[i]:=Azimut(KoordX_VV,KoordY_VV,KoordX_Z[i],KoordY_Z[i]);
end;
GridZavada(1);
end;

// Розрахунок коефіцієнта придушення
procedure TForm1.CalcKpod;
var a,Nopt,KPodMin,S:real;
    i,angle:integer;
begin
    Param_KP;
    Param_Zavad;
    TA2:=rgTA2.ItemIndex;
    case rdgVV.ItemIndex of
        0: begin // захист вручну
            N0:=strtofloat(edtTeta2.Text);
            S:=0;
            for i := 1 to KolZ do S:=S+Pz[i]*G(TA2,Tetaz[i]-N0)/SQR(Rz[i]);
            KPod:=SQR(R)*S/(P*G(TA2,Teta-N0))
        end;
        1:begin // захист автоматично
            Nopt:=0; KPodMin:=1000;
            for angle := 0 to 360 do begin
                a:=angle;
                S:=0;
                for i := 1 to KolZ do S:=S+Pz[i]*G(TA2,Tetaz[i]-a)/SQR(Rz[i]);
                KPod:=SQR(R)*S/(P*G(TA2,Teta-a));
                if KPod<KPodMin then begin KPodMin:=KPod; Nopt:=a end;
            end;
            N0:=Nopt; edtTeta2.Text:=floattostr(N0);
            KPod:=KPodMin;
        end;
    end;
    if KPod>LevelKPod then lblKpod.Font.Color:=clRed else lblKpod.Font.Color:=clGreen;
    lblKpod.Caption:='Коеф. придушення= '+Format('%f10',[KPod]);
end;

//-----
// зона доступності хвильовий алгоритм
procedure TForm1.CalcDefense;
const DX:array[1..4] of integer=(0,1,0,-1);
    DY:array[1..4] of integer=(-1,0,1,0);
var x, y,i,j: Integer;
    t:cardinal;

```

```

Xold,Yold: Integer;
LFold,Lf,X0,Y0:integer;
FoldX,FoldY,FrontX,FrontY:array[1..10000] of integer;
PixelMapInZone:array[1..700,1..700] of boolean;
stop:boolean;
begin
//підготовка
btnClearMapClick(Self);
Xold:=KoordX_VV; Yold:=KoordY_VV;
for i:=1 to 700 do
  for j:= 1 to 700 do PixelMapInZone[i,j]:=False;
LFold:=1;
FoldX[1]:=KoordX_KP; FoldY[1]:=KoordY_KP;
PixelMapInZone[KoordX_KP,KoordY_KP]:=True;
CountPix:=1;

// хвиля
t := GetTickCount;
repeat
  Lf:=0;
  stop:=True;
  for i:=1 to Lfold do begin
    X0:=FoldX[i]; Y0:=FoldY[i];
    for j:= 1 to 4 do begin
      x:=X0+DX[j]; y:=Y0+DY[j];
      if PixelMapInZone[x,y] then continue;
      KoordX_VV:=x; KoordY_VV:=y;
      CalcKpod;
      if KPod<=LevelKpod then begin
        Inc(Lf);
        FrontX[Lf]:=x; FrontY[Lf]:=y;
        RepaintMap(x,y);
        Inc(CountPix);
        PixelMapInZone[x,y]:=True;
        stop:=False;
      end
    end;// for j
  end;// for i
  for i:=1 to Lf do begin FoldX[i]:=FrontX[i]; FoldY[i]:=FrontY[i] end;
  Lfold:=Lf;
until stop;
time:=(GetTickCount - t);
ImageZone.Invalidate;
ShowKP;
KoordX_VV:=Xold; KoordY_VV:=Yold;
ShowVV;
CalcKpod;
ShowZavada;
Report;
end;

//-----

```

```

// ізоляція зони доступності хвильовий алгоритм
procedure TForm1.CalcIzoLine;
const DX:array[1..4] of integer=(0,1,0,-1);
      DY:array[1..4] of integer=(-1,0,1,0);
var x, y,i,j: Integer;
    t:cardinal;
    Xold,Yold,Xmin,Xmax,Ymin,Ymax: Integer;
    LFold,Lf,X0,Y0,OkrPix:integer;
    FoldX,FoldY,FrontX,FrontY:array[1..10000] of integer;
    PixelMapInZone:array[1..700,1..700] of boolean;
    stop:boolean;
begin
//підготовка
if not chkNakopl.Checked or not PrevOblComplete then ImageZone.Picture.Bitmap:=
ImageMap.Picture.Bitmap;
ImageZone.Invalidate;
Xmin:=2; Xmax:=ImageMap.Width-1;
Ymin:=2; Ymax:=ImageMap.Height-1;
Xold:=KoordX_VV; Yold:=KoordY_VV;
for i:=1 to 700 do
  for j:= 1 to 700 do PixelMapInZone[i,j]:=False;
LFold:=1;
FoldX[1]:=KoordX_KP; FoldY[1]:=KoordY_KP;
PixelMapInZone[KoordX_KP,KoordY_KP]:=True;
CountPix:=1;

// хвиля
t := GetTickCount;
repeat
  Lf:=0;
  stop:=True;
  for i:=1 to Lfold do begin
    X0:=FoldX[i]; Y0:=FoldY[i];
    for j:= 1 to 4 do begin
      x:=X0+DX[j]; if (x<Xmin) or (x>Xmax)then continue;
      y:=Y0+DY[j]; if (y<Ymin) or (y>Ymax)then continue;
      if PixelMapInZone[x,y] then continue;
      KoordX_VV:=x; KoordY_VV:=y;
      CalcKpod;
      if KPod<=LevelKpod then begin
        Inc(Lf);
        FrontX[Lf]:=x; FrontY[Lf]:=y;
        Inc(CountPix);
        PixelMapInZone[x,y]:=True;
        stop:=False;
      end
    end;
  end;
end;
for i:=1 to Lf do begin FoldX[i]:=FrontX[i]; FoldY[i]:=FrontY[i] end;
LFold:=Lf;
until stop;
// прорисовка ізоляції

```

```

for X0:=Xmin to Xmax do
  for Y0:=Ymin to Ymax do begin
    OkrPix:=0;
    for j:= 1 to 4 do begin
      x:=X0+DX[j]; y:=Y0+DY[j];
      if PixelMapInZone[x,y] then Inc(OkrPix);
    end;
    if (OkrPix>0) and (OkrPix<4) then RepaintMap(x,y);
  end;
time:=(GetTickCount - t);
PrevOblComplete:=True;
ImageZone.Invalidate;
ShowKP;
KoordX_VV:=Xold; KoordY_VV:=Yold;
ShowVV;
CalcKpod;
ShowZavada;
Report;
end;
//-----
// перефарбувати точку на мапі зони доступності
procedure TForm1.RepaintMap(x,y:integer);
var r,g,b: Byte;
    Color: Longint;
begin
  Color := ColorToRGB(ImageZone.Picture.Bitmap.Canvas.Pixels[x,y]);
  case TA2 of
    0:begin //Без захисту
      r := Color;
      ImageZone.Picture.Bitmap.Canvas.Pixels[x,y]:=RGB(r, 0, 0);
    end;
    1:begin //Захист
      b := Color shr 16;
      ImageZone.Picture.Bitmap.Canvas.Pixels[x,y]:=RGB(0, 0, b);
    end;
    2:begin //Оптимальний захист
      g := Color shr 8;
      ImageZone.Picture.Bitmap.Canvas.Pixels[x,y]:=RGB(0, 0, 0);
    end;
  end;
end;
//-----
// звіт
procedure TForm1.Report;
var Kpokr:real;
begin
  case TA2 of
    0:begin //Без захисту
      if time <1000 then lblTimeDefense0.Caption := 'Без захисту= '+Format('%5.2f',[time])+ ' мс'
      else begin
        time:=time/1000;
        lblTimeDefense0.Caption := 'Без захисту = '+Format('%5.2f',[time])+ ' с'
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

        end;
        ImageZone.Picture.SaveToFile('Defense0.bmp');
        SDefense0:=CountPix*SQR(Scale);
        lblSDefense0.Caption:='Без захисту '+ Format('%f',[SDefense0]);
        lblKпокp0.Caption:='Без захисту = 1 ';
    end;
1:begin //Захист 1 щит
    if time <1000 then lblTimeDefense.Caption := 'Захист 1 щит= '+Format('%5.2f',[time])+ ' мс'
        else begin
            time:=time/1000;
            lblTimeDefense.Caption := 'Захист 1 щит = '+Format('%5.2f',[time])+ ' с'
        end;
    ImageZone.Picture.SaveToFile('Defense1.bmp');
    SDefense:=CountPix*SQR(Scale);
    lblSDefense.Caption:='Захист 1 щит '+ Format('%f',[SDefense]);
    if SDefense0>0 then begin
        Кпокp:= SDefense/SDefense0;
        lblКпокp.Caption:='Захист 1 щит= '+Format('%f',[Кпокp]);
    end;

    end;
2:begin //Захист 3 щити
    if time <1000 then lblTimeDefenseOpt.Caption := 'Захист 3 щити = '+Format('%5.2f',[time])+ ' мс'
        else begin
            time:=time/1000;
            lblTimeDefenseOpt.Caption := 'Захист 3 щити = '+Format('%5.2f',[time])+ ' с'
        end;
    ImageZone.Picture.SaveToFile('Defense3.bmp');
    SDefenseOpt:=CountPix*SQR(Scale);
    lblSDefenseOpt.Caption:='Захист 3 щити '+ Format('%f',[SDefenseOpt]);
    if SDefense0>0 then begin
        Кпокp:= SDefenseOpt/SDefense0;
        lblКпокpOpt.Caption:='Захист 3 щити = '+Format('%f',[Кпокp]);
    end;

    end;
end;// case
end;

        // вибір ізоляція-зона
    procedure TForm1.rgZoneClick(Sender: TObject);
    begin
    if rgZone.ItemIndex=0 then fl_Izoline:=True else fl_Izoline:=False;
    end;

        // розрахунок зони з оптимальним захистом
    procedure TForm1.btnCalcDefenseClick(Sender: TObject);
    begin
    if fl_Izoline then CalcIzoLine else CalcDefense;
    end;

        // калібровка
    procedure TForm1.rbCalibrClick(Sender: TObject);
    begin

```

```

    rbTarget.Checked:=not rbCalibr.Checked;
end;
                // вказання цілей
procedure TForm1.rbTargetClick(Sender: TObject);
begin
if Scale<=0 then begin
    MessageDLG('Спочатку виконайте калібрування!',mtError,[mbOk], 0);
    Exit;
    end;
rbCalibr.Checked:=not rbTarget.Checked;
end;

procedure TForm1.rgTA2Click(Sender: TObject);
begin
    Analysis_of_situation;
end;

procedure TForm1.rdgVVClick(Sender: TObject);
begin
    edtTeta2.Enabled:=rdgVV.ItemIndex=0;
    UpDownTeta2.Enabled:=rdgVV.ItemIndex=0;
    Analysis_of_situation;
end;

procedure TForm1.UpDownTeta2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
    Analysis_of_situation;
end;

procedure TForm1.Analysis_of_situation;
begin
    CalcKpod;
    ShowZavada;
    ShowLine0;
    ShowVV;
    ShowKP;
end;

// тестування
procedure TForm1.btnTestClick(Sender: TObject);
var x,y,X1,Y1,i:integer;
    S:real;
    f:TextFile;
begin
//завантажити білий фон, розлініяти
ImageMap.Picture.LoadFromFile('white.bmp');
x:=0;
repeat
    ImageMap.Canvas.Pen.Color :=clBlue;
    ImageMap.Canvas.Moveto(x,0);
    ImageMap.Canvas.Lineto(x,500);
    Inc(x,10)

```

```

until x>600;
y:=0;
repeat
  ImageMap.Canvas.Pen.Color :=clBlue;
  ImageMap.Canvas.Moveto(0,y);
  ImageMap.Canvas.Lineto(600,y);
  Inc(y,10)
until y>500;
//завантажити картинку, установити масштаб: 1 клітка=5*5 м
Scale:=0.5;
lblScale.Caption:='Масштаб, м/піксель='+Format('%2.2f',[Scale]);
//КП
X1:=400; Y1:=100;
KoordX_KP:=X1; KoordY_KP:=Y1;
edtP.Text:='1';
flKPPresent:=True;
ShowKP;
//підрозділ НГ
X1:=300; Y1:=100;
KoordX_VV:=X1; KoordY_VV:=Y1;
flVVPresent:=True;
ShowVV;

//завада - зсув на 50..20 м с кроком 10 м
AssignFile(f,'test20-50.txt');
Rewrite(f);
for i:=2 to 5 do begin
  X1:=200+20*(i-2); Y1:=100;
  KolZ:=1;
  KoordX_Z[KolZ]:=X1; KoordY_Z[KolZ]:=Y1;
  Rz[KolZ]:=0; Tetaz[KolZ]:=0;
  edtPz.Text:='1'; Pz[KolZ]:=strtofloat(edtPz.Text);
  flZPresent:=True;
  ShowZavada;
  GridZavada(1);
  Param_KP;
  Param_Zavad;
  ImageMap.Picture.SaveToFile('temp.bmp');
// обчислити коефіцієнт придушення для кутів 210..270 з кроком 5 градусів-захист вручну
Writeln(f,'расстояние R23= ',Rz[1]:10:3,' метров');
Writeln(f,'Угол Коэфф. подавления');
TA2:=rgTA2.ItemIndex;
N0:=210;
repeat
  S:=Pz[1]*G(TA2,Tetaz[1]-N0)/SQR(Rz[1]);
  KPod:=SQR(R)*S/(P*G(TA2,Teta-N0));
  // Writeln(f,N0:10:3,' ',KPod:10:3);
  Writeln(f,KPod:10:3);
  ShowLine0;
  N0:=N0+5;
until N0>330;
Writeln(f); Writeln(f);

```



```

    end;
    CloseFile(f);
end;

end.

//-----
unit _About;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls;

type
TfrmAbout = class(TForm)
    OKButton: TButton;
    Image2: TImage;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    procedure Label3Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    frmAbout: TfrmAbout;

implementation
uses _ParStart;

{$R *.dfm}

procedure TfrmAbout.Label3Click(Sender: TObject);
begin
    frmParStart.showmodal;
end;

end.

//-----
unit _Calibr;

interface

```

```
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls;
```

```
type
  TfrmCalibr = class(TForm)
    Edit1: TEdit;
    Button1: TButton;
    Label1: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
```

```
var
  frmCalibr: TfrmCalibr;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.dfm }
```

```
procedure TfrmCalibr.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  close
end;
end.
```

```
//-----
```

```
unit _Types;
```

```
interface
uses Windows,Graphics,Dialogs;
Const
  KolZMax=3; //максимальна кількість завад
  Pi=3.14;
  Rad=10;
  LevelKpod=0.3;
```

```
TYPE
  ArrInt=array [1..KolZMax] of integer;
  ArrR=array [1..KolZMax] of real;
  pRGBLine=^TRGBLine;
  TRGBLine=array[word] of PRGBQuad;
  TIMGData=array[word] of pRGBLine;
type Mouse_Coord=record
  x,y:longint
  end;
  TPoint = record
    X: Longint;      Y: Longint;      end;
Var
```

```

KoordX_Z,KoordY_Z:ArrInt;
Pz,Tetaz,Rz:ArrR;
KoordX_VV,KoordY_VV,KoordX_KP,KoordY_KP:integer;
KolZ:integer;
TA2:byte;
P,R,Teta,KPod,SDefense0,SDefense,SDefenseOpt:real;
flZPresent,flKPPresent,flVVPresent,flZoneIsSaved:boolean;
fl_Auto,fl_Izoline,PrevOblComplete:boolean;
Status:byte;
Mode: byte;
time:real;

var P1,P2:Mouse_Coord;
    StartLine, Calibrate:boolean;
    Scale,N0:real;
    KP_Color,VV_Color,Z_Color:TColor;

    CountPix:longword;
    Radius:real;

procedure Init;
implementation
procedure Init;
begin
    KolZ:=0;
    flZPresent:=False; flKPPresent:=False; flVVPresent:=False;
    flZoneIsSaved:=False;
    Scale:=2;
    N0:=0;
    fl_Auto:=False;
    fl_Izoline:=True;
    PrevOblComplete:=False;
    KP_Color:=clGreen; VV_Color:=clBlue; Z_Color:= clRed;
end;

BEGIN
    Init;
end.

```