

УДК [001.8/.816/.817] + 001.92 + [371.315.5/.315.6/.335] + 655.52

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10\(24\)-442-454](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10(24)-442-454)

Козубцов Ігор Миколайович доктор педагогічних наук, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри Бойового застосування підрозділів зв'язку, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (063)404-84-41, <https://orcid.org/0000-0002-7309-4365>

Шаповал Віталій Михайлович начальник науково-дослідного відділу (математичного та програмного забезпечення – заступник начальника науково-дослідного управління (перспектив розвитку інформаційних систем) Наукового центру зв'язку та інформатизації, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (097) 779-22-47, <https://orcid.org/0000-0003-4637-9362>

Стойчев Максим Іванович старший викладач кафедри Бойового застосування підрозділів зв'язку, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (063) 122-32-67, <https://orcid.org/0009-0002-7423-2384>

Глобін Андрій Вікторович науковий співробітник науково-дослідного відділу (технічного забезпечення засобів зв'язку та автоматизації) науково-дослідного управління (розвитку військ зв'язку) Наукового центру зв'язку та інформатизації, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (095) 160-99-10, <https://orcid.org/0000-0001-5335-6869>

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЧАСТОТНОЇ І ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ В ІНТЕРЕСАХ СЕКТОРУ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

Анотація. Надійність і якість декаметрового радіозв'язку залежать від низки параметрів, а саме: умов поширення радіохвиль, потужності радіопередавача, типу антени (конфігурації, діаграми спрямованості та коефіцієнта підсилення) і завадової обстановки. На етапі планування декаметрового радіозв'язку перелічені параметри можна обрахувати заздалегідь. Не піддається завчасному обрахунку завадова обстановка на

конкретній частоті, яка в конкретний момент часу становить суму природних (прогнозованих) і випадкових (непрогнозованих) джерел. Саме через те, що випадкові (непрогнозовані) джерела становлять основну природу порушення надійності радіозв'язку, то це створює передумови до розробки системи її оцінки. Отже, метою даної статті є пошук варіантів рішення означеної прикладної задачі з побудови системи збору, аналізу частотної і заводовій обстановки декаметрового діапазону частот. Для досягнення мети в науковій статті авторами розглянуто прикладну задачу по обґрунтуванню реалізації аналізу частотної і заводовій обстановки декаметрового діапазону частот для потреб сектору безпеки та оборони. Із зазначеною задачею свого часу справлявся підрозділ у підпорядкуванні якого перебувала частотно-диспетчерська служба. Слід зазначити, що наразі у підрозділах відсутній даний підрозділ. У статті розглянуто лише два варіанти вирішення наукової задачі. Запропоновано три варіанта рішень. З розглянутих варіантів, вибрано найбільш прийнятний для реалізації – дистанційний. У всіх запропонованих варіантах необхідна наявність доступу до мережі Інтернет. Відмінною особливістю запропонованого рішення є дистанційний метод збору та передачі інформації про параметри частотної і заводовій обстановки декаметрового діапазону частот. Результат доведено до рівня практичної реалізації як інформаційно-технічна система дистанційного моніторингу частотної і заводовій обстановки декаметрового діапазону.

Ключові слова: аналіз, радіозв'язок, декаметрові радіохвилі, заводова обстановка, частотна обстановка.

Kozubtsov Igor Mykolaiovych Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Senior researcher, Professor of the Department of combat use of communication units, Military Institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Krut, Knyaziv Ostrozkyh St., 45/1, Kiev, 01011, tel.: (063) 404-84-41, <https://orcid.org/0000-0002-7309-4365>

Shapoval Vitalii Mykhailovych Head of the Research Department (Mathematical and Software) - Deputy Head of the Research Department (Information Systems Development Prospects) of the Scientific Center for Communications and Informatization, Military Institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Krut, Knyaziv Ostrozkyh St., 45/1, Kiev, 01011, tel.: (097) 779-22-47, <https://orcid.org/0000-0003-4637-9362>

Stoichev Maxim Ivanovich Senior lecturer of the Department of combat use of communication units, Military Institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Krut, Knyaziv Ostrozkyh St., 45/1, Kiev, 01011, tel.: (063) 122-32-67, <https://orcid.org/0009-0002-7423-2384>

Hlobin Andrii Viktorovych Researcher of the Research Department (Technical support of communication and automation equipment) of the Research Department (Development of communication forces) of the Scientific Center for Communication and Informatization, Military Institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Krut, Knyaziv Ostrozkyh St., 45/1, Kiev, 01011, tel.: (095) 160-99-10, <https://orcid.org/0000-0001-5335-6869>

INFORMATION AND TECHNOLOGY SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF FREQUENCY AND INTERFERENCE CONDITIONS IN THE DECAMETER RANGE FOR THE BENEFIT OF THE SECURITY AND DEFENSE SECTOR

Abstract. The reliability and quality of decameter radio communication depends on a number of parameters, namely: radio wave propagation conditions, radio transmitter power, antenna type (configuration, radiation pattern and gain) and interference situation. At the planning stage of decameter radio communication, the listed parameters can be calculated in advance. The interference situation at a specific frequency, which at a specific time is the sum of natural (predicted) and random (unpredictable) sources, cannot be calculated in advance. It is precisely because random (unpredictable) sources constitute the main nature of the violation of the reliability of radio communication that this creates prerequisites for the development of a system for evaluating it. So, the purpose of this article is to search for solutions to this application problem for constructing a system for collecting and analyzing the frequency and interference situation in the decameter frequency range. To achieve this goal, in the scientific article, the authors consider an applied problem to substantiate the implementation of the analysis of the frequency and interference situation of the decameter frequency range for the needs of the security and defense sector. This task was once handled by a division subordinate to which the frequency dispatch service was located. It should be noted that this division is not currently available in the divisions. The article considers only two options for solving a scientific problem. Three solutions are proposed. Of the considered options, the most acceptable one for implementation is remote. In all the proposed options, you must have access to the Internet. A distinctive feature of the proposed solution is a remote method for collecting and transmitting information about the parameters of the frequency and interference situation in the decameter frequency range. The result is brought to the level of practical implementation as an information and technical system for remote monitoring of the frequency and interference situation in the decameter range.

Keywords: analysis, radio communication, decameter radio waves, interference situation, frequency situation.

Постановка проблеми. Надійність і якість декаметрового (ДКМ) радіозв'язку залежать від низки параметрів, а саме: умов поширення радіохвиль, потужності радіопередавача, типу антени (конфігурації, діаграми спрямованості та коефіцієнта підсилення) і заводової обстановки [1, 2]. Здавалося б, цих вихідних даних достатньо для забезпечення ДКМ-радіозв'язку з заданою надійністю, однак реальна практика показує, що цього зовсім не достатньо. При організації ДКМ-радіозв'язку відповідальну особу за планування цікавить заводова обстановка, яка є сумою природних (прогнозованих) і випадкових (непрогнозованих) джерел.

При централізованому проектуванні лінії ДКМ-радіозв'язку важливо оцінити цей рівень випадкових завод в точці прийому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основний вклад в розвиток теорії електромагнітного поля із вивчення закономірностей поширення ДКМ зроблено вченими М. Шулейкіним, М. Бонч-Бруєвичем, А. Щукіним, А. Казанцевим та ін. З фундаментальних джерел [3; 4] відомо, що випадкові перешкоди неможливо передбачити методами статистичного аналізу. Цю задачу успішно вирішувала частотно-диспетчерська служба (ЧДС) із застосуванням методів активного зондування іоносфери. Слід відзначити, по-перше, що існуючою штатною структурою сектору безпеки та оборони не передбачено підрозділу ЧДС. Згідно з українським законодавством, сектор безпеки і оборони включає в себе: Міністерство оборони України, Збройні Сили України, Державна спеціальна служба транспорту, Міністерство внутрішніх справ України, Національна гвардія України, Національна поліція України, Державна прикордонна служба України, Державна міграційна служба України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Служба безпеки України, Антитерористичний центр при Службі безпеки України, Служба судової охорони, Управління державної охорони України, Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України та інші [5];

По-друге, в умовах війни застосування методів активного зондування іоносфери неприйнятно внаслідок випромінювання, яке може глушитися противником системою РЕБ.

Враховуючи вище зазначене, автором роботи [6] подана аналітична оцінка спроможності методів прогнозування оптимальних робочих частот ДКМ-діапазону. Резюмуючим висновком стало у потребі створення ЧДС та розробки пасивної системи оцінки заводової обстановки і розрахунку в динамічній межі оптимальних робочих частот (ОРЧ) за відомими номограмами для різних типів трас (рис. 1).

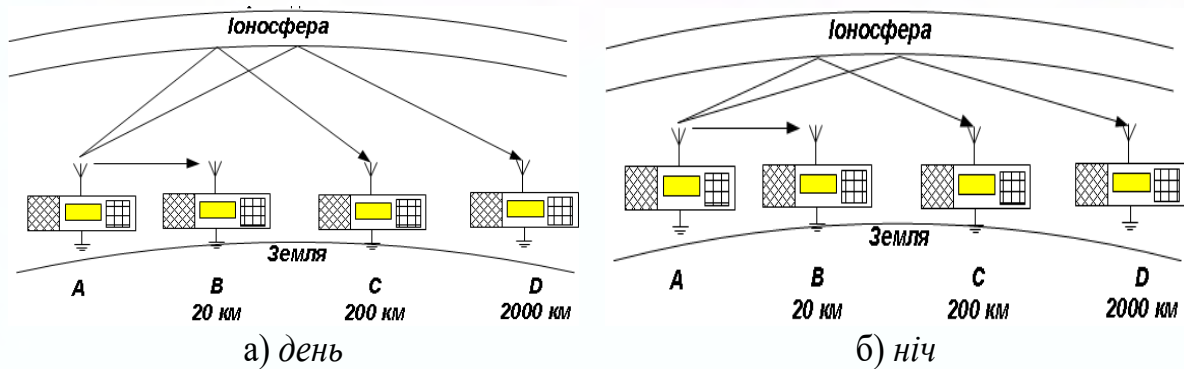


Рис. 1. Зміна поширення радіохвиль ДКМ-діапазону продовж доби

Рекомендації щодо вибору робочої частоти наведені в табл. 1. Інформація може змінюватися залежно від сезону та інших факторів.

Таблиця 1

Орієнтовні номограми значення ОРЧ

Час доби	Траса	Оптимальна робоча частота, МГц
День	A – B	3
	A – C	7-9
	A – D	13-16
Ніч	A – B	3
	A – C	5-7
	A – D	9-12

Виділення аспектів, що недостатньо вивчені. Попри відсутність у підрозділах сектора безпеки та оборони ЧДС задача про визначення заводової обстановки не знімається. Певним чином автори [7] спробували вирішити задачу в частині, що стосувалось визначення іоносферних параметрів за допомогою апаратно-програмного комплексу з використанням даних радіонавігаційних систем, як з роботи з'ясовується аналіз частотної та заводової обстановці ДКМ-діапазону не здійснюється.

Формулювання мети статті. Мета статті є обґрунтування потреби сектору безпеки та оборони у інформаційно-технічній системі дистанційного моніторингу частотної і заводової обстановки ДКМ-діапазону частот в точці розташування ймовірного кореспондента.

Результат дослідження. Рішення даної практичної задачі розглянемо через рішення системи окремих етапів завдань.

Завдання 1. Створення мережі дистанційного моніторингу частотної і заводової обстановки ДКМ-діапазону частот. Для функціонування системи аналізу частотної та заводової обстановки ДКМ-діапазону пропонується створити систему з набору відомих радіомаяків. За

якістю, рівнем проходження сигналу від радіомаяків розраховується смуга ОРЧ. Проте в даному випадку існує складність в оцінці заводовій обстановки в точці прийому (роботи маяка). Не завжди можливо забезпечити радіозв'язок лише однією потужністю передавача. В якості перешкод можуть бути малопотужні радіостанції, які обслуговують зону покриття земною хвилею або перешкоди від радіостанцій іоносферної хвилею, сигнал якої надійшов із протилежного боку.

Для врахування можливих проблем пропонується створити систему приймачів аналізаторів спектру ДКМ-діапазону за формою, яка нагадує стільникові зони. Необхідно враховувати ту особливість, що стільникові зони можуть перетинатися в радіусі впевненого радіоприймання, як це зображено на рис. 2.

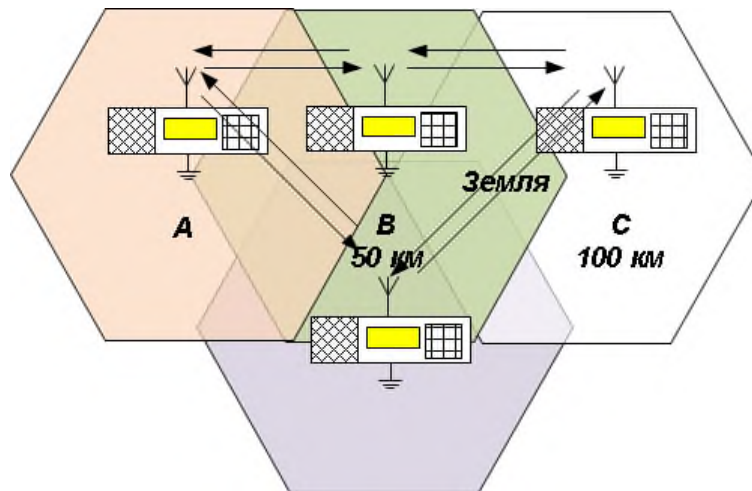


Рис 2. Стільниковий підхід до побудови структура зони аналізу частотною і заводовій обстановки ДКМ-діапазону

В результаті утворюється вибіркова зона просторово розташованих радіоприймачів (аналізаторів спектра) наприклад, запропонувавши один з методів дистанційного керування.

Завдання 2. Вибір радіотехнічних рішень та засобів реалізації системи дистанційного аналізу частотної і заводовій обстановки ДКМ-діапазону

Варіант №1. Побудова системи аналізу частотної і заводовій обстановки ДКМ-діапазону з використання радіоприймального пристрою. Можливості радіоприймальних пристроїв щодо сканування радіочастот докладно розглянуто авторами робіт [8; 9].

Функціональні можливості реалізації системи аналізу частотної і заводовій обстановки ДКМ-діапазону розкриваються при використанні панорамного радіоприймального пристрою «Галактика-М2», зовнішній вигляд якого представлений на рис 3.



Рис.3 Зовнішній вигляд радіоприймач «Галактика-М2»

Управління приймачем здійснюється з комп'ютера за допомогою інтерфейсу USB ver.1.1 або RS-232 програмним забезпеченням.

Радіоприймальний пристрій «Галактика-М2» розроблено вітчизняним заводом-виробником ТОВ «Науково-технічний центр радіотехнічних систем Академії наук прикладної радіоелектроніки» [10]. Програмний інтерфейс зображено на рис. 4.

Технічним рішенням із забезпечення дистанційного керування інтерфейсом радіо «Галактика М2» може виступати, наприклад, застосування програмного забезпечення (ПЗ) дистанційного керування робочим столом TeamViewer, Ammy admin, RAdmin або AnyDesk. За будь-якої ПЗ для реалізації дистанційного керування потрібен обов'язково доступ комп'ютер оператора до мережі Інтернет.

Недоліком цього підходу для варіанту №1 слід зазначити:

необхідність облаштування стаціонарного робочого місця оператора;

відсутня можливість одночасного використання приймача операторами

ЧДС різних постів;

потрібно обов'язкове підключення комп'ютера до мережі Інтернет;

потрібно обов'язково установка програми дистанційного управління екраном комп'ютера.

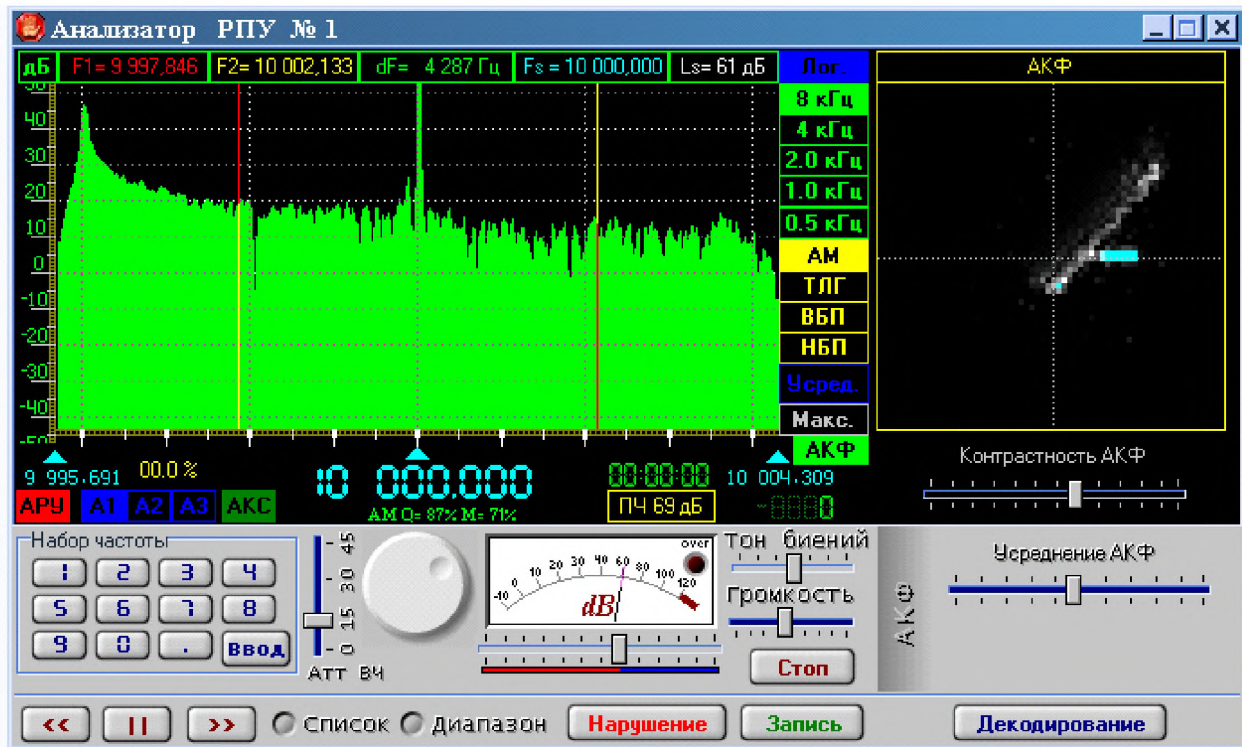


Рис. 4 Програмний інтерфейс радіо «Галактика M1»

Варіант №2. Побудови системи аналізу частотної і завадовій обстановки ДКМ-діапазону на базі Software-Defined Radio (SDR).

Принцип роботи радіоприймального пристрою SDR ґрунтується на оцифрування прийнятого радіосигналу і подальшої його обробки. Технологія прямого цифрового перетворення і прямого цифрового синтезу з діапазонними фільтрами [11] дозволяє отримати максимально високі характеристики приймального тракту [12].

Розглянемо SDR радіоприймач типу USB ТВ-тюнера DVB-T SDR на чіпі RTL2832U + R820T (RTL2832U + R820T2). Зовнішній вигляд зображено на рис. 5.

За допомогою даного SDR, можна оцінити частотну обстановку в діапазонах частот від 24 МГц до 2,2 ГГц. Для прийому частот 1,5 – 30 МГц потрібно додатково застосувати ДКМ-конвертер «upconverter». ТВ-тюнера DVB-T SDR забезпечує демодуляцію сигналів з наступними видами модуляції: AM, FM, WFM, NFM, CW, SSB. Слід відзначити унікальність даного SDR – не потрібна окрема звукова карта, достатньо лише вставити його в роз'єм USB комп'ютера або планшета, попередньо встановивши драйвера.



Рис.5. Зовнішній вигляд SDR радіоприймач USB ТВ-тюнера DVB-T SDR

RTL-SDR v5 NESDR SMARt. SDR має частотні можливості від 100 кГц до 1,75 ГГц та миттєву смугу пропускання до 3,2 МГц. ВЧ прийом нижче 25 МГц здійснюється за допомогою прямої вибірки та потребує відповідної антени (рис. 6).



Рис.6. Зовнішній вигляд RTL-SDR v5 NESDR SMARt

Варіант №3. Застосування готових рішень, наприклад, програмно-незалежного радіо WebSDR. Для цього достатньо через Інтернет зайти на сторінку web-сайт.

Принцип роботи WebSDR дуже простий – приймач і антена розташовані в певній точці прийому. Радіоприймач, підключений до Інтернету. Прийнятий приймачем WebSDR радіосигнал, не обробляється, а відразу транслюється по TCP/IP всім користувачем, які завантажили в браузері WebSDR.

Програмне забезпечення на стороні клієнта приймає цей потік і обробляє фільтрами і демодуляторами у відповідності з режимом, який користувач встановить. Типовий програмний інтерфейс радіо Wide-band WebSDR [13] представлений на рис. 7.

WebSDR забезпечує прийом радіосигналів наступних модуляцій CW, LSB, USB, AM, FM, AMsync. Частоту настроювання приймач можна змінювати з кроком 100 Гц, 1 кГц, 5 кГц, а також в режимі плавної зміни частоти. Передбачено запам'ятовування частот і смуги, а згодом трансформувати у форматі Microsoft Excel. Для організації поста аналізу необхідно також комп'ютер та мережу Інтернет. Але на відміну все ж від того ж варіанту №1 відсутня необхідність в ПЗ TeamViewer або їй подібні.

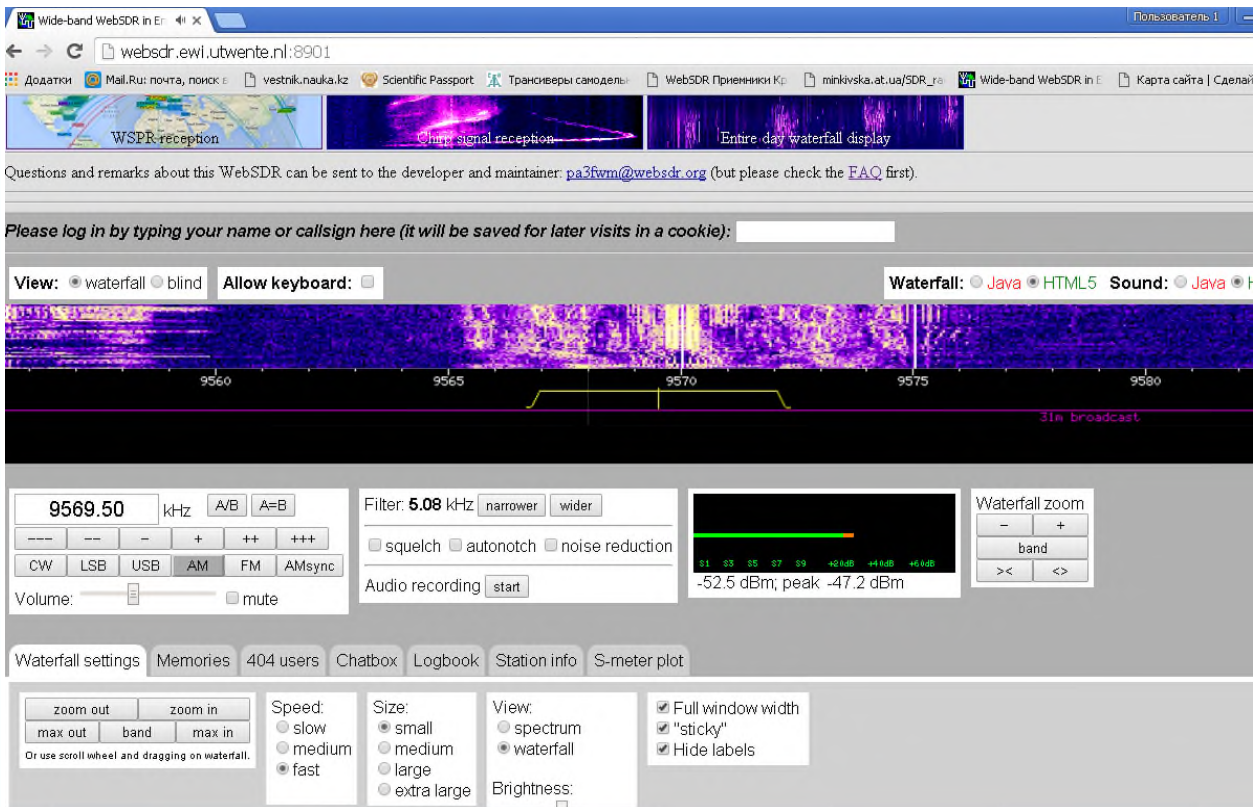


Рис. 7. Програмний інтерфейс радіо Wide-band WebSDR

На рис. 8 зображена фотографія устаткування інформаційно-технічної системи дистанційного моніторингу частотної і заводої обстановки декаметрового діапазону (робоче місце оператора).

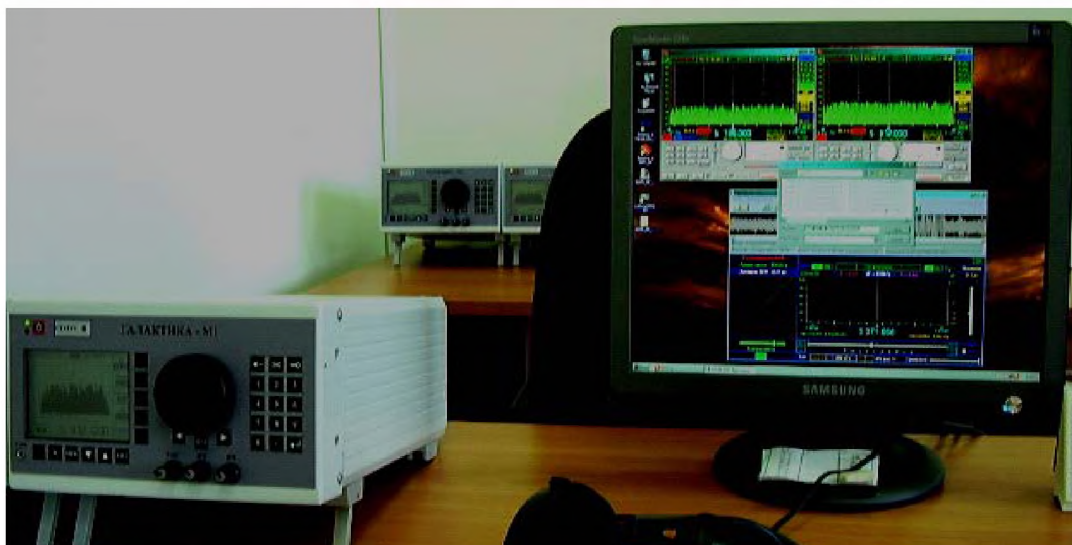


Рис. 8. Фотографія устаткування інформаційно-технічної системи дистанційного моніторингу

Висновки. Таким чином, в роботі запропоновано два варіанти рішення прикладної задачі з побудови системи дистанційного моніторингу, аналізу частотної та заводової обстановки ДКМ-діапазону. Розглянуті два варіанти рішення, з яких вибрано найбільш прийнятний варіант. Відмінністю між варіантами полягає у застосованих підходах в забезпеченні збору та передачі зацікавленої інформації про стан частотної і заводової обстановки на конкретній частоті ДКМ-діапазону. Слід зазначити, що в обох випадках необхідно наявність доступу до мережі Інтернет. Запропоноване рішення є фрагмент альтернативній повноцінній частотно-диспетчерській службі.

Дане дослідження не вичерпує повною мірою усіх аспектів окресленої проблеми. Подальші дослідження доцільно зорієнтувати на удосконаленні математичного апарату.

Література:

1. Головин О.В. Декаметровая связь. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
2. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.
3. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера: изд. 2-е, пер. и доп. М.: Наука, 1972. 563 с.
4. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространения радиоволн. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.
5. Закон України «Про національну безпеку України», від 21.06.2018 № 2469-VIII. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19>.
6. Козубцов І.М. Оцінка стану методів прогнозування оптимальних робочих частот декаметрового діапазону. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2011. №2. С.102–106.

7. Станович О.В., Легкобит В.С., Кучер В.П., Нартов Є.І. Визначення іоносферних параметрів за допомогою апаратно-програмного комплексу з використанням даних радіонавігаційних систем. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2013. № 1. С. 60–63.

8. Дьяконов В.П. Современные цифровые анализаторы спектра. *Компоненты и технологии*. 2010. №5. С. 185–195.

9. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. М.: Солон-Пресс, 2009. 248 с.

10. Радіоприймальний пристрій ВЧ-діапазону "Галактика". Технічні умови. Лист затвердження ААБЯ.464318.016 ТУЛУ. Харків: ТОВ НТЦРТС АН пре, 2005. 45 с.

11. Прямой цифровой синтез. *Электронный журнал «Радио Лоцман»*. 2012. №11. С. 21–27.

12. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. Повышение эффективности функционирования декаметровых радиолиний. *T-Сотт: Телекоммуникации и транспорт*. 2015. №2. С. 4 – 10.

13. Wide-band WebSDR // Wide-band WebSDR. URL: <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901>.

References:

1. Golovin O.V. (1990). Dekametrovaia sviaz [Decameter communication]. Moscow: Radio and Communications. [in Russia].

2. Golovin O.V., Prostov S.P. (2006). Sistemy i ustroistva korotkovolnovoi radiosviasi [Systems and devices of short-wave radio communication]. Moscow: Goriachaia liniia-Telekom. [in Russia].

3. Alpert Ia.L. (1972). Rasprostranenie elektromagnitnykh voln i ionosfera [Propagation of electromagnetic waves and the ionosphere] : 2nd ed., trans. and add. Moscow: Nauka. [in Russia].

4. Cherenkova E.L., Chernyshev O.V. (1984). Rasprostraneniia radiovoln [Propagation of radio waves]. Moscow: Radio and Communications. [in Russia].

5. Zakon Ukrainy (2018). Pro natsionalnu bezpeku Ukrainy [Law of Ukraine "On national security of Ukraine"]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19>. [in Ukrainian].

6. Kozubtsov I.M. (2011). Otsinka stanu metodiv prohnouzuvannia optymalnykh robochykh chastot dekametrovoho diapazonu [Assessment of the state of methods for predicting optimal operating frequencies of the decameter range]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy – Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, 2, 102–106. [in Ukrainian].

7. Stanovych O.V., Lehkobyt V.S., Kucher V.P., Nartov Ye.I. (2013). Vyznachennia ionosfernykh parametriv za dopomohoiu aparatno-prohramnoho kompleksu z vykorystanniam danykh radionavhatsiinykh system [Determination of ionospheric parameters using a hardware and software complex using data from radio navigation systems]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta obrony – Modern information technologies in the field of security and defense*, 1, 60–63. [in Ukrainian].

8. Diakonov V.P. (2010). Sovremennye tsifrovye analizatory spektra [Modern digital spectrum analyzers]. *Komponenty i tekhnologii – Components and technologies*, 5, 185–195. [in Russia].

9. Afonskii A.A., Diakonov V.P. (2009). Tsifrovye analizatory spektra signalov i logiki [Digital analyzers of spectrum, signals and logic]. Moscow: Solon-Press. [in Russia].

10. Radiopryimalnyi prystrii VCh-diapazonu "Halaktyka" [The radio is the closest to the HF band "Galaxy"] (2005). Tekhnichni umovy. Lyst zatverdzhennia ААБІа.464318.016 ТУЛУ. Kharkiv: TOV NTTsRTS AN pre. [in Ukrainian].

11. Priamoi tsifrovoy sintez [Direct digital synthesis] (2012). *Elektronnyi zhurnal Radio «Lotsman» – Electronic magazine "Radio Pilot"*, 11, 21–27. [in Russia].
12. Nikolashin Iu.L., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. (2015). Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniia dekametrovykh radiolinii [Improving the efficiency of decameter radio lines]. *T-Comm Telekomunikatsii i transport – T-Comm: Telecommunications and the Internet*, 2, 4–10. [in Russia].
13. Wide-band WebSDR // Wide-band WebSDR. URL: <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901>.