

УДК 378:355.233-3.071.2

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8\(22\)-353-368](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8(22)-353-368)

**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>

**Ольшанський Валентин Вікторович** доцент кафедри Бойового застосування підрозділів зв'язку, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (063) 506-43-45, <https://orcid.org/0000-0002-5788-8173>

**Філіпов Вячеслав Васильович** доцент кафедри Бойового застосування підрозділів зв'язку, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Князів Острозьких, 45/1, м. Київ, 01011, тел.: (050) 974-27-22, <https://orcid.org/0000-0001-7854-6693>

## ПРОГНОЗУЮЧІ РІШЕННЯ З ВИБОРУ СМУГИ ЧАСТОТ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В ІНТЕРЕСАХ ПІДРОЗДІЛІВ СЕКТОРА БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ УКРАЇНИ

**Анотація.** З досвіду сучасного стану бойового застосування радіостанцій виробництва компанії Harris у польових умовах встановлено потребу у плануванні та організації декаметрового радіозв'язку. Надійність і якість роботи декаметрового радіозв'язку залежить від множини параметрів, а саме умов поширення радіохвиль декаметрового діапазону, потужності радіопередавача, типу антен (конфігурації, діаграми направленості, коефіцієнта підсилення). На разі існує кілька підходів до планування декаметрового радіозв'язку як земною, так і просторовою радіохвилею. Ключовою їх відмінністю є потреба у вихідних даних, від яких залежить точність розрахунків. Для задоволення потреб сектору безпеки та оборони України в умовах війни у організації декаметрового радіозв'язку вирішення поставленої задачі ускладнено внаслідок збігу ряду обставин: відсутністю фахівців за профілем експлуатації засобів декаметрового радіозв'язку та антенної техніки; відсутністю єдиного механізму планування оперативної множини РЧ для своєчасного маневрування ними. Для організації

декаметрового радіозв'язку в інтересах підрозділів сектору безпеки та оборони України довжина траси коливається в межах від 75 до 500 км. Такий тип траси є проміжним між земною та іоносферною хвилею і в результаті ускладнений в обчислюванні. В роботі вирішувалась наукова задача з розрахунку гарантованого радіозв'язку на трасах довжиною до 150 км. Запропоновано коміркову структуру побудови зон покриття впевненого декаметрового радіозв'язку поверхневою хвилею для розрахунку та планування частот. Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше вирішено прикладну задачу організації радіозв'язку на короткі відстані до 150 км в ДКМ діапазоні.

**Ключові слова:** радіостанція, планування, організація, прогнозування, декаметровий діапазон, сектор безпеки та оборони, радіозв'язок.

**Kozubtsov Igor Nikolaevich** 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>

**Olshanskyi Valentyn Viktorovych** Associate 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) 506-43-45, <https://orcid.org/0000-0002-5788-8173>

**Filipov Viacheslav Vasylovych** Associate 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.: (050) 974-27-22, <https://orcid.org/0000-0001-7854-6693>

## **PREDICTIVE DECISIONS ON THE CHOICE OF A DECAMETER FREQUENCY BAND FOR RADIO COMMUNICATIONS IN THE INTERESTS OF UNITS OF THE SECURITY AND DEFENSE SECTOR OF UKRAINE**

**Abstract.** Based on the experience of the current state of combat use of Harris radio stations in the field, the need for planning and organizing decameter radio communications has been established. The reliability and quality of decameter radio communication depends on many parameters, namely, the conditions of propagation of decameter radio waves, the power of the radio transmitter, the type of antennas (configuration, directional pattern, gain). Currently, there are several approaches to



planning decimeter radio communication with both terrestrial and spatial radio waves. Their key difference is the need for source data, which determines the accuracy of calculations. To meet the needs of the security and defense sector of Ukraine in the conditions of war in the organization of decimeter radio communication, the solution of this task is complicated due to a combination of a number of circumstances: the lack of specialists in the field of operation of decimeter radio communication and antenna equipment; the lack of a single mechanism for planning the operational set of RF for timely maneuvering. For the organization of decimeter radio communication in the interests of units of the security and defense sector of Ukraine, the length of the route ranges from 75 to 500 km. This type of route is intermediate between the Earth's and ionospheric waves and is therefore difficult to calculate. The paper solved a scientific problem based on the calculation of guaranteed radio communication on routes up to 150 km long. A cellular structure for constructing zones covering confident decimeter radio communications with a surface wave for calculating and planning frequencies is proposed. The scientific novelty of the work lies in the fact that for the first time the applied problem of organizing radio communication over short distances up to 150 km in the DCM range was solved..

**Keywords:** radio station, Planning, Organization, forecasting, decimeter range, security and defense sector, radio communications.

**Постановка проблеми.** Надійність і якість роботи декаметрового (ДКМ) радіозв'язку залежить від множини параметрів, а саме: умов поширення радіохвиль декаметрового діапазону, потужності радіопередавача, типу антен (конфігурації, діаграми направленості, коефіцієнта підсилення) тощо [1, 2]. Здавалось б цих вихідних даних достатньо, однак практика польових випробувань радіостанцій показує необхідність вибору робочих частот (РЧ) із складеного прогнозу оптимальних робочих частот (ОРЧ) [3, 4]. На радіо центрі має бути група частот в межах яких оперативно можна було б реалізувати своєчасне маневрування РЧ. Дане питання частково вирішено в методиці складання частотно-почасового розкладу роботи військових радіозасобів декаметрового діапазону на основі методів прогнозування робочих частот [5].

Проте для задоволення потреб сектору безпеки та оборони України в умовах війни у організації декаметрового радіозв'язку вирішення поставленої задачі ускладнено внаслідок збігу ряду обставин: відсутністю фахівців за профілем експлуатації засобів декаметрового радіозв'язку та антенної техніки; відсутністю єдиного механізму планування оперативної множини РЧ для своєчасного маневрування ними.

**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. Із інтенсивним опануванням СВЧ-діапазону радіочастот та розвитком технологій цифрового радіозв'язку слід констатувати згасання зацікавленості дослідників до підвищення надійності радіозв'язку та спроможності ДКМ-діапазону.

У роботі [6] обґрунтовано методику складання частотного розкладу радіостанції ДКМ діапазону з урахуванням міжстанційних завад. Однак для її реалізації необхідні вихідні дані щодо поточних значень оптимальної робочої частоти (ОРЧ) в межах максимально застосовної (МПЧ) та мінімально застосовної (НПЧ) частот. Ці дані обиралися з російськомовних джерел, оскільки в Україні відсутня іоносферна-хвильова служба.

Фахівцями НПФ «Радіан-М» зроблено спеціальне програмне забезпечення «Прогноз проходження радіохвиль і доступності зв'язку на заданих частотах» [7]. Як запевнюють автори, застосування розробленого програмного забезпечення прогнозування розповсюдження ДКМ-радіохвиль дозволяє значно підвищити ефективність планування радіозв'язку. Безумовно дане рішення є складовою напрямку підвищення надійності військової декаметрової радіолінії [8; 9], однак в умовах потенційної загрози це не безпечно. Тому ще за довго до російсько-українського конфлікту автором роботи [10] зроблена аналітична оцінка стану методів прогнозування оптимальних робочих частот ДКМ діапазону за результатами якого зроблено висновок, що у військових частинах Збройних Сил України стан критичний, внаслідок чого запропоновано користуватися перевіреним часом метод номограм вибору ОРЧ в межах максимально застосовної (МПЧ) та мінімально застосовної (НПЧ) частот детально описаний в керівництві з організації іоносферно-хвильової і частотно-диспетчерської служби на вузлах зв'язку сектору безпеки та оборони України.

Поданий авторами [11] опис апаратно-програмного комплексу з використанням даних радіонавігаційних систем для визначення іоносферних параметрів, які у Методиці автоматизованого розрахунку радіоліній при зв'язку земною хвилею [12] не реалізовані на практиці.

Відомо, що межі МПЧ, НПЧ істотно змінюються в залежності від сезону та часу дня, то зроблено спробу будувати сезонний прогноз тренду оптимальних робочих частот ДКМ діапазону методами технічного аналізу [13] виявився складним на практиці в умовах обмеження вихідних даних. Тому, за певних умов є доцільність застосування спрощеного радіопрогнозу ОРЧ [14].

**Виділення аспектів, що недостатньо вивчені.** З іншого боку є потреба у вирішенні задачі практичного характеру з організації радіозв'язку на відстані до 150 км в ДКМ діапазоні для роботи радіостанціями MPR-9600 виробництва компанії Harris малої (до 20 Вт) та середньої (до 125 Вт) потужності.



**Мета статті** – є прогнозування, вибору та розподілу частот ДКМ радіозв'язку в інтересах сектору безпеки та оборони України. Для досягнення мети поставлено такі задачі: 1. Проаналізувати сучасний стан досліджень та публікацій. 2. Обґрунтувати підхід до прогнозування та вибору, розподілу частот ДКМ радіозв'язку в інтересах сектору безпеки та оборони України.

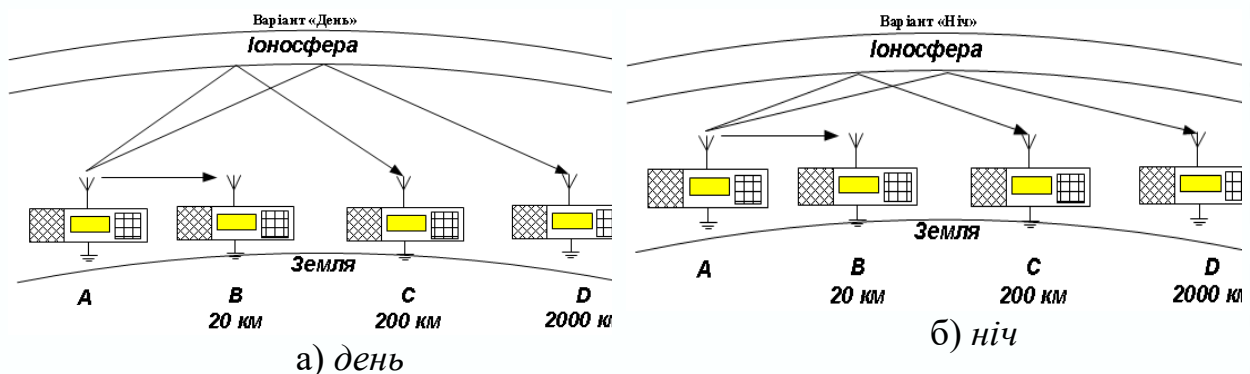
**Виклад основного матеріалу.** Рішення даної практичної проблеми можливо лише в комплексному підході врахування ключових факторів, які розглянемо як окремі під задачі.

**Задача 1. Визначення смуги динамічного діапазону РЧ.** Має виконуватися наступні умови  $РЧ = ОРЧ$ , при чому  $НПЧ \leq ОРЧ \leq МПЧ$  [3].

Задачу доцільно вирішувати застосовувавши методи прогнозування з врахуванням геомагнітної обстановки (циклу Сонячної активності  $W$ ). Для цього доречно використовувати чисельні рекомендації Міжнародного союзу електров'язку.

В польових умовах дій зацікавлених підрозділів сектору безпеки та оборони України не завжди є доступ до мережі Інтернет, а отже і скористатися відповідними розрахунками ( $W$ ). В таких невизначених умовах обрати смугу динамічного діапазону РЧ можливо лише за даними типових номограм НПЧ, МПЧ. При чому точність такого прогнозу може не дуже високою, однак за рахунок підходу до вибору частот згладжує неточність. Це припущення буде обґрунтовано при розгляді під задачі 2.

На лініях ДКМ радіозв'язку з одним віддзеркаленням від іоносфери, умови розповсюдження радіохвиль визначаються ступенем іонізації шарів  $E$  і  $F_2$  в точці відбивання. Ступінь же іонізації залежить від часу доби і року, від 11-річного періоду сонячної активності, від іоносферних збурень і географічних координат точки відбивання. Всі ці чинники визначають можливість і стійкість ДКМ-радіозв'язку та потрібно враховувати. На приведених нижче рисунках (рис. 1) показані характеристики просторової і відбитої хвилі вдень і вночі.



**Рис. 1.** Схема ДКМ-радіолінії та шлях поширення радіохвиль

В кожному випадку схематично показана висота іоносфери. На обох рисунках станція А встановлює радіозв'язок із станціями В, С, D. ДКМ-радіозв'язок між станціями А і В здійснюється за допомогою просторової хвилі. На рисунку видно, що зв'язок між цими станціями не залежить від часу доби і висоти іоносфери над землею. ДКМ-радіозв'язок між станціями А і С, D забезпечується за рахунок відбитої хвилі, а тому залежить від часу доби і висоти іоносфери над землею. Рекомендації по вибору робочої частоти приведені в табл. 1. Враховуйте, що дані відомості можуть мінятися залежно від пори року і інших чинників.

Таблиця 1

**Оптимальна робоча частота**

Час доби	Траса	Оптимальна робоча частота	Графічне зображення
День	А – В	3 МГц	Рисунок 1, а)
	А – С	7-9 МГц	
	А – D	13-16 МГц	
Ніч	А – В	3 МГц	Рисунок 1, б)
	А – С	5-7 МГц	
	А – D	9-12 МГц	

Оскільки сонце знаходиться високо, шар іоносфери теж знаходиться високо – рекомендується використовувати більш високочастотну ділянку ДКМ.

Оскільки сонце знаходиться низько, шар іоносфери теж знаходиться низько – рекомендується використовувати більш низькочастотну ділянку ДКМ.

**Задача 2. Вибір вільних смуг частот обраної смуги динамічного діапазону ДРЧ.** Сучасна практика свідчить, що при невиконанні цієї умови на етапі планування виникають міжстанційні завади головним чином через чотири обставини: 1) між своїми радіо засобами внаслідок не централізованого узгодження; 2) завад від радіозасобів інших служб (фіксованої, рухомої, сухопутної, морської або повітряної); 3) радіомовних станцій; 4) радіоаматорський радіозв'язок. Тому при плануванні ДРЧ потрібно враховувати значення таблиці розподілу смуг радіочастот України [15].

Для наочного і полегшеного користування таблицею розподілу смуг радіочастот України на практиці доречно побудувати в Microsoft Excel з урахуванням частотного спектру розподілу смуг декаметрового діапазону за радіослужбами, як приклад подано на рис. 2.

Обґрунтування приводилось на постановочному експерименті [5].



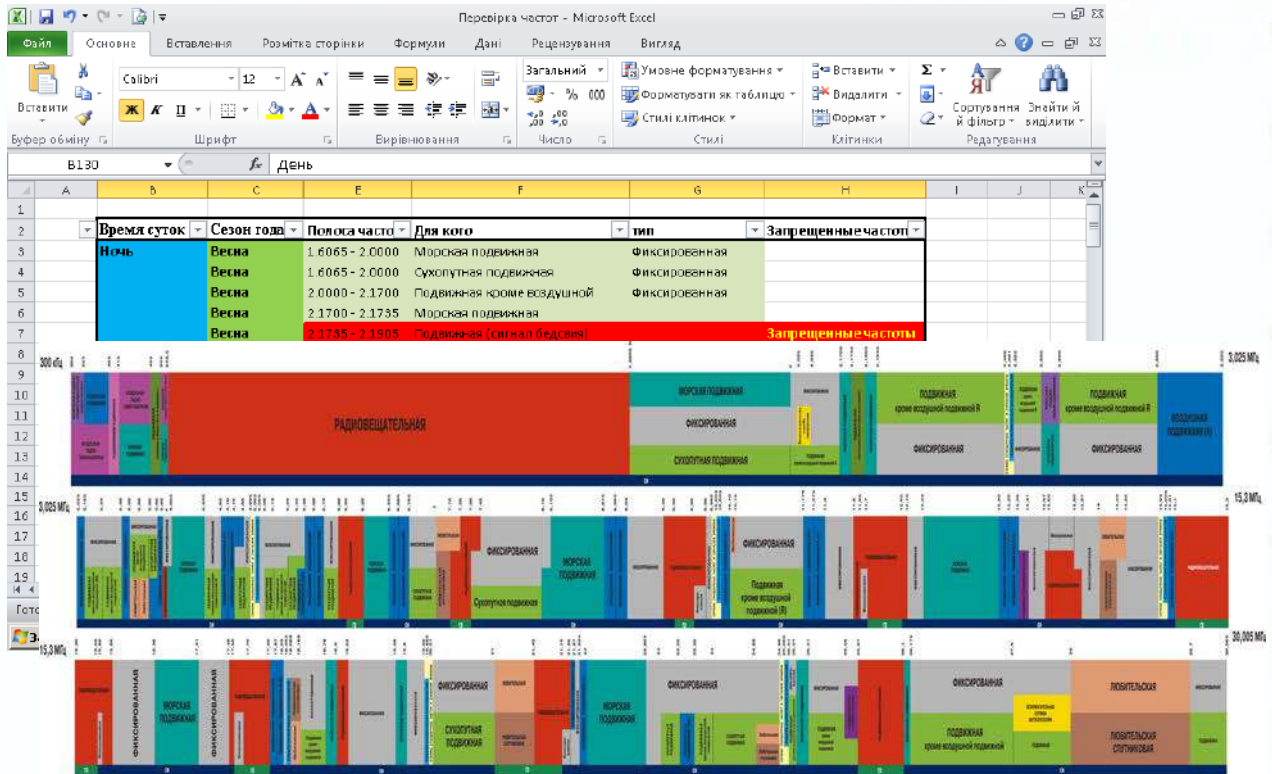


Рис. 2. Розподіл смуг радіочастот України

### Задача 3. Розрахунок зони покриття роботи ДКМ-радіозасобів поверхневою хвилею.

Питання вибору частот для роботи ДКМ-радіозасобів просторовою хвилею на відстань від 500 км для задоволення потреб сектору безпеки та оборони України розглянуто в роботі [5]. Предметом розгляду в даній статті є випадок організації ДКМ-радіозв'язку поверхневою хвилею на відстань до 150 км для задоволення потреб сектору безпеки та оборони України.

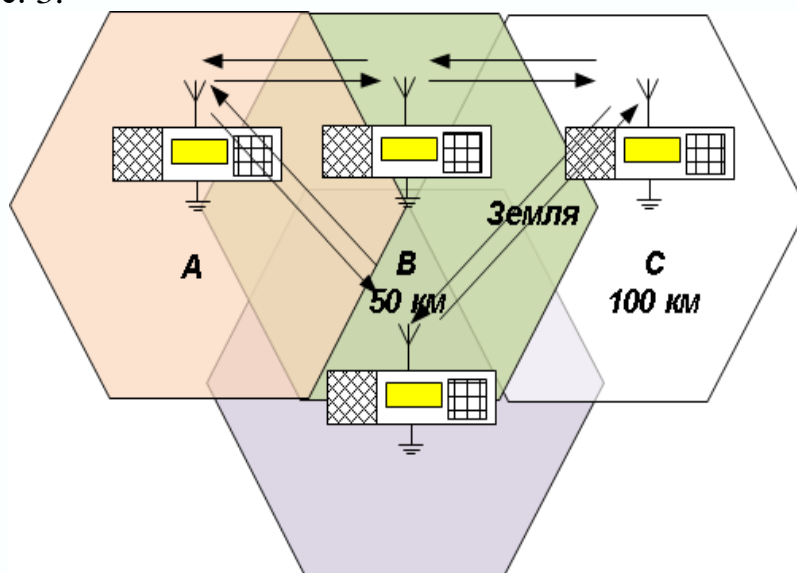
Розглянемо коміркові зони дії радіостанції [16]. Залежно від потужності передавача, типу антени, характеру місцевості, робочої частоти і кліматичних умов на різних відстанях від передавальної антени виявляється різна напруженість поля. По величині цієї напруженості всю поверхню землі навколо передавальної радіостанції можна розмежувати на області, які можна розглядати як зону дії радіостанції.

Якщо, наприклад, для впевненого ДКМ-радіозв'язку необхідна напруженість поля не менше 3 мкВ/м, то зону, в якій напруженість поля вище 3 мкВ/м, можна буде вважати зоною корисної дії поверхневих радіохвиль даної станції. За межами цієї зони напруженість поля буде менше 3 мкВ/м, тобто недостатньою для впевненого радіозв'язку. Проте ця напруженість може бути достатньою для того, щоб при хорошій антені і чутливому приймачі підслухувати передачу радіостанції, а також заважати прийому іншої

радіостанції, що працює на такій же робочій частоті. Зону, в якій ускладнений безперервний ДКМ-радіозв'язок і створюються взаємні перешкоди в роботі радіозасобів, називатимемо зоною дії, що заважає.

Для зменшення перешкод своїм радіостанціям необхідно завжди прагнуть скорочувати зону дії, що заважає. Тому усюди, де це можливо, слід використовувати направлені антени і працювати з мінімальною потужністю, достатньою для стійкого зв'язку.

Для утворення коміркових зон необхідно утворити умовні зони впевненого ДКМ-радіозв'язку поверхневою хвилею, наприклад прив'язавши її до території України. Такими зонами може виступати адміністративно-територіальний поділ України по областях. Необхідно враховувати, що коміркові зони можуть перетинатися в радіусі впевненого радіоприйому, як це зображено на рис. 3.



*Рис. 3. Комірковий підхід до побудови структура зони ДКМ-радіозв'язку поверхневою хвилею*

Наближена перевірка дальності зв'язку поверхневими радіохвилями

Необхідність перевірки дальності зв'язку поверхневими радіохвилями виникає у багатьох випадках практики.

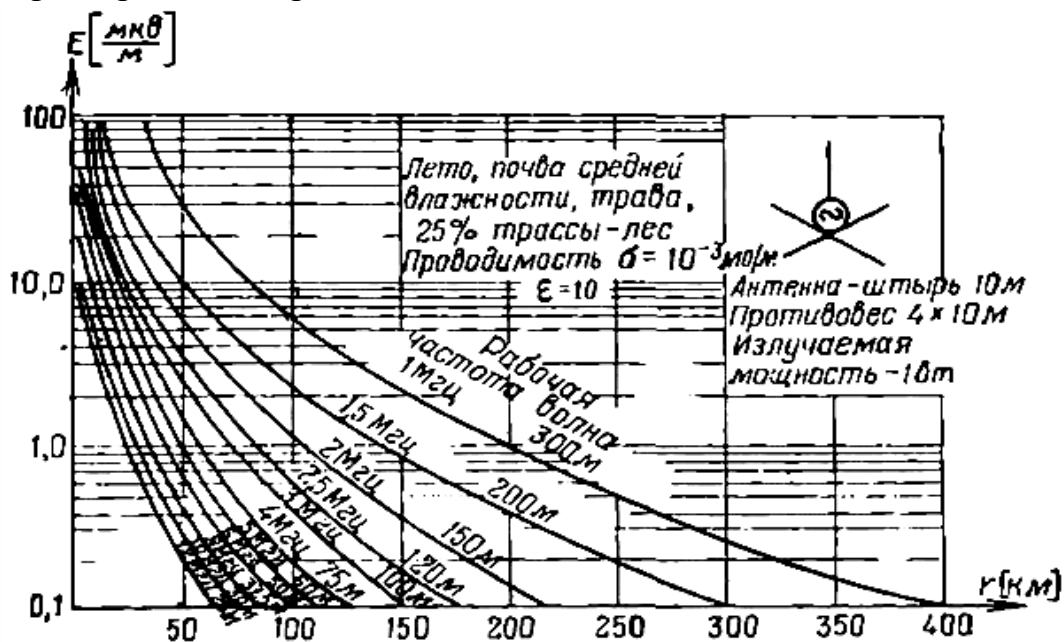
Для цього дуже часто користуються графіками Міжнародного консультативного комітету радіозв'язку (МККР), побудованими для випромінюваної потужності в 1 кВт і різних видів поверхні землі.

Значно простіше проводити наближену перевірку дальності зв'язку декілька видозміненим графікам МККР Освоївши методику такої перевірки, можна правильно вибирати робочі хвилі, тип радіостанції і антени, необхідні для забезпечення стійкого радіозв'язку навіть в найскладніших умовах.

Для наближеної перевірки дальності радіозв'язку поверхневими



радіохвилями скористаємося графіками, приведеними на рис. 4 [17]. На графіках подано залежність напруженості поля від частоти і відстані між точкою прийому і передавальною радіостанцією. Графік кривих (напівлогарифмічному масштабі) показують зміну напруженості поля залежно від відстані для частот від 1 МГц до 12 МГц. Вони побудовані для випадку, коли хвиля розповсюджується над середньою по поглинанню трасою — поверхнею землі, покритою травою і на 25% лісом, в літній час. Така середня траса характерна для України.



Рису. 4. Графік залежності напруженості поля від частоти та відстані

Розрахунок кривих зроблений для 10-метрової вертикальної антени з противагою з чотирьох променів по 10 м кожен, причому потужність випромінювання антени прийнята рівною 1 Вт. Називатимемо цю антену скорочено розрахунковою. Цим же графіком можна скористатися і для розрахунку дальності зв'язку поверхневими хвилями при іншій потужності передавача, трасі, антені, якщо відповідним чином врахувати це.

Дальність ДКМ-радіозв'язку залежить перш за все від напруженості поля, яку необхідно створити в точці прийому для упевненої роботи приймального пристрою. Цю напруженість позначимо через  $E_n$  і для неї вестимемо всі розрахунки.

Допустимо, що радіостанція працює на частоті 3 МГц, потужність випромінювання 1 Вт, траса зв'язку середня за якістю, а норма напруженості поля  $E_n = 10$  мкВ/м. Щоб визначити по графіку (рис. 5) дальність зв'язку, проведемо горизонтальну лінію на рівні 10 мкВ/м до перетину з кривій,

відповідній частоті 3 МГц, і опустимо перпендикуляр на горизонтальну вісь. Точка перетину перпендикуляра з горизонтальною віссю вкаже дальність радіозв'язку (25 км).

Оскільки напруженість поля пропорційна квадратному Кореню з випромінюваної потужності, антена з потужністю випромінювання  $P_{\Sigma}$  на тій же відстані створюватиме напруженість поля, велику в  $\sqrt{P_{\Sigma}}$  разів. Позначивши напруженість поля для потужності в 1 Вт (розрахункову напруженість) через  $E_p$ , складемо пропорцію

$$\frac{E_p}{E_H} = \frac{1 \text{ Вт}}{\sqrt{P_{\Sigma} [\text{Вт}]}} \quad (1)$$

звідси

$$E_p = \frac{E_H}{\sqrt{P_{\Sigma}}} = \frac{E_H}{\sqrt{P_A \cdot G}} \quad (2)$$

Знаючи величину  $E_p$ , по графіку (рис. 5) знайдемо відповідну дальність радіозв'язку.

Величина потужності  $P_A$ , що віддається передавачем в антену, береться з інструкції до конкретного радіо засобу.

Якщо траса зв'язку відмінна від траси середньої якості, то умови проходження поверхневих хвиль над нею зміняться; енергія поверхневих хвиль поглинається або більше, або менше, і напруженість поля при одних і тих же відстанях, типі антени, потужності в ній і частоті або зменшується, або збільшується.

Вплив характеру траси враховується за допомогою поправочного коефіцієнта  $K_E$  (рис. 5), який показує, як змінюється напруженість поля залежно від характеру траси.

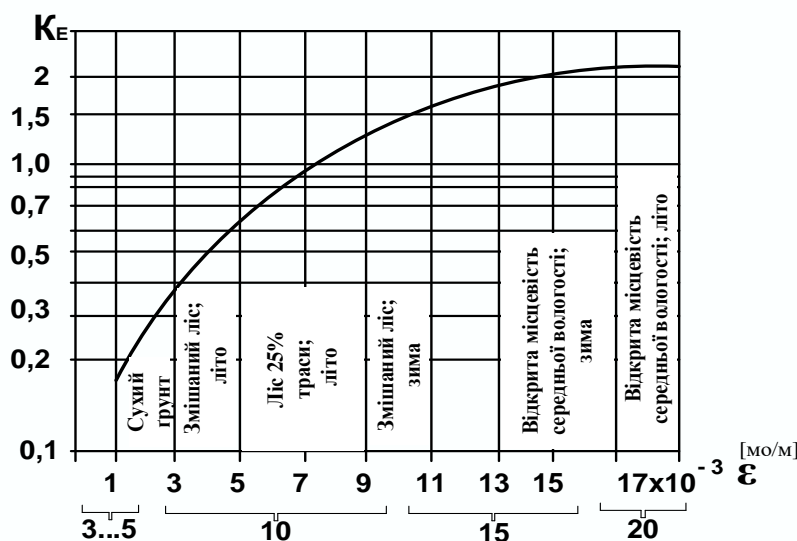


Рис. 5. Значення коефіцієнта  $K_E$  для різних трас ДКМ-радіохвиль



Для траси середньої якості  $K_E = 1$ . Для ґрунту з поганою провідністю (сухий ґрунт)  $K_E = 0,3$ . Це означає, що за інших однакових умов напруженість поля поверхневої хвилі, що розповсюджується над сухим ґрунтом, складає тільки 0,3 напруженості поля хвилі, що розповсюджується над трасою середньої якості. Якщо траса – змішаний ліс, то літом  $K_E \approx 1,5$ , тобто Напруженість поля у півтора рази більше, чим над стандартною трасою.

Таким чином, остаточна розрахункова формула для наближеної перевірки дальності зв'язку поверхневими хвилями  $E_p$  розраховується за формулою (1).

Отже, для розрахунку дальності зв'язку повинні бути відомі: робоча частота  $f_{роб}$  (задана або вибрана); потужність передавача в антені  $P_A$  (відома з інструкції або отримана в результаті технічної перевірки); тип антени (вибирається для даних умов зв'язку); стан поверхні уздовж траси зв'язку (відомо по карті, стану погоди і пори року).

**Задача 4. Вибір частот для роботи ДКМ радіозасобів поверхневою хвилею децентралізованим способом.**

Складність у рішенні даної задачі полягає в тому, щоб забезпечити узгодженість роботи радіозасобів уникаючи вибору однакових частот в наслідок яких виникають міжстанційні завади. Для цього достатньо дотримуватися певного правила (3):

$$\sum_{j=0}^g f_{роб_j} = \left( \sum_{i=0}^n (f_{орч} + f_i) + f_j \right) \quad (3)$$

де  $g$  – група частот необхідна для роботи однотипних радіозасобів з урахуванням можливості гарячого резервування;  $i$  – порядковий номер умовної зони в якій перебуває зразок радіозасобу;  $f_{орч}$  – оптимальна робоча частота.

При децентралізованому плануванні групи частот для ДКМ-радіозасобів до групи частот в принципі можна додатково включати частоти зон невпевненого прийому. Тобто, з групи виключити саме ті частоти які відповідають частотам суміжних зон, при роботі радіозасобів на них будуть утворюватися впевнені завади.

**Задача 5. Вибір типу антен для ДКМ-радіозв'язку земними хвилями.**

На відміну від задачі, що розглядалася в роботі [5] в рамках поточного дослідження розглядається траса радіозв'язку максимальною довжиною радіолінії 150 км. При цьому критичним цікавили довжини траси ДКМ радіозв'язку 1,5; 20; 30; 50 – 75 та 100 км.

Отже, важливою позитивною якістю ДКМ радіозв'язку поверхневими радіохвилями є стійкість напруженості поля в точці прийому, оскільки поле земної хвилі практично залишається незмінним незалежно від часу доби, року, метеорологічних і космічних явищ.

Недоліком ДКМ радіозв'язку поверхневою хвилею є обмежена дальність радіозв'язку, так за рахунок поглинання радіохвиль напівпровідною земною поверхнею і за рахунок екрануючої дії її кривизни, напруженість поля убуває з відстанню значно швидше, ніж у вільному просторі.

Дальність радіозв'язку земною хвилею істотно залежить від: параметрів ґрунту; довжини радіохвилі; вибраного типу антен її властивостей; потужності передавача; чутливості приймача; властивостей середовища, в якому розповсюджуються радіохвилі.

Основні вимоги до антен, що працюють земною хвилею:

1) максимум випромінювання повинен бути направлений уздовж поверхні землі;

2) мінімум випромінювання, відмінного від лінії горизонту;

3) антена повинна випромінювати (приймати) вертикально поляризовані хвилі, оскільки поле, з горизонтальною поляризацією швидше затухає уздовж землі;

4) для визначення діапазону застосування антени необхідно виходити з того, що вона повинна працювати на резонансній хвилі;

5) антени, призначені для роботи поверхневою хвилею, повинні мати несиметричну систему, в яких другий затиск передавача підключається до заземлення або протываги. Роль протываги у рухомих радіостанціях служить металевий корпус рухомого об'єкту.

Зазначеним вимогам відповідають два основні типи антен штирові і дротяні, параметри їх наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Характеристики основних типів антен (класифікація за діапазоном частот)**

Тип антени	Діапазон частот (МГц)	Дальність зв'язку (км)
Вібратор горизонтальний ВГД 2x1	0.1-20	0-60 200-2000
Вібратор горизонтальний ВГД	0.1-20	0-60 200-2000
Вібратор горизонтальний ВГДШ	0.1-20	0-60 200-2000
Нахилена Т-подібна антена Т2x40	1.5-2	0-60
Антенна зенітного випромінювання АЗИД	1.5-14	100-300
Нахилена Т-подібна антенна Т2x11	2-4	0-60
Нахилена Т-подібна антенна Т2x13 (прийомна)	2-5	0-60
Штирова вібраторна антенна ШТ-10	4-14	0-100
Штирова вібраторна антенна ШТ-4	14-50	0-60
$\lambda$ -подібна антенна $\lambda$ -60/15	20-60	0-150
Об'ємна несиметрична вібраторна антенна з протывагою ОВ	2-80	0-150



Радіозв'язок просторовими хвилями на ближні дистанції рекомендується підтримувати на довших хвилях робочого діапазону, оскільки вони затухають швидше, і отже, зона не тільки корисної, але і шкідливої дії зменшується.

Для зв'язку поверхневими радіохвилями необхідно застосовувати антени з малими коефіцієнтами посилення вгору, а для зв'язку просторовими хвилями – антени зенітного випромінювання з мінімальним коефіцієнтом посилення уздовж земної поверхні.

У практиці роботи на коротких хвилях трапляється, що радіозв'язок на відстані, наприклад, 30–150 км виявлявся неможливим, а на великі відстані – вона виходить хорошою.

У зоні мовчання напруженість поля поверхневих радіохвиль нижче за норму для упевненого прийому, а просторові хвилі або зовсім відсутні, або напруженість їх ще недостатня для упевненого прийому.

Існування зон мовчання характерне для радіостанцій, що мають штирові антени, антени «нахилений промінь» і частково Z-подібні антени, тобто антени з нульовим або малим випромінюванням в зеніт. При таких антенах відбиті іоносферою хвилі повертаються на землю на великих відстанях від передавальної станції. Зовсім інакше розташуються зони дії тієї ж радіостанції при використанні симетричного вібратора зенітного випромінювання, зокрема, зникне зона мовчання.

Зона дії, що заважає, при зв'язку поверхневими радіохвилями зменшується у разі застосування T-подібної антени. Така антена слабо випромінює вгору і більше, ніж штир, випромінює уздовж землі.

Розміри зон дії радіостанції залежать від будови іоносфери, потужності і спрямованості випромінювання, норми поля і робочої частоти. Із збільшенням потужності і пониженням робочої частоти зони дії поверхневих і просторових хвиль зближуються, зона мовчання зменшується. При переході від дня до ночі зменшується зона поверхневого променя із-за зростання перешкод від дальніх ДКМ-радіостанцій, зона мовчання розширюється унаслідок збільшення висоти шару, що відображає, а зона просторової хвилі і зона дії, що заважає, збільшуються.

Зміни висоти іонізованих шарів і розмірів зон приводять до необхідності зміни робочих хвиль (частот) для забезпечення цілодобового зв'язку. Оскільки в нічний час точка відбивання вища, ніж в денне, вночі застосовують довші хвилі, які, сильніше заломлюючись в іонізованому шарі, відбиваються в ту ж точку прийому, що і коротші хвилі вдень.

**Висновки.** В дослідженні вирішено прикладну задачу організації радіозв'язку на короткі відстані до 150 км в ДКМ діапазоні радіостанціями виробництва компанії Harris. Розглянуто типові задачі з якими стикається фахівці з експлуатації засобів декаметрового радіозв'язку сектору безпеки та

оборони України. Окремо слід розглянути питання вдосконалення підготовки фахівців за профілем експлуатації засобів декаметрового радіозв'язку та антенної техніки для потреб сектору безпеки та оборони України в умовах спаду інтересу до декаметрового радіозв'язку.

Дане дослідження не вичерпує повною мірою усіх аспектів окресленої проблеми.

#### Література:

1. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера: изд. 2-е, пер. и доп. М.: Наука, 1972. 563 с.
2. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространения радиоволн. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.
3. Головин О.В. Декаметровая связь. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
4. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.
5. Козубцов І.М., Міночкін А.І., Кокотов О.В. Методика складання частотно-почасового розкладу радіозасобів декаметрового діапазону. *The improvement of the quality, reliability and long usage of technical systems and technological processes V international conference (Sharm el Sheikh, Egypt december 7-14, 2008)*. С. 31–34.
6. Козубцов І.М. Методика складання частотного розкладу радіостанції короткохвильового діапазону з урахуванням міжстанційних завад. Збірник тез. III Науково-практичного семінару «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення». (Київ, 8 грудня 2005). ВІТІ НТУУ «КПІ», 2006. С. 58–59.
7. Ладанов М.В. Прогнозирование распространения радиоволн декаметрового диапазона в интересах радиочастотной службы Российской Федерации. ООО НПФ "Радіан-М". URL: [www.radian-m.ru/docs/article/2012RSpectr.pdf](http://www.radian-m.ru/docs/article/2012RSpectr.pdf).
8. Козубцов І.М., Пилипенко А.А. Напрямки підвищення ефективності систем короткохвильового радіозв'язку. *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. Технічні науки: Збірник наукових праць ЖВІРЕ*. 2006. Вип. 10. С. 178–183.
9. Козубцов І.М. Вибір перспективного напрямку підвищення надійності військової декаметрової радіолінії. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2011. №3. С. 27–30.
10. 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.
11. 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.
12. Костенко І.Л., Поздняк В.П., Блащук С.М., Казіміров О.О., Поляцко В.В. Методика автоматизованого розрахунку радіоліній при зв'язку землею хвилею. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2021. № 1(42). С. 110–117.
13. Козубцов І.М., Криховецький Г.Я. Сезонний прогноз тренду оптимальних робочих частот декаметрового діапазону методами технічного аналізу. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2012. №1. С. 37–41.



14. Козубцов І.М. Доцільність застосування спрощеного радіопрогнозу оптимальних робочих частот декаметрового діапазону для систем фіксованого радіозв'язку. *Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2008»*: Матеріали 4-ої міжнародної молодіжної НТК, (Севастополь, 21 – 25 квітня 2008). С. 300.

15. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» від 15.12.2005 №1208. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-п>.

16. Верещагин Е.М. Антенны и распространения радиоволн. М.: Воениздат МО СССР, 1964. 240 с.

17. Гряник М.В., Ломан В.И. Распространение радиоволн: Учебное пособие. К.: КВИДКУС, 1989. 382 с.

### References:

1 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].

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

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

4 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].

5. Kozubtsov I.M., Minochkin A.I., Kokotov O.V. (2008). Metodyka skladannia chastotno-pochasovoho rozkladu radiozasobiv dekametrovoho diapazonu [Methodology for drawing up a frequency-hourly schedule of decameter-band radio equipment]. *The improvement of the quality, reliability and long usage of technical systems and technological processes V international conference* (pp.31–34). Sharm el Sheikh, Egypt. [in Ukrainian].

6. Kozubtsov I.M. (2005). Metodyka skladannia chastotnoho rozkladu radiostantsii korotkokhvyloвого diapazonu z urakhuvanniam mizhstantsiinykh zavod [Methodology for drawing up a frequency schedule of a short-wave radio station, taking into account inter-station interference]. *Zbirnyk tez. III Naukovo-praktychnoho seminaru «Priorityetni napriamky rozvytku telekomunikatsiinykh system ta merezh spetsialnoho pryznachennia» - Collection of abstracts. III scientific and practical seminar "priority areas for the development of telecommunications systems and special-purpose networks"*, (pp. 58–59). Kyiv, VITI NTUU «KPI». [in Ukrainian].

7. Ladanov M.V. (2012). Prognozirovanie rasprostraneniia radiovoln dekametrovogo diapazona v interesakh radiochastotnoi sluzhby Rossiiskoi Federatsii [Forecasting the propagation of decameter radio waves in the interests of the radio frequency Service of the Russian Federation]. ООО NPF «Radian-M», [www.radian-m.ru/docs/article/2012RSpectr.pdf](http://www.radian-m.ru/docs/article/2012RSpectr.pdf). [in Russia].

8. Kozubtsov I.M., Pylypenko A.A. (2006). Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti system korotkokhvyloвого radiozv'iazku [Directions for improving the efficiency of short-wave radio communication systems]. *Problemy stvorennia, vyprovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system. Tekhnichni nauky: Zbirnyk naukovykh prats ZhVIRE – Problems of creating, testing, applying and operating complex information systems. Technical Sciences: collection of scientific works of ZhVIRE*, 10, 178–183. [in Ukrainian].

9. Kozubtsov I.M. (2011). Vybir perspektyvnoho napriamku pidvyshchennia nadiinosti viiskovoi dekametrovoi radiolinii [Choosing a promising direction for improving the reliability of a military decameter Radio line]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony – Modern information technologies in the field of security and defense*, 3, 27–30. [in Ukrainian].

10. Kozubtsov I.M. (2011). Otsinka stanu metodiv prohnozuvannya optimalnykh 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].

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

12. Kostenko I.L., Pozdniak V.P., Blashchuk S.M., Kazimirov O.O., Poliatsko V.V. (2021). Metodyka avtomatyzovanoho rozrakhunku radiolinii pry zv'iazku zemnoiu khvyleiu [Methods of automated calculation of radio lines in Earth wave communication]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy – Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, 1(42), 110–117. [in Ukrainian].

13. Kozubtsov I.M., Krykhovetskyi H.Ya. (2012). Sezonnii prohnoz trendu optimalnykh robochykh chastot dekametrovoho diapazonu metodamy tekhnichnoho analizu [Seasonal forecast of the trend of optimal operating frequencies of the decameter range by technical analysis methods]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony – Modern information technologies in the field of security and defense*, 1, 37–41. [in Ukrainian].

14. Kozubtsov I.M. (2008). Dotsilnist zastosuvannya sproshchenoho radioprohnozu optimalnykh robochykh chastot dekametrovoho diapazonu dlia system fiksovanoho radiozv'iazk [Expediency of applying a simplified radio forecast of optimal operating frequencies of the decameter range for fixed radio communication systems]. *Suchasni problemy radiotekhniky ta telekomunikatsii «RT–2008» – Modern problems of radio engineering and telecommunications "RT–2008"*, (p. 300), Sevastopol. [in Ukrainian].

15. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy (2005). «Pro zatverdzhennia Natsionalnoi tablytsi rozpodilu smuh radiochastot Ukrainy» [On approval of the National Table of distribution of radio frequency bands of Ukraine], <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-п>. [in Ukrainian].

16. Vereshchagin E.M. (1964). Antenny i rasprostraneniia radiovoln [Antennas and radio wave propagation]. Moscow: Voenizdat of the USSR Ministry of Defense. [in Russian].

17. Grianik M.V., Loman V.I. (1989). Rasprostranenie radiovoln: Uchebnoe posobie [Propagation of radio waves: Textbook]. Kyiv: KVVIDKUS. [in Russian].