

УДК 621.371.3

І.М. Козубцов

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава*

## ОЦІНКА СТАНУ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОБОЧИХ ЧАСТОТ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

*В роботі розглянуто оцінку стану методів прогнозування оптимальних робочих частот декаметрового діапазону. Це дозволило виявити реальний стан забезпечення підрозділів зв'язку прогнозами. Обрано перспективний напрям тимчасового вирішення проблеми, що виникла. Висока розвідкритність пасивного нахилоного променем до площини зондування іоносфери методу визначає доцільність його використання при удосконаленні математичного апарату визначення меж оптимальних робочих частот для забезпечення зменшення похибки прогнозування.*

**Ключові слова:** декаметровий радіозв'язок, прогнозування оптимальних робочих частот.

### Аналіз останніх досліджень та постановка задачі

Надійність і якість роботи декаметрової (ДКМ) радіолінії, як відомо, залежить від сукупності параметрів, а саме: умов поширення радіохвиль [1, 2] та вибору робочих частот (РЧ) із складеного прогнозу оптимальних робочих частот (ОРЧ) для своєчасного маневрування РЧ на радіоцентрі [3, 4]. Для задоволення потреб кожної військової частини зв'язку Збройних Сил, надсилався інститутом земного магнетизму, іоносфери і розповсюдження радіохвиль Академії Наук СРСР (ІЗМІРАН), довгостроковий та короткостроковий прогноз максимально застосовної (МЗЧ), найменш застосовної частоти (НЗЧ). Стан забезпечення військових частин зв'язку погіршився з 1992 року у зв'язку припиненням їх надходження до України.

Із запровадженням високочастотних діапазонів частот та цифрових методів і способів передачі даних, спостерігається зменшення зацікавленості до розробок ДКМ діапазону. Однак досі зацікавленими у використанні ДКМ діапазону є військові, у яких він є одним із головних видів радіозв'язку. Особливо актуальним він є, якщо постає питання забезпечення радіозв'язку на відстань понад 1000 км. Зміна шумової обстановки та умов поширення радіохвиль потребує своєчасного знання значень МЗЧ, ОРЧ, НЗЧ. Автором запропоновано на основі шумової обстановки робити прогноз ОРЧ [5]. В роботі [6] автором запропоновано метод прогнозування стану іоносфери на основі нейронної мережі, однак складність їх використання не завжди досягають мети використання особливо для військових.

Однак, не дивлячись на значну кількість робіт, не вирішеною проблемою лишається забезпечення радіоцентрів прогнозованими значеннями МЗЧ, ОРЧ, НЗЧ та стану шумової обстановки для забезпечення тривалого безперервного ДКМ радіозв'язку.

Отже, метою статті є перегляд та оцінка стану існуючих методів прогнозування оптимальних робочих частот декаметрового діапазону, націлених на використання військовими радіозасобами для рекомендації щодо їх подальшого застосування та удосконалення.

### Виклад основного матеріалу

Методи прогнозування, що набули широкого практичного застосування, поділяються за тривалістю на: довгострокові; короткострокові і оперативні.

*Довгостроковий прогноз* ґрунтується на прогнозі медіанного (середнього для даного місяця) спокійного стану іоносфери [7, 8]. Відповідно від цього і залежить точність складеного прогнозу. Розроблений (ІЗМІРАН) довгостроковий радіопрогноз, складають у вигляді іоносферних карт – ізоплетів [8]. Але вони мають ряд істотних недоліків, а саме: неавтоматизований великий об'єм обробки карт і графіків, що складені за московським місцевим декретним часом; графіки трас наведені дискретно за довжиною інтервалу 500 км та за сезонами; графіки складені для відстаней 4 000 – 6 000 км лише в напрямку широти. Використання їх для трас інших напрямків вдень мають середню похибку 20%, вночі похибка значно більша; прогноз складений за медіанними значеннями для спокійного стану іоносфери, а тому стійкий радіозв'язок можна забезпечити лише протягом 50% часу; похибка в прогнозі сонячної активності на 10 одиниць збільшує похибку в прогнозі МЗЧ порядку на 10 – 15%; графіки НЗЧ побудовані із розрахунком смуги пропускання тракту приймачів  $\Delta f_{\text{шп}} = 3$  кГц. Для інших значень смуг пропускання, (навіть вдвічі), значення НЗЧ змінюється приблизно на  $\pm 1$  МГц, для траси довжиною  $R \approx 3$  000 км – це істотно; границя НЗЧ розраховується для значення потужності, рівній 1 кВт; коефіцієнт захисту та Т-фактор не повному обсязі враховують тактико-технічні характеристики радіоприймачів; перевищення сигналу над атмосферними

завадами прийнято 15 дБ при ширині смуги пропускання приймача 3 кГц; розрахунок МЗЧ для частот нижче 2 МГц не здійснюється, оскільки прийнято припущення, що радіозв'язок на нижчих частотах не використовується.

Порівнюємо точність і похибку складання довгострокового (тримісячного) прогнозу НЗЧ з урахуванням та без урахування Т-фактора [9]. Оскільки всі розрахунки здійснюються для медіанних значень, то зрозуміло, що в окремі дні можуть поширюватися частоти вище за прогнозованих. Для цього розглянемо трасу радіозв'язку Луганськ – Чоп, вихідні дані якої відображені в табл. 1.

Зведений графік кривих добового руху НЗЧ за відомими значеннями [9], отриманих без та з урахуванням технічного фактору (рис. 1) для наочності побудуємо в Microsoft Excel 2002. З графіка наочно спостерігається різкий стрибок змін сезонних значень НЗЧ), чого насправді не буває. Проміжні значення ж можна отри-

мати методом: екстраполяції або складанням короткострокового прогнозу.

Короткостроковий прогноз складають, як правило, на місяць, і ґрунтується він на медіанних значеннях МЗЧ спокійного стану іоносфери. Він також розроблений ІЗМІРАН. Його складають у вигляді іоносферних карт – ізоплетів. Він має спільні недоліки із довгостроковим прогнозом.

Порівняємо аналітично складений короткостроковий прогноз НЗЧ з урахуванням без та з урахуванням Т-фактора. Зведений графік кривих добового руху НЗЧ побудовано в Microsoft Excel 2002 за відомими значеннями [9] (рис. 2). Вихідні дані взяті з табл. 1.

Графік НЗЧ без урахування Т-фактора має параболічну форму, але менш точно визначає границю НЗЧ, ніж з урахуванням технічного фактору – Т. Тому перший метод придатний лише для попереднього прогнозу НЗЧ при умові роботи передавача потужністю більше за 1 кВт.

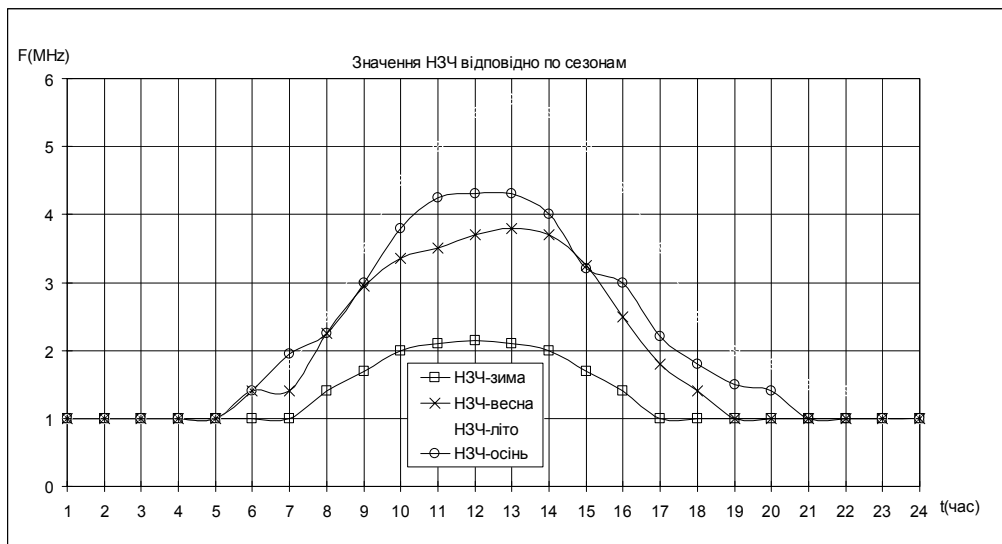


Рис. 1. Графік порівняння сезонних значень НЗЧ

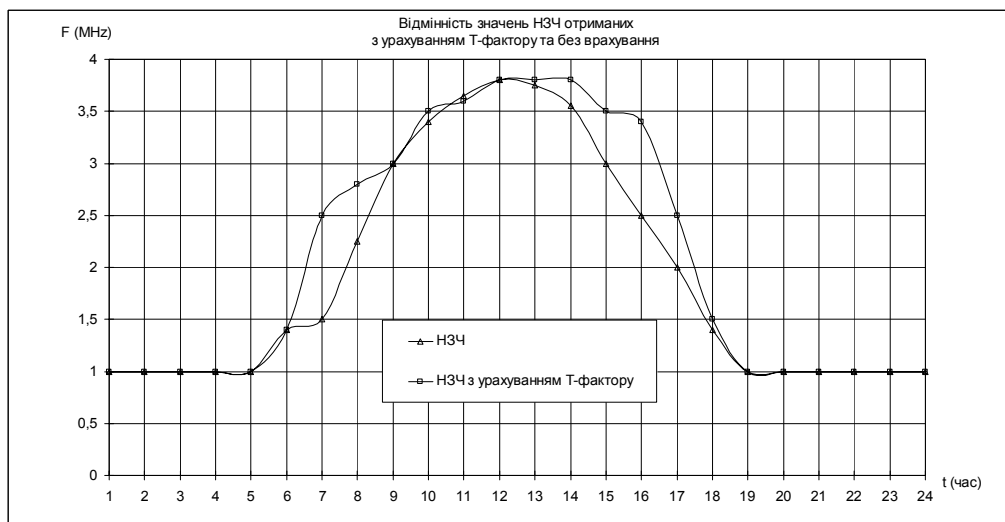


Рис. 2. Графік порівняння точності визначення НЗЧ з урахуванням і без урахування Т-фактора

Таблиця 1  
Вихідні дані для розрахунку ДКМ  
траси радіозв'язку між Луганськ – Чоп

Координати:			
Луганськ	$\varphi = 48 \text{ N } 45$	Чоп	$\varphi = 48 \text{ N } 30$
	$\lambda = 39 \text{ E } 30$		$\lambda = 22 \text{ E } 25$
Довжина траси $R = 1000 \text{ км}$ ;			
Різниця часу		$\Delta t = tp1 - tp2 = 1$	
Число Вольфа		$W = 169$	
Місяць		Березень	
Тривалість зв'язку		24h	
Вид модуляції		ЧТ	
Вид сигналу		Телеграфний автоматизований прийом	
Потужність передавача $P = 50 \text{ Вт}$			

Другий метод має спотворену параболічну форму, але точніше враховує технічні параметри радіоапаратури, яку використовують при визначенні реальних значень меж НЗЧ. Даний метод ІЗМІРАН рекомендує для розрахунку НЗЧ з використанням передавачів потужністю меншою за 1 кВт, оскільки при малих значеннях потужності робота на екстремальних частотах найбільш критична. В роботах [9] розглянуто вплив на короткостроковий прогноз точність визначення відносних чисел сонячних плям  $R$ , на даних яких ґрунтується складання прогнозу критичних частот. В роки малої і середньої сонячної активності середня похибка визначення становить + 5 одиниць; у роки максимуму – точність падає і середня похибка досягає + 10 – 15 одиниць. В окремі періоди вона буває більшою. Ці похибки прогнозу сонячної активності різко впливають на прогноз критичних частот в різний час доби і пори року. Похибка на 10 одиниць в  $R$  спричиняє за собою похибку в критичних частотах шару  $F_2$  у 0,2 МГц вночі і понад 0,5 МГц вдень. Критичні частоти шарів  $E$  і  $F_1$  менше залежать від сонячної активності, а тому при цій же похибці  $R$  вони не перевищують 0,1 МГц.

Похибка прогнозу критичних частот виникає так само через те, що використовується при цьому залежність  $f_0F_2$  від  $R$  не є цілком лінійною [10, 11 **Ошибка! Закладка не определена.**]. Відхилення, що спостерігаються, від лінійного закону не можуть бути наперед передбачені. У результаті для шару  $F_2$  похибки досягають 0,3 МГц в роки мінімуму сонячної активності і 0,5 – 0,7 МГц в роки максимуму.

Таким чином, сумарна похибка від цих двох причин може коливатися від 0,35 до 0,8 МГц. Якщо ж в тій області, для якої бажано набути прогнозованого значення  $f_0F_2$ , немає іоносферної станції, то доводиться вдаватися до інтерполяції між значеннями, одержаними з найближчих іоносферних станцій або представляти прогноз у вигляді карт. Тоді слід враховувати ще похибки довготної і широтної інтерполяцій, які для середніх широт становлять бли-

зько 0,3 – 0,4 МГц. Отже, середня сумарна похибка прогнозу  $f_0F_2$  становить від 0,3 до 0,9 МГц. Похибка прогнозу  $f_0F_1$  не перевищує 0,3 МГц, а  $f_0E$  – 0,2 МГц. Для регулярних шарів похибки в середньому складають + 10%. Для шару  $E_s$  похибка може бути понад 20%. Слід врахувати, що при перерахунку критичних частот в МЗЧ похибки дещо збільшуються за рахунок недостатньої точності прогнозу коефіцієнтів передачі. Якщо для шарів  $E$  і  $F_1$  прогноз МЗЧ можна вважати не менш точним, ніж прогноз критичних частот, тобто похибки в межах +10%, то для МЗЧ шару  $F_2$  похибки можуть досягати  $\pm 15\%$ .

Оскільки методи ґрунтуються на значеннях сонячної активності, а саме числі Вольфа, то оцінимо довгостроковий та короткостроковий метод за кількістю можливих варіантів прогнозів. Період зміни сонячної активності в середньому становить 11 років [12]. За цей час середньорічне коливання значення чисел Вольфа, усереднених за 24 цикли, становить  $\Delta W = W_{\text{MAX}} - W_{\text{MIN}} = 185 - 11 = 174$ . Підрахуємо число варіантів прогнозів, які необхідно мати на стаціонарному або мобільному вузлах зв'язку. Довгострокових прогнозів потрібно: з урахуванням 4 сезонів  $174 \cdot 4 = 696$  варіантів, з урахуванням 11 річного періоду  $174 \cdot 11 = 1914$  варіантів. Як бачимо, число варіантів прогнозів дуже велике.

Аналогічно для короткострокових (місячних) прогнозів: з урахуванням року  $174 \cdot 12 = 2088$  варіантів, з урахуванням 11 річного періоду  $174 \cdot 12 \cdot 11 = 22968$  варіантів. При такому числі варіантів не може мова йти про неавтоматизоване складання прогнозу значень МЗЧ, ОРЧ та НЗЧ.

*Оперативний прогноз* ґрунтується на вимірних поточних значеннях стану іоносфери [5, 13, 14]. Оперативний прогноз отримують такими методами:

1. Визначення частот, оптимальних за умов поширення радіохвиль за даними станцій іоносферного зондування іоносфери:

- зондування вертикальним променем ВЗ;
- зондування нахиленим променем до площини НЗ;
- зондування зворотно-нахиленим променем до площини ЗНЗ.
- пасивне нахилене зондування ПНЗ.

2. Вибір частот з мінімальним рівнем шумів (підбір ймовірносно оптимальних частот ЙОЧ) [15]:

- за даними проходження контрольно-маркерних сигналів (КМС);
- за чутністю сигналів відомих радіостанцій;
- вибір ОРЧ за мінімальним рівнем шумів.

Розглянемо методи, які ґрунтуються на іоносферному зондуванні. В табл. 2 наведені основні порівняльні характеристики цих методів.

За даними висотно-частотних характеристик (ВЧХ) отриманих методом ВЗ в реальному масштабі часу можна корегувати значення границь смуги ОРЧ

і діючих висот радіолінії довжиною до 500 км. Для трас довжини понад 500 км необхідно перерахувати або за допомогою методів НЗ або ЗНЗ отримати дистанційно-частотну характеристику (ДЧХ).

Таблиця 2  
Зведені порівняльні характеристики методів зондування

Характеристики	Методи оперативного прогнозування			
	ВЗ	НЗ	ЗНЗ	ПНЗ
Наявність передавача	+	+	+	-
Електромагнітне випромінювання	+	+	+	-
Потужність випромінювання	Велика	Велика	Велика	-
Смуга випромінювання	1-30 МГц	1-30 МГц	1-30 МГц	-
Синхронізація	+	+	+	-
ВЧХ	+	-	-	-
ДЧХ	-	+	+	+
Рівень шуму	+	+	+	+
Похибка визначення МЗЧ	+	+	+	-
Мобільність	+	+	+	+
Розвідкритність	-	-	-	+
Статистична база	+	+	+	+
Створення завад радіозасобам	+	+	+	-

Загальним недоліком групи методів ВЗ, НЗ та ЗНЗ є низька розвідкритність їх функціонування за рахунок потужного активного електромагнітного випромінювання.

Це, по-перше, демаскує стаціонарні мобільні вузли зв'язку, напрямок траси і ймовірний діапазон РЧ. Тому ці методи не бажано використовувати для потреб військових систем ДКМ радіозв'язку в особливий період, а по-друге – створюють електромагнітні завади роботі радіо засобам, що працюють за розкладом [16]. В усіх трьох методах умовою отримання меж значень ОРЧ є необхідність мати різної складності систему синхронізації для одночасної перестройки приймача за випромінюючою частотою передавача, що змінюється. Методика прогнозування докладно викладена в [15].

Метод ПНЗ має перевагу над активними методами по забезпеченню розвідкритності, що важливо для військ зв'язку. Однак метод має низьку точність визначення меж ОРЧ, що обумовлена відсутністю точного розрахункового математичного апарата. Оскільки він не передбачає електромагнітного випромінювання, то внаслідок цього забезпечується висока розвідкритність системи зондування.

Отже активні методи оперативного прогнозу-

вання ОРЧ не відповідають і не задовольняють вимогам розвідкритності та простоті реалізації їх використання в умовах особливого періоду. Пасивний же метод має ряд переваг, але потребує удосконалення розрахункового апарата.

Розглянемо особливості вибору частот з мінімальним рівнем шумів.

За даними проходження КМС. Для цього здійснюється прослуховування частот передачі КМС на головні телефони, вимірювання рівня сигналу за допомогою аналізаторів Р-015, Р-018, АУ-10 або „Іскра” і проценту телеграфних спотворень – прибором „ЕТИ-69” або „ЕТИ-64” на всіх частотах [15]. Точність методу можна підвищити, за рахунок використання вимірювальних приладів Rohde&Schwarz [17]. Вибір частот здійснюється методом аналізу результату прийому КМС контрольного пункту, (визначається орієнтовне значення МЗЧ і НЗЧ) та обирається РЧ з числа виділених, які розміщені поблизу частоти КМС з найбільшим рівнем сигналу і найменшим рівнем завад. На даний час сигналів КМС не передають.

За чутністю сигналів відомих радіостанцій використовують еталонні сигнали частоти і часу, що передаються в ДКМ діапазоні. Метод є перспективним по удосконаленню та застосуванню. Він забезпечує відсутність додаткового електромагнітного випромінювання. Набором таких відомих радіомовних станцій можна створити систему пасивного нахиленого до площини зондування (ПНЗ).

Вибір частот за критерієм мінімального рівня шумів. Вибір здійснюють з використанням апаратури аналізу завадової обстановки візуальним спостереженням або простим прослуховуванням частот приймачем. Сутність методу полягає у виборі групи частот та розподілу їх між кореспондентами. Періодично вимірюється рівень завад і від їх рівня приймається рішення на заміну непридатної частоти на резервну. Результати вимірювань частот з найменшим рівнем завад передаються на робочі місця радистів-операторів. Лише на частотах ведення найбільш важливого радіозв'язку передбачається на ЧДС реєстрація рівнів сигналів кореспондентів і документування, що потребує мати в наявності апаратури аналізу завадової обстановки і розрахунку порогового рівня [15].

На даний час цей метод є базовим у військах зв'язку ЗС, оскільки це пов'язано з відсутністю вітчизняної методики складання довгострокового і короткострокового прогнозу.

## Висновки

Таким чином, методи довгострокового та короткострокового прогнозування потребують модернізації з метою автоматизації процесу складання прогнозу оскільки вони не враховують дестабілізу-

ючі фактори.

Методи оперативного прогнозування потребують активного випромінювання зондуючого сигналу та не задовольняють наступним вимогам: в мирний час створюють міжстанційні завади радіозасобам; у особливий час – призводить до зниження розкриття вузлів зв'язку.

Незважаючи на примітивність методів вибору частот за даними проходження контрольно-маркерних сигналів, за чутністю сигналів відомих радіостанцій, за мінімальним рівнем шумів, всі вони володіють високою властивістю розвідкритості. Тому актуальним та доцільним є подальше удосконалення математичного апарату визначення меж значень зазначених методів, які застосовуються на сьогодні у військах зв'язку, що ї є **напрямом подальших досліджень**.

### Список літератури

1. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера: изд. 2-е, пер. и доп. / Я.Л. Альперт. – М.: Наука, 1972. – 563 с.
2. Черенкова Е.Л. Распространения радиоволн / Е.Л. Черенкова, О.В. Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
3. Головин О.В. Декаметровая связь / О.В. Головин. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
4. Головин О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / О.В. Головин, С.П. Простов; под ред. проф. О.В. Головина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.
5. Жданов Б.Б. Прогноз рабочих частот делаем самостоятельно / Б.Б. Жданов // Радио. – 1982. – №8. – С. 9-11.
6. Сафронов В.С. Прогноз состояния ионосферы с помощью нейросетевой модели / В.С. Сафронов // Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук – общая и прикладная физика: Сборник трудов 49-й научной конференции МФТИ, Т. III. – МФТИ. – М.: 2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: [http://mipt.ru/nauka/conf\\_mipt/conf49/z49/faki/program/safronov.pdf](http://mipt.ru/nauka/conf_mipt/conf49/z49/faki/program/safronov.pdf).
7. Керблай Т.С. Вопросы прогнозирования состояния ионосферы и распространения радиоволн // Сб. статей / Т.С. Керблай; отв. ред. Т.С. Керблай, Л.Н. Ляхова. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 151 с.
8. Основы долгосрочного радиопрогнозирования / Е.М. Жулина, Т.С. Керблай, Е.М. Ковалевская и др. – М.: Наука, 1976. – 68 с.
9. Прогноз наименьших применимых частот для лет высокой солнечной активности / Под ред. Т.С. Керблай. – М.: Наука, 1968. – 106 с.
10. Кулешова В.П. О количественном прогнозе магнитной активности / В.П. Кулешова // Ионосферные возмущения и методы их прогноза. – М.: Наука, 1977. – С. 185-189.
11. Кулешова В.П. Карты регулярных вариаций критических частот слоя F2 для разных типов ионосферных возмущений / В.П. Кулешова, Е.В. Лаврова, Л.Н. Ляхов // Тракторные характеристики коротких радиоволн. – М.: ИЗМИРАН, 1978. – С. 153-159.
12. Бакулин П.И. Курс общей астрономии / П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. – М.: Наука, 1966. – 528 с.
13. Ионосферное прогнозирование. ИЗМИРАН. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
14. Наклонное зондирование ионосферное // Труды ААНИИ. – Л.: Гидрометеиздат. – 1983. – Т. 390. – 216 с.
15. Гряник М.В. Распространение радиоволн: Учебное пособие / М.В. Гряник, В.И. Ломан. – К.: КВИДКУС, 1989. – 382 с.
16. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств связи и непреднамеренные помехи: составитель Д.Р.Ж. Уайт Джермантаун, Мерилленд, 1971–1973. – Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи / Сокращ. пер. под ред. А.Д. Князева. – М.: Сов. радио, 1977. – 352 с.
17. Раушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа: Пер. с англ. С.М. Скольского; под ред. Ю.А. Гребенко / К. Раушер, Ф. Йанссен, Р. Минихольд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 224 с.

Надійшла до редколегії 4.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.А. Краснобаев, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ЧАСТОТ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

И.Н. Козубцов

В работе рассмотрена оценка состояния методов прогнозирования оптимальных рабочих частот декаметрового диапазона. Это позволило выявить реальное состояние обеспечения подразделений связи прогнозами оптимальных рабочих частот. Избрано перспективное направление временного решения возникшей проблемы. Высокая разведкритичность метода пассивного наклоненного луча к плоскости зондирования определяет его целесообразность при усовершенствовании математического аппарата определения границ оптимальных рабочих частот для обеспечения уменьшения погрешности прогнозирования.

**Ключевые слова:** декаметровая радиосвязь, прогнозирование оптимальных рабочих частот.

### EVALUATION OF METHODS FORECASTING OF OPTIMAL WORKING FREQUENCY DECAMETER RANGE

I.N. Kozubtsov

In this work the assessment of prediction methods for optimal working frequency decameter range. It allowed to reveal the real state ensure units connection optimal working frequency. Elected a promising direction around this problem that has arisen. Due to high intelligence secrecy passive method angled beam to the plane of probing the ionosphere determines its appropriateness in relation to improving the mathematical apparatus, the limits of the optimum working frequency for the reduction of prediction error.

**Keywords:** decameter radio, forecasting of optimal operating frequency.