

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ

Завдання прогнозування майбутніх значень часового ряду на основі його попередніх значень є основою для планування в економіці, торгівлі, енергетиці та технічних галузях. Прогнозування радіоелектронної обстановки є дуже важливою складовою сучасних високотехнологічних воєнних конфліктів, транспортною основою яких виступають радіовипромінюючі засоби. З цією метою в зазначеній статті проведено аналіз відомих методів прогнозування радіоелектронної обстановки. Встановлено, що на сьогоднішній день існує безліч моделей прогнозування часових рядів, а саме: регресивні і авторегресійні моделі, нейромережеві моделі, моделі експоненціального згладжування, моделі на базі ланцюгів Маркова, класифікаційні моделі та ін. На основі зазначеного аналізу встановлено, що найбільш доцільним для використання в задачах прогнозування радіоелектронної обстановки є методи прогнозування часових рядів на основі авторегресійних моделей. У статті запропонована методика прогнозування стану радіоелектронної обстановки, що дозволяє підвищити завадозахищеність систем зв'язку в умовах впливу навмисних завад та нестационарному характері процесу, що прогнозується, з метою забезпечення електромагнітної сумісності та підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу комплексами зв'язку. Для вирішення наукового завдання використані загальнонаукові методи аналізу та синтезу складних технічних систем, теорії завадозахищеності радіотехнічних систем та методи математичного моделювання. Зазначену методику доцільно використовувати при оцінці радіоелектронної обстановки та визначення заходів, що спрямовані на підвищення завадозахищеності систем зв'язку. Розрахунки показують, що використання зазначеної методики дозволяє зменшити похибку прогнозу в середньому на 20%.

**Ключові слова:** радіоелектронна обстановка, навмисні завади, нестационарність, прогнозування.

*Ляшенко А.Т., Бондаренко Т.В., Бохно Т.Р., Гаврилюк О.Г. Методика прогнозирования состояния радиоэлектронной обстановки. Задача прогнозирования будущих значений временного ряда на основе его предыдущих значений является основой для планирования в экономике, торговле, энергетике и технических областях. Прогнозирование радиоэлектронной обстановки является очень важной составляющей современных высокотехнологических военных конфликтов, транспортной основой которых выступают радиоизлучающие средства. С этой целью в указанной статье проведен анализ известных методов прогнозирования радиоэлектронной обстановки. Установлено, что на сегодняшний день существует множество моделей прогнозирования временных рядов, а именно: регрессионные и авторегрессионные модели, нейросетевые модели, модели экспоненциального сглаживания, модели на базе цепей Маркова, классификационные модели и др. На основе указанного анализа установлено, что наиболее целесообразным для использования в задачах прогнозирования радиоэлектронной обстановки являются методы прогнозирования временных рядов на основе авторегрессионных моделей. В статье предложена методика прогнозирования состояния радиоэлектронной обстановки позволяет повысить помехозащищенность систем связи в условиях воздействия преднамеренных помех и нестационарном характере процесса, прогнозируется, с целью обеспечения электромагнитной совместимости и повышение эффективности использования радиочастотного ресурса комплексами связи. Для решения научной задачи использованы общенаучные методы анализа и синтеза сложных технических систем, теории помехозащищенности радиотехнических систем и методы математического моделирования. Указанную методику целесообразно использовать при оценке радиоэлектронной обстановки и определения мер, направленных на повышение помех защищенности систем связи. Расчеты показывают, что использование указанной методики позволяет уменьшить погрешность прогноза в среднем на 20%.*

**Ключевые слова:** радиоэлектронная обстановка, преднамеренные помехи, нестационарность, прогнозирование.

*A. Lyashenko, T. Bondarenko, T. Bokhno, O. Gavrilyk Methodology for forecasting the state of radio electronic situation. The task of forecasting future values of the time series based on its previous values is the basis for planning in the economy, trade, energy and technical fields. The prediction of the radio-electronic situation is a very important component of modern high-tech military conflicts, the transport basis of which are radio-emitting means. To this end, an analysis of the known methods of forecasting the radio electronic situation is carried out in that article. It is established that today there are many models of time series prediction, namely: regression and autoregressive models, neural network models, exponential smoothing models, Markov-based models, classification models, etc. Based on the above analysis, it is found that the most appropriate for use in the prediction problems of the radio-electronic situation are methods of forecasting time series based on autoregressive models. The article proposes a technique for predicting the state of the radio-electronic environment, which allows to increase the noise immunity of communication systems in*

*the conditions of deliberate interference and the unsteady nature of the predicted process, in order to ensure electromagnetic compatibility and increase the efficiency of use of the radio frequency resource by complexes. To solve the scientific problem, we use the general scientific methods of analysis and synthesis of complex technical systems, the theory of noise immunity of radio engineering systems and methods of mathematical modeling. It is advisable to use this technique when assessing the electronic environment and identifying measures to enhance the security of communications systems. The calculations show that the use of this method allows to reduce the error of the forecast by an average of 20%.*

**Keywords:** radio-electronic situation, intentional interference, non-stationarity, forecasting.

### **Вступ**

Інтенсивний розвиток інформаційних та інших передових технологій, а також інтеграція їх в інформаційно-управляючі системи збройних сил провідних країн світу, продовження реалізації принципів „мережецентричної концепції” управління військами і зброєю перетворюються в найважливіший фактор, що визначає хід і результат ведення сучасної збройної боротьби. Разом із тим радіоелектронна матеріальна основа інформаційної інфраструктури „мережецентричної концепції” ведення сучасної збройної боротьби є потенційно вразливою до впливу засобів радіопротидії і, відповідно, є безпосереднім об’єктом такого впливу [1].

Сучасні та перспективні засоби радіоелектронної боротьби здатні ефективно подавити (порушити функціонування) сучасні засоби військового радіозв’язку.

Разом з тим, існуючі засоби завадозахисту засобів військового радіозв’язку спрямовані вже на компенсацію впливу засобів радіоелектронної боротьби, тобто в них відсутні механізми превентивного захисту.

Зазначене обумовлює актуальність розробки механізмів врахування можливої зміни стану каналу систем військового радіозв’язку з метою завчасного вироблення раціональних механізмів компенсації негативного впливу засобів радіоелектронної боротьби.

Прогнозування стану каналу засобів військового радіозв’язку (радіоелектронної обстановки) можливе за допомогою різноманітного математичного апарату, одним з яких є апарат часових рядів.

Сутність математичного апарату часових рядів полягає в прогнозуванні майбутніх значень стану каналу, представленого часовим рядом, на основі його попередніх значень. Зазначений метод є основою для планування в економіці, торгівлі, енергетиці та технічних галузях [1, 2].

На сьогоднішній день існує велика кількість моделей прогнозування часових рядів: регресивні і авторегресійні моделі, нейромережеві моделі, моделі експоненціального згладжування, моделі на базі ланцюгів Маркова, класифікаційні моделі та ін. Найбільш популярними і широко використовуваними є класи авторегресійних і нейромережевих моделей [3]. Істотним недоліком авторегресійного класу є велике число вільних параметрів, ідентифікація яких неоднозначна і має значну ресурсомісткість [5]. Істотним недоліком класу нейромережевих моделей є недоступність проміжних обчислень і, як наслідок, складність інтерпретації результатів моделювання. Крім того, ще одним недоліком даного класу моделей є складність вибору алгоритму навчання нейронної мережі [6].

Саме тому в якості базового методу прогнозування в зазначеному дослідженні обрано методи прогнозування часових рядів на основі авторегресійних моделей.

### **Аналіз відомих публікацій**

Відомі способи прогнозування, що базуються на методах Вінера та Яглома [1]. Загальна теорія прогнозування випадкових процесів, до яких можна віднести радіоелектронну обстановку (РЕО) детально викладена в роботах [2 – 4]. З аналізу проведених робіт [2 – 5] можна зробити висновок, що ефективність прийнятих рішень залежить від обсягу апріорних даних, процесів, що досліджуються, а також методів їх представлення.

Недоліком існуючого науково-методичного апарату (НМА) є використання гіпотези стаціонарності процедур прогнозування, в тому числі при аналізі широкосмугових сигналів.

Тому *метою статті* є розробка методики прогнозування стану РЕО систем зв'язку, що працюють в складній електромагнітній обстановці та дефіциті радіочастотного ресурсу, з метою забезпечення електромагнітної сумісності та підвищення ефективності використанні радіочастотного ресурсу комплексами зв'язку.

#### **Методи рішення наукового завдання**

Для вирішення наукового завдання авторами використані методи аналізу та синтезу складних технічних систем, теорії завадозахищеності радіотехнічних систем та методи математичного моделювання.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

У теорії прогнозування відомі методи прогнозування процесів з дискретним часом при використанні раціональних спектрів, а також одновірних стаціонарних процесів з постійним кроком в часі. При цьому, з проведеного аналізу видно [2 – 5], що багатомірний випадок в загальній теорії прогнозування значно складніший, ніж одновірний. Як правило, основою прогнозування у відомому НМА є проведення аналізу часового ряду [2 – 6].

Найбільш поширеними методами є: метод найменших квадратів [4] та його модифікації, метод експоненційного згладжування, метод ймовірнісного моделювання та метод адаптивного згладжування. В будь якому випадку необхідно провести вибір найбільш доцільної моделі для опису процесу, що прогнозується.

При проведенні прогнозування процесів формуються дискретні вибірки двох типів:

- 1) модель функціональної залежності процесу невідома. В цьому випадку вирішують задачу оцінки моделі функціональної залежності з цілого класу доступних моделей;
- 2) модель функціональної залежності процесу відома та необхідно тільки оцінити параметри моделі вихідного процесу (коефіцієнти регресії  $b_0, b_1, b_2, \dots$ ).

Як правило, використовуються наступні математичні моделі: лінійна –  $y = b_0 + b_1x$ , гіперболічна –  $y = b_0 + b_1/x$ , показникова –  $y = b_0 + b_1x$ , ступенева –  $y = b_0x^{b_1}$ , параболічна –  $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ , логарифмічна –  $y = b_0 + b_1 \lg x$ , експоненційна –  $y = b_0 \exp(b_1x)$  та інші.

Рішення математичних рівнянь РЕО припускає розрахунок за вихідними даними параметрів моделі (вільного члена  $b_0$  та коефіцієнтів регресії  $b_1, b_2, \dots$ ).

Найбільшого поширення з відомих моделей набула модель, що описується рівнянням регресії у вигляді багаточленів полінома:

$$y = f(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_mx^m,$$

де  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$  – коефіцієнти, що підлягають визначенню. Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії  $b_m$  використовують різні методи (графічний, метод середніх), проте найчастіше використовується метод найменших квадратів (МНК).

Визначення коефіцієнтів  $b_0$  та  $b_1$  по МНК здійснюється за наступним рівнянням:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} x_i^2 \sum_{i=1}^{N-1} y_i - \sum_{i=1}^{N-1} x_i \sum_{i=1}^{N-1} x_i y_i}{N \sum_{i=1}^{N-1} x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right)^2}, \quad b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^{N-1} x_i y_i - \sum_{i=1}^{N-1} x_i \sum_{i=1}^{N-1} y_i}{N \sum_{i=1}^{N-1} x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right)^2}.$$

Для оцінки, що заснована на МНК, необхідно виконання ряду передумов, невиконання яких може привести до помилок. МНК широко використовується для отримання конкретних прогнозів, що пояснюється його простотою та легкістю реалізації на ПЕОМ. Недолік методу полягає в тому, що модель тренда жорстко фіксується, тому надійний прогноз можна отримати тільки на малий період часу. МНК використовують головним чином для короткострокового прогнозування. В методі істотно ускладнений правильний вибір виду моделі, а також обґрунтування та вибір ваг у зваженому МНК.

Відомі методи прогнозування часових рядів, засновані на використанні авторегресивної моделі змінного середнього з мінімальною середньоквадратичною помилкою [2]. Основою прогнозування є випадковий часовий ряд що є упорядкованою випадковою послідовністю величин, які є значеннями відліків прийнятого сигналу. Однією з важливих задач при роботі з часовими рядами є прогнозування майбутніх значень часового ряду.

Розглядаються три форми представлення моделі, що представлені наступними відношеннями:

1) за допомогою рівняння різниць:

$$z_{n+1} = \varphi_1 z_{n+1-1} + \dots + \varphi_{p+d} z_{n+1-p-d} - \theta_1 a_{n+1-1} - \dots - \theta_q a_{n+1-q} + a_{n+1};$$

2) як нескінченну зважену суму теперішнього та попередніх імпульсів  $a_j$ :

$$z_{n+1} = \sum_{j=-\infty}^{n+1} \psi_{n+1-l} a_j = \sum_{l=0}^{\infty} \psi_l a_{n+1-l};$$

3) як нескінченну зважену суму попередніх спостережень плюс випадковий імпульс:

$$z_{n+1} = \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j z_{n+1-j} + a_{n+1},$$

де  $\pi_j$  – вагові коефіцієнти.

Існуючі методи прогнозування мають найкращі властивості при прийнятті гіпотези про лінійний стаціонарний процес. На реальні процеси часто впливають фактори, що вносять нестаціонарну складову.

В запропонованій методиці розглядається можливість розширення використання відомих методів прогнозування на подібні процеси. Для стаціонарних (адитивних) процесів використовують дискретизацію з постійним кроком. Для нестаціонарних процесів як правило використовують дискретизацію сигналів зі змінним кроком з обов'язковим визначенням нуля формування процесу.

Прикладом нестаціонарного сигналу є сигнал с гіперболічною частотною маніпуляцією (ГЧМ-сигнал), який широко використовується в системах зв'язку [4]. При записі сигналу

$S(t) = \sin \frac{\Omega}{k} \ln kt$ , де  $\Omega$  – початкова частота,  $k$  – масштабний множник, що характеризує

крутизну функції, що модулює, видно, що миттєва частота  $f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\psi}{dt}$ , де  $\psi$  – фаза

сигналу, що прямує до нескінченності при  $t \rightarrow 0$ . Оскільки операція зменшення (розширення) не інваріантна відносно операції зсуву в часі, для формування процедури екстраполяції процесу вимагається інформація про початок реалізації, що підлягає обробці.

При роботі з таким сигналом необхідно знайти місцезнаходження нуля, що визначає початок відліків.

Методика прогнозування стану радіоелектронної обстановки зводиться до наступних дій.

1. *Введення вихідних даних.*

Вихідними даними в зазначеній методиці є:

для ЗРЗ – тип модуляції сигналу; тип та параметри маніпуляційного та корегуючих кодів; відношення сигнал/шум; ймовірність бітової помилки.

для засобів РЕП – тип завади; закон постановки завади; спектральна щільність потужності завади; закон розподілу завади.

2. *Часове стиснення процесу, що прогнозується.*

Часове стиснення процесу, що прогнозується, необхідне для забезпечення обробки сигналів в режимі реального часу [6]. При цьому на кожному кроці реалізація оновлюється на один відлік. Таким чином, формується клас реалізацій, що відрізняється один від одного

зсувами на один відлік. Для формування класу дискретних відліків кожна реалізація піддається операції логарифмування та дискретизації.

Реалізація сигналу піддається передискретизації в логарифмічному масштабі часу  $t \rightarrow \ln t$ . Оскільки вихідний процес надходить з постійним кроком, спочатку відновлюють дискретний процес, який вирішується процедурою інтерполяції. При нестационарній передискретизації припускають, що нуль реалізації відомий.

Нехай заданий процес в дискретному вигляді через одиничний інтервал дискретизації на інтервалі довжиною  $M - 1$ , що відповідає  $M$  відлікам. Припустимо також, що  $m$  має значення  $m \in (0 \dots M - 1)$ . При логарифмічному масштабуванні сигналу з кроком  $q$  маємо:

$$\ln(q^m) - \ln(q^{m-1}) = \ln(q) = \ln(q), \sum_{n=0}^{\infty} q^n = M - 1 = 1/1 - q.$$

$$\text{Звідси маємо } q = \frac{M - 2}{M - 1}.$$

### 3. Інтерполяція сигналу.

Процедуру інтерполяції слід починати з останнього відліку реалізації сигналу, розглядаючи його значення як останній відлік інтерпольованого процесу. При вказаному підході до інтерполяції повністю зберігається інформація, що є у сигналі.

Видно, що для проведення логарифмічної дискретизації інтервалу  $N - 1$  необхідно нескінченне число відліків. Тому обмежимося дискретизацією тільки частини інтервалу, що формується кінцевою сумою геометричної прогресії  $\frac{q^{K-1} - 1}{q - 1}$ . Початок для вузлів інтерполяції  $k \in (0 \dots K - 1)$  визначається значенням:

$$t_0 = N - 1 - \frac{q^{K-1} - 1}{q - 1}.$$

Видно, що при  $K \rightarrow \infty$   $t_0 \rightarrow 0$ . При використанні стандартної процедури інтерполяції необхідно задати значення вузлів інтерполяції зліва направо. Якщо провести інверсію номерів відліків по закону  $k \in (0 \dots K - 1): k_1 = K - 1 - k$ , то вузли інтерполяції задаються значеннями:

$$UI_k = (N - 1) - \frac{q^{K-1-k} - 1}{1 - q}.$$

### 4. Формування спектральної функції.

Після передискретизації процесів для кожної реалізації  $s_n(t)$  формується спектральна функція  $S_n(f, T)$ :

$$S_n(f, T) = \int_0^T s_n(t) \exp(-2\pi f t) dt.$$

### 5. Формування енергетичного спектру сигналу.

Енергетичний спектр описують наступним виразом:

$$X_n(f) = \frac{1}{T} |S_n(f, T)|^2.$$

Для визначення початку реалізації пропонується наступна процедура. В якості критерію вибору реалізації пропонується використовувати ентропію (інформацію Кульбака) [8]:

$$H(f) = - \int_{-1/2}^{1/2} \ln \left( \frac{X(f)}{\int_{-1/2}^{1/2} (X(f)) df} \right) df, \quad (1)$$

де  $X_n(f) = \frac{X(f)}{\int_{-1/2}^{1/2} (X(f)) df}$  – нормований енергетичний спектр вибірки,

$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r_{ss}(n) \exp(-2\pi fn)$ ,  $r_{ss}(n)$  – кореляційна функція процесу.

Евристичне пояснення вибору цього критерію полягає в тому, що він мінімізує випадковість.

Далі здійснюється знаходження максимального значення ентропії в відповідності з відношенням (1). Зазначена дія зводиться до проведення порівняння відгуків з пороговою напругою. При перевищенні порогу приймається рішення, що максимум знайдений. Для реалізації максимальної ентропії використовують операцію передискретизації результату прогнозування в експоненційному масштабі часу  $t \rightarrow \exp(t)$ .

Зазначене перетворення є зворотнім до перетворення, що було розглянуто раніше. Необхідно зазначити, що виконане раніше масштабування гіперболічного процесу (нестационарного) в логарифмічному масштабу фактично зробило його близьким до тонального сигналу. Такий сигнал фактично є стаціонарним та добре прогнозуємими відомими методами. Експоненційне перетворення дозволило повернутися до вихідного гіперболічного процесу.

Використання запропонованої методики дозволяє отримати більш точний прогноз, чим при використанні відомих процедур, а саме:

1) класичної процедури прогнозування, модель якої реалізована в середовищі математичного прогнозування MathCad 14, яка заснована на гіпотезі стаціонарності вхідних даних (відліки розподілені рівномірно у часі) та оцінюється як авторегресивна складова прогнозу (рис. 1);

2) процедур, що використовують гіперболічну симетрію для реалізації процедури прогнозування.

Для оцінки ефективності запропонованої методики був проведений статистичний експеримент, який описується наступним виразом:

$$\sigma_m = \frac{1}{N1+1} \sum_{n=0}^{N1+1-1} \left( \frac{\check{s}_{n,m} - AA_m}{\text{var}(\check{s}_m)} - \frac{\hat{s}_{n,m} - BB_m}{\text{var}(\hat{s}_m)} \right)^2,$$

де  $\sigma_m$  – похибка прогнозування;  $\check{s}_m$  – вихідний процес,  $\hat{s}_m$  – результат прогнозу,  $AA$ ,  $BB$  – середні арифметичні значення процесів, що визначаються виразами [7]:

$$AA_m = \frac{1}{N1+1} \sum_{n=0}^{N1+1-1} \check{s}_{n,m}, \quad BB_m = \frac{1}{N1+1} \sum_{n=0}^{N1+1-1} \hat{s}_{n,m},$$

$\text{var}(\check{s}_m)$ ,  $\text{var}(\hat{s}_m)$  – варіація процесів  $\check{s}_m$  та  $\hat{s}_m$ , яка визначається за формулами

$$\text{var}(\check{s}_m) = \frac{1}{N1+L} \sum_{n=0}^{N1+L-1} (\check{s}_{n,m} - AA_m)^2;$$

$$\text{var}(\hat{s}_m) = \frac{1}{N1+L} \sum_{n=0}^{N1+L-1} (\hat{s}_{n,m} - AA_m)^2.$$

Вхідний процес піддавався секціюванню на дві частини, де перша частина процесу розглядається як вхідна вибірка, а друга частина є невідомою, проте є сформовано майбутньою частиною процесу.

За рахунок секціювання з перекриттям на половину розміру секції та операції усереднювання різниці оцінок отримуємо загальну усереднену оцінку помилки прогнозування:

$$\sigma^2 = \frac{1}{M/2} \sum (s_m - \hat{s}_m)^2, \quad (2)$$

де  $M/2$  означає те, що є місце перекриття на половину довжини секцій.

Оцінка (2) розраховувалася для процедур прогнозування по першій та другій методиці при зміні верхньої частоти.

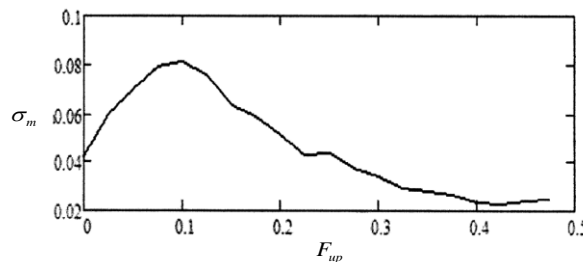


Рис. 1 Розподіл похибки прогнозування  $\sigma_m$  в залежності від зміни верхньої частоти сигналу  $F_{up}$

З рис.1. можна зробити наступні висновки.

1. Зі збільшенням смуги частот помилка прогнозування зменшується.
2. На частотах в межах від нульової частоти до 0,1 з'являється різке збільшення похибки прогнозування.
3. Починаючи з частоти в межах від 0,1 та більше, спостерігається повільне зменшення помилки прогнозування.

Результат оцінки усередненої кореляції прогнозування в залежності від смуги частот наведений на рис. 2.

З рис. 2 можна зробити наступні висновки.

1. Зі збільшенням смуги частот коефіцієнт кореляції прогнозування збільшується.
2. На частотах до 0,1 спостерігається падіння значення коефіцієнта кореляції прогнозування до частот в межах 0,1.
3. Починаючи з частоти в межах від 0,1 та більше спостерігається повільне збільшення значення коефіцієнта кореляції прогнозування.

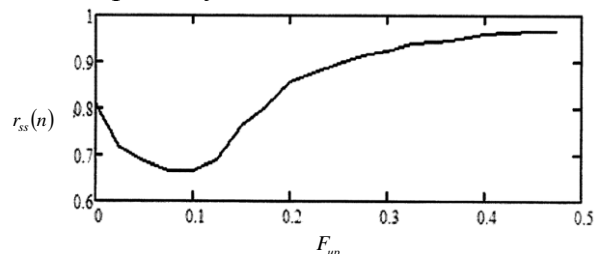


Рис. 2 Розподіл кореляції прогнозування в залежності від зміни верхньої частоти сигналу

Розроблена методика відрізняється тим, що додатково має операції рециркуляції вхідних даних на один відлік, передискретизації вихідного процесу в логарифмічному масштабі часу, знаходження енергетичного спектру отриманого сигналу, визначенням відгуку, ентропії енергетичного спектра відповідної вибірки, що підлягає передискретизації,

розрахунку максимального значення відгуків ентропії, знаходження прогнозу для реалізації максимального значення ентропії, передискретизації результату прогнозування в експоненційному масштабі часу.

### **Висновки**

1. В роботі розроблено методику прогнозування стану радіоелектронної обстановки. Зазначену методику доцільно використовувати для прогнозування радіоелектронної обстановки засобів радіозв'язку спеціального призначення, що функціонують в складній радіоелектронній обстановці.

2. В якості математичного апарату, що було обрано для розробки методики прогнозування стану радіоелектронної обстановки обрано методи часових рядів, сутність якого полягає в прогнозуванні майбутніх значень стану каналу, представленого часовим рядом, на основі його попередніх значень.

3. Розглянутий підхід дозволив збільшити об'єм апріорних даних за рахунок формування вибірки для прогнозування даних, тобто на часовій площині  $(\Delta, t), 0 \leq \Delta \leq \infty, -\infty < t < \infty$ .

Розрахунки показують, що використання зазначеної методики дозволяє зменшити похибку прогнозу в середньому на 20%.

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку удосконаленої методики вибору робочих частот для систем зв'язку та передачі даних.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Шишацький А.В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил /О. М. Башкиров, А. В. Шишацький, О.М.Костина // Науково-технічний журнал „Озброєння та військова техніка”. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. № 1(5) 2015. – С. 35 – 40.

2. Егошин А.В. Анализ и прогнозирование сложных стохастических сигналов на основе методов ведения границ реализаций динамических систем: Автореферат диссертации ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. 19 с.

3. Gheyas I.A., Smith L.S. A Neural Network Approach to Time Series Forecasting // Proceedings of the World Congress on Engineering, London, 2009, Vol 2 [Електронний ресурс]. pp. 1292 – 1296. URL: [www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009\\_pp1292-1296.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp1292-1296.pdf) (дата звернення 16.10.2019).

4. Morariu N., Iancu E., Vlad S. A neural network model for time series forecasting // Romanian Journal of Economic Forecasting. 2009, No. 4. P. 213 – 223.

5. Pradhan R.P., Kumar R. Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model // Journal of Mathematics Research. 2010, Vol. 2, No. 4. pp. 111 – 117.

6. Yildiz B., Yalama A., Coskun M. Forecasting the Istanbul Stock Exchange National 100 Index Using an Artificial Neural Network // An International Journal of Science, Engineering and Technology. 2008, Vol. 46. pp.36 – 39.

7. Zhu J., Hong J., Hughes J.G. Using Markov Chains for Link Prediction in Adaptive Web Sites // 1st International Conference on Computing in an Imperfect World, UK, London, 2002. pp. 60 – 73.

8. Nogales F.J., Conejo A.J. Electricity price forecasting through transferfunction models // Journal of the Operational Research Society. 2006, Vol.57, No. 4. P. 350 – 356.

9. Basaran Filik U., Kurban M. A New Approach for the Short-Term Load Forecasting with Autoregressive and Artificial Neural Network Models // International Journal of Computational Intelligence Research. 2007, No.3. pp. 66 – 71.