Г.Г. Камалтинов, В.О. Тютюнник, К.А. Тах'ян

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ ВІЯВЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ

Проводиться аналіз сучасних методів прогнозування та можливості їх використання для прогнозу тенденцій розвитку засобів військової радіолокації. Розглядаються фактори, які обумовлюють особливості прогнозування тенденцій розвитку військової радіолокації. Обґрунтовано висновок про неможливість прямого застосування відомих формальних методів прогнозування для коректного прогнозу тенденцій розвитку засобів військової радіолокації. Запропоновано використання поєднання методів експертного оцінювання та теорії нечітких множин. Аналізується послідовність та склад етапів розроблення методики прогнозу тенденцій розвитку військової радіолокації. Особлива увага приділяється розробці продукційних правил прогнозування для кожного показника та їх перетворювання з чисельних значень в вектор лінгвістичних змінних за допомогою функцій приналежності. Наводиться приклад вектору оцінки значень показників прогнозування, якій отриманий за допомогою запропонованої методики.

Ключові слова: засоби військової радіолокації, лінгвістичні змінні, методи прогнозування, показники прогнозування, продукційні правила, тенденції розвитку.

Вступ

Постановка проблеми. Важливим фактором, який впливає на розвиток сучасних засобів радіолокації (ЗРЛ) та покращення їх ефективності, є вірне визначення обрису та основних тактико-технічних вимог до перспективних ЗРЛ. Знання світових тенденцій розвитку тих чи інших систем озброєнь є необхідною умовою для правильного вибору шляхів та напрямків розвитку аналогічних вітчизняних систем. Означений підхід є особливо важливим при визначенні напрямків розвитку таких складних систем озброєння, якими є радіолокаційні засоби військового призначення [1]. Розвиток військової радіолокації є складним наукоємним процесом, якій повинен ґрунтуватися на науково обґрунтованому прогнозі. Тому розробка методики прогнозу тенденцій його розвитку є актуальною та невирішеною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи прогнозування на цей час поширюються майже на всі напрямки розвитку науки і техніки, соціально-політичні процеси суспільства. Вони почали активно розвиватися з початку 20-го сторіччя. У 20-х роках 20-го сторіччя були запропоновані 3 методи прогнозу: екстраполяція, аналітична модель, експертиза [2–3]. В даний час існує близько 220 методів прогнозування, але найчастіше на практиці використовуються не більше 10, серед них: фактографічні (екстраполяція, інтерполяція, тренд-аналіз), експертні (у т.ч. опитування, анкетування), публікаційні (у т.ч. патентні), цитатно-індексні, сценарні, матричні,

моделювання, аналогій, побудова графів та ін. З'являються та розробляються нові методи [3–7]:

- адаптивні методи прогнозування – побудова самоналагоджувальних рекурентних моделей, здатних відображати зміни в часі динамічних властивостей часового ряду і враховувати інформаційну цінність його членів;

- морфологічні дослідження (для систематичного і неупередженого відбору можливостей, які пов'язані з прогнозуванням);

- ретроальтернативістика;

- метод “дерева цілей” (вперше використаний при розробці схеми ПАТЕРН) для нормативного прогнозування і оцінки “загальних елементів”;

- “Контекстуальне картографування” (contextual mapping);

- причинно-наслідковий метод;

- комбінований прогноз – деяка узагальнююча оцінка, яка одержана на основі формального або неформального об'єднання часткових прогнозів, найчастіше шляхом підсумовування їх з певними ваговими коефіцієнтами.

До теперішнього часу широке використання, особливо в Європі, набув комплексний метод прогнозування “Форсайт” (Foresight – futures studies) [8–9]. Зазвичай в кожному з “Форсайт”-проектів застосовується комбінація різних методів та залучається, як правило, значна кількість експертів. З використанням цього методу створюються різні можливі картини майбутнього світу, у тому числі його окремих, найбільш важливих або цікавих для критичних аспектів, які формуються в результаті різних

варіантів розвитку ситуації і планованих при цьому сценаріїв власних дій.

Поділ способів прогнозування, який наведений вище, є умовний, оскільки на практиці ці способи взаємно перехрещуються і доповнюють один одного [2], наприклад:

- прогнозна оцінка обов'язково включає в себе елементи екстраполяції і моделювання;
- процес екстраполяції неможливий без елементів оцінювання та моделювання;
- моделювання має на увазі попередню оцінку і екстраполяцію.

При прогнозуванні об'єкта, як правило, прогнозується не один, а кілька його показників. При цьому прогноз розвитку одного показника може виконуватися одним методом, а іншого показника – іншим методом, тобто використовується поєднання методів. Але, методи прогнозування тенденцій розвитку засобів військової радіолокації мають певні особливості та труднощі і у відомій літературі у явному вигляді не розглядалися.

Метою цієї статті є розробка методики прогнозу тенденцій розвитку військової радіолокації та, зокрема, засобів виявлення повітряних цілей.

Виклад основного матеріалу

Складність прогнозування розвитку військової радіолокації обумовлена наступними факторами:

- ЗРЛ є складними високотехнологічними виробами, розробка яких під силу тільки потужним виробникам, які мають достатній досвід та відповідну науково-експериментальну базу;
- у світі не більш десяти держав, здатних виробляти радіолокатори по замкненому циклу, та обмежена кількість фірм-виробників;
- процес розробки ЗРЛ, як правило, триває декілька років, крім того потрібен додатковий час на випробування, освоєння виробництва, тому за рік у світі розробляється та з'являється на ринку озброєння лише 1-2 нових та 2-3 модернізованих зразки;
- потреба у таких спеціалізованих зразках при величезних затратах невелика, вони не є масовою зброєю, як наприклад, кулемет. На світовому ринку за рік, як правило, продається не більш 100 локаторів різних типів;
- обсяг вибірки для оцінювання та аналізу невеликий та не дозволяє застосовувати статистичні методи обробки;
- прогнозування відноситься до задач багатокритеріального оцінювання і передбачає використання суб'єктивних поглядів експертів;
- показники, які необхідно оцінювати для прогнозу, мають як якісний, так і кількісний характер, їхній відбір має суб'єктивний характер;
- показники пов'язані між собою, наприклад, розмір антени та роздільні здатності по кутовим ко-

ординатам;

- моделювання процесів розвитку та використання методу екстраполяції для прогнозування не можуть бути застосовані;

- завдання прогнозування напрямків розвитку військової радіолокації практично не формалізоване і володіє значною невизначеністю в змісті вихідних даних та процедуру їх обробки.

Таким чином, незважаючи на велику кількість відомих методів прогнозування, застосування формальних методів для коректного вирішення даного завдання в принципі неможливо [9–10].

У зв'язку з цим пропонується поєднання методів експертного оцінювання з використанням теорії нечітких множин [10–11], що є узагальненням класичної теорії множин, в тому числі на випадок наявності різного роду фізичних, лінгвістичних та інших невизначених факторів.

Процес розроблення методики прогнозу розвитку військової радіолокації може включати наступні етапи:

- визначення показників прогнозування;
- вибір шкали оцінювання для кожного показника прогнозування;
- відбір зразків або джерел для здійснення прогнозу;
- побудова функцій приналежності для чисельних показників;
- діхотомізація, тобто перетворення чисельних показників зразків за допомогою функції приналежності в якісні показники типу “низький”, “середній”, “високий”;
- побудова матриці значень показників для кожного зразка;
- визначення продукційних правил прогнозування для кожного показника;
- визначення порогів прийняття рішень прогнозу;
- проведення процедури прогнозу за кожним показником за допомогою продукційних правил прогнозування для кожного показника;
- побудова вектору оцінки значень показників прогнозування;
- формулювання висновків та пропозицій.

Прогноз розвитку військової радіолокації виявлення повітряних цілей повинен здійснюватися для кожного класу ЗРЛ окремо.

Спочатку необхідно здійснити експертний відбір напрямків або показників прогнозування тенденцій розвитку ЗРЛ. До них можуть відноситися:

- функції, які вирішує ЗРЛ;
- діапазон частот роботи ЗРЛ;
- зона та спосіб огляду простору;
- тип та конструкція антенної системи;
- точнісні характеристики вимірювання координат;

- роздільні здатності за координатами;
- потужність випромінювання або енергетичний потенціал;
- тип та побудова передавальної системи;
- сигнали випромінювання та методи їх генерування та обробки;
- мобільність, способи та засоби транспортування;
- інші показники на думку експерта.

Надалі обирається шкала оцінювання (якісна або кількісна) для кожного показника прогнозування.

Для функцій за призначенням, які вирішує ЗРЛ, формується перелік “базових” завдань, наприклад:

- автоматичне виявлення і вимірювання координат повітряних об’єктів (ПО) різних класів (для ЗРЛ чергового поля – дальності та азимуту або площинних координат, для ЗРЛ виявлення та цілевказання і висотомірів – дальності, азимута, кута місця або висоти і площинних координат та здійснювати пеленгацію постановників активних шумових завад);
- автоматичне або автоматизоване виявлення (зав’язування) та супроводження заданої кількості трас ПО;
- мультирадарна (третинна) обробка радіолокаційної інформації;
- ручне (візуальне) знімання інформації з використанням координатної сітки індикатора та за цифровими даними формулярів ПО;
- визначення державної належності ПО вмонтованим або спряженим наземним запитувачем системи радіолокаційного впізнавання, обробка сигналів впізнавання, управління запитувачем;
- автоматична передача інформації на командні пункти, які оснащені комплексами засобів автоматизації, у сучасних форматах та протоколах обміну інформацією;
- оперативне технічне діагностування апаратури з використанням сучасних методів, відображення та реєстрація інформації про технічний стан апаратури ЗРЛ;
- реєстрація вхідної, вихідної і внутрішньостанційної інформації;
- моніторинг радіоелектронної обстановки у смузі робочих частот ЗРЛ та відображення його результатів на автоматизованих робочих місцях (АРМ);
- тренування операторів;
- автоматичне визначення місцеположення ЗРЛ;
- гучномовний та телефонний зв’язок між особами бойової обслуги та з командним пунктом;
- дистанційне управління режимами роботи ЗРЛ, відображення технічного стану апаратури на виносному АРМ;

– прийом, обробку сигналів та відображення на АРМ інформації від системи автоматичного залежного спостереження ADS-B [12];

– автоматичне (автоматизоване) горизонтування та юстування антенної системи.

Будується шкала діапазонів частот роботи ЗРЛ, які виділені для роботи, у вигляді чисельних значень діапазонів частот.

Визначаються кількісні значення зони огляду простору за азимутом і кутом місця та ряд якісних характеристик способу огляду простору, наприклад, “круговий за азимутом з механічним обертанням антени і паралельний багатопроменевий за кутом міста”, “секторний за азимутом та кутом міста з електронним скануванням променем”, “круговий за азимутом з механічним обертанням антени і секторний за кутом міста з електронним скануванням променем”.

Описуються можливі типи та конструкції антенних систем, наприклад, “дзеркальна, параболоїд обертання зі зміщеним рупорним випромінювачем”, “прохідна плоска фазована антенна решітка (ФАР)”.

Шкала оцінювання для показників прогнозування “точності характеристики вимірювання координат”, “роздільні здатності по координатам”, “потужність випромінювання, або сумарний енергетичний потенціал” формується у вигляді чисельних значень відповідних параметрів.

Шкала оцінювання для показника прогнозування “зона та спосіб огляду простору” формується у вигляді:

- кількісних показників зони огляду (дальність, азимут, кут місця);
- якісних показників способу огляду (наприклад, “круговий за азимутом з механічним обертанням антени і паралельний багатопроменевий за кутом міста”, “секторний за азимутом та кутом міста з електронним скануванням променем”, “круговий за азимутом з механічним обертанням антени і секторний за кутом міста з електронним скануванням променем” та ін.).

Описуються можливі типи та побудова передавальної системи, наприклад, “магнетронний автогенератор”, “клістронний автогенератор”, “транзисторний генератор на арсенід-галієвих паллетах з сумуванням потужності” та ін.

Наводяться типи зондуючих сигналів – “двох імпульсний лінійно-частотно-модульований (ЛЧМ) сигнал”, “двох частотний фазо-кодо-маніпульований (ФКМ) сигнал”, “сигнал без внутрішньоімпульсної модуляції” [17].

Формування характеристик мобільності здійснюється у кількісному вигляді (чисельне значення кількості транспортних одиниць) або якісному вигляді (наприклад, “контейнерне виконання”, “на автомобільному шасі” та ін.).

Шкали оцінювання для кожного показника прогнозування доцільно будувати у вигляді лінгвістичних значень вектору характеристик кожного ЗРЛ для кожного показника.

Приклад значень показників, що приймаються під час аналізу, у табличному вигляді наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення показників для аналізу

Показник прогнозування	Значення x_i , що приймаються
функції, які виконує ЗРЛ	A_{11} =скорочені, A_{12} =типіві, A_{13} =розширені
діапазон частот роботи ЗРЛ	A_{21} =L, A_{22} =S ₁ , A_{23} =S ₂ , A_{24} =C
зона огляду простору	A_{31} =20°, A_{32} =20°, A_{33} =45°
спосіб огляду простору	A_{41} =круговий, A_{42} =секторний
тип та конструкція антенної системи	A_{51} =дзеркальна, A_{52} =прохідна плоска ФАР, A_{53} =активна ФАР
потужність випромінювання	A_{71} =невелика, A_{72} =середня, A_{73} =велика
тип та побудова передавальної системи	A_{81} =магнетронний автогенератор, A_{82} =клістронний автогенератор, A_{83} =транзисторний генератор, A_{84} =підсилювальний амплітрон
типи зондувальних сигналів	A_{91} =не модульовані радіоімпульси, A_{92} =ЛЧМ сигнали, A_{93} =ФКМ сигнали, A_{94} =нелінійно-частотно-модульований сигнал
мобільність, способи та засоби транспортування	A_{101} = контейнерне виконання, A_{102} = на власному автомобільному шасі

Джерело: розроблено авторами.

Відбір зразків або джерел для здійснення прогнозу здійснюється за результатами аналізу:

- рекламних матеріалів та каталогів фірм-розробників, і діючих зразків ЗРЛ, які представляються на міжнародних виставках озброєння;
- відкритих публікацій у наукових виданнях, присвячених радіолокації, та довідниках, наприклад, “Jane's Radar and Electronic Warfare Systems”;
- повідомлень та оглядів в мережі Internet.

Побудова матриці значень показників для кожного зразка здійснюється після перетворювання чисельних показників за допомогою обраної функції приналежності. В якості виду функції приналежності доцільно обрати [13] трапеціодальну за типом “низький”, “середній”, “високий” (рис. 1). Матриця значень показників вже не містить чисельних даних, а має лише лінгвістичні змінні.

Для визначення продукційних правил прогнозування для кожного показника пропонується використовувати відповідний підхід з використанням

апарату нечіткого логічного висновку (систем з нечіткою логікою).

Рис. 1. Вид функції приналежності
Джерело: розроблено авторами за даними [13].

Застосування апарату систем прийняття рішення з нечіткою логікою обумовлено його високою ефективністю в складних процесах, які важко формалізуються і погано структуруються [14].

При цьому вхідні дані можуть бути змінними (приймати значення в якому-небудь інтервалі), дискретними числами або представлятися у вигляді виразів (термів) типу “більш, чим”, або “менш, чим” (за принципом термометру). На підставі вхідних даних формується матриця знань, за допомогою якої блок логічного висновку приймає рішення о наявності і змісті тенденції розвитку.

База правил нечіткої логіки представляється набором нечітких конструкцій “IF-THEN” для кожного показника, в яких передумови і висновки передбачають використання лінгвістичних змінних. Цей набір керівних правил нечіткої логіки (або нечітких тверджень, що управляють) характеризує зв'язок входу системи з її виходом наступним чином:

$$IF \ x \text{ is } A_i \dots, AND \ y \text{ is } B_i \dots, THEN \ z = C_i, i = \overline{1, n}$$

де x, y, z – лінгвістичні змінні, що представляють змінні деякого керованого процесу і керівні змінні відповідно;

A_i, B_i, C_i – лінгвістичні значення змінних x, y, z .

Для випадку аналізу тенденцій розвитку x – це вектор характеристик ЗРЛ.

Для прогнозу необхідна нечітка база знань виду:

$$ЯКЩО \ x_1 = a_1^{j_1}, TA \ x_2 = a_2^{j_1}, TA \dots TA \ x_n = a_n^{j_1}, \quad АБО$$

$$x_1 = a_1^{j_2}, TA \ x_2 = a_2^{j_2}, TA \dots TA \ x_n = a_n^{j_2} \quad АБО$$

$$x_1 = a_1^{j_{kj}}, TA \ x_2 = a_2^{j_{kj}}, TA \dots TA \ x_n = a_n^{j_{kj}}$$

$$ТО \quad y = d_i, \quad j = 1 \dots m$$

де a_i^{jp} – терм, за допомогою якого оцінюється змінна x_i у правилі з номером jp , $p = 1 \dots k_j$; k_j – кількість правил, які описують клас d_i .

Ступені належності об'єкту $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ до тренду d_i розраховуються наступним чином:

$$\mu_{d_i}(X) = \max_{j \in J} \min(\mu_{ip}(x_i^*)),$$

$$p = 1 \dots k_j, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m.$$

У якості рішення обирається тренд з максимальним ступенем приналежності [16]:

$$y^* = \arg \max(\mu_{d_1}(X^*), \mu_{d_2}(X^*), \dots, \mu_{d_m}(X^*)).$$

Таку імплікацію можна віднести до так званої сингтонної бази знань як частковий випадок баз знань Мамдами [15].

Приклад представлення продукційних правил проведення аналізу показників у табличному вигляді наведено в табл. 2. Значення величини $D1$, $D2$ (табл. 2) залежать від кількості зразків, які відібрані для аналізу та визначаються експертним шляхом.

Таблиця 2

Продукційні правила проведення аналізу показників

Показник прогнозування	Продукційні правила
функції, які виконує ЗРЛ	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_1=A_{12}$ та у $D_2\%$ типів ЗРЛ $x_2=A_{13}$, то $z_1=A_{13}$
діапазон частот роботи ЗРЛ	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_2=A_{21}$, або $x_2=A_{22}$ або $x_2=A_{23}$ або $x_2=A_{24}$, то $z_2=x_2$
зона огляду простору	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_3=A_{32}$ або $x_3=A_{31}$ або $x_3=A_{33}$, то $z_3=x_3$
спосіб огляду простору	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_4=A_{42}$, або $x_4=A_{41}$, то $z_4=x_4$
тип та конструкція антенної системи	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_5=A_{52}$ або $x_5=A_{51}$ або $x_5=A_{53}$, то $z_5=x_5$
потужність випромінювання	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_7=A_{72}$ та за останні t років у $D_2\%$ типів ЗРЛ $x_7=A_{73}$ або $x_7=A_{71}$, то $z_7=x_7$
тип та побудова передавальної системи	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_8=A_{82}$ або $x_8=A_{83}$ або $x_8=A_{84}$, то $z_8=x_8$
сигнали випромінювання	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_9=A_{92}$ або $x_9=A_{93}$, то $z_9=x_9$
мобільність, способи та засоби транспортування	якщо не менш чим у $D_1\%$ типів ЗРЛ $x_{10}=A_{101}$ або $x_{10}=A_{102}$, то $z_{10}=x_{10}$

Джерело: розроблено авторами.

Основою для проведення прогнозу є матриця значень показників, яка будується з використанням продукційних правил для кожного показника. Матриця значень показників не містить чисельних даних, а має лише лінгвістичні змінні.

Кожен рядок матриці відповідає вектору значень показника прогнозування одного ЗРЛ. Кожен

стовпчик матриці відповідає одному показнику прогнозування (табл. 3). Результатом прогнозу є побудова вектору оцінки значень показників прогнозування.

Таблиця 3

Приклад матриці значень показників прогнозування

№ зразка ЗРЛ	Значення показників прогнозування N_i, x_i				
	N_1	N_2	N_3	...	N_k
1	A_{11}	A_{11}	A_{11}	...	A_{11}
2	A_{21}	A_{21}	A_{21}	...	A_{21}
3	A_{31}	A_{31}	A_{31}	...	A_{31}
...	...	...	...	...	...
10	A_{101}	A_{101}	A_{101}	...	A_{101}

Джерело: розроблено авторами за даними [13].

Вектор оцінки значень показників прогнозування представляється у табличному вигляді (табл. 4).

Таблиця 4

Приклад вектору оцінки значень показників прогнозування

Показник прогнозування	Значення показника прогнозування (z)
функції, які виконує ЗРЛ	розширені
діапазон частот роботи ЗРЛ	збереження традиційних діапазонів L та S
зона огляду простору	розширення зони огляду до 45-60 град.
спосіб огляду простору	круговий
тип та конструкція антенної системи	прохідна плоска ФАР
потужність випромінювання	середня потужність – до 15 кВт
тип та побудова передавальної системи	транзисторний генератор
типи зондувальних сигналів	ЛЧМ
мобільність, способи та засоби транспортування	контейнерне виконання

Джерело: розроблено авторами.

На основі аналізу значень вектору оцінки показників здійснюється формулювання висновків та пропозицій у текстовому вигляді на основі аналізу значень вектору оцінки показників прогнозування.

Висновки

Методика прогнозу тенденцій розвитку військової радіолокації, яка пропонується, ґрунтується на методах експертного оцінювання та використанні теорії нечітких множин, що є узагальненням класичної теорії множин на випадок різного роду фізичних, лінгвістичних та інших невизначених факторів.

Результатом прогнозу є вектор оцінки показників прогнозування, значення якого у вигляді лінгвістичних змінних визначає прогноз тенденцій розвитку ЗРЛ.

Одним з ключових моментів методики є кваліфікація експертів, які здійснюють вибір показників та розробку продукційних правил прогнозування

для кожного показника. Тому у якості експертів необхідно використовувати фахівців, які мають відповідні досвід та кваліфікацію.

Методика може застосовуватися для прогнозування перспектив розвитку засобів військової радіолокації.

Список літератури

1. Камалтинов Г.Г. Тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / Г.Г. Камалтинов, О.М. Колесник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2020. – № 2(64). – С. 89-95. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.64.13>.
2. Константиновская Л.В. Прогнозирование [Электронный ресурс] / Л.В. Константиновская. – URL: <http://www.astronom2000.info/прогнозирование/osl>.
3. Зинченко Я.И. Методы и приёмы прогнозирования [Электронный ресурс] / Я.И. Зинченко // Современные научные исследования и инновации. – 2019. – № 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2019/03/88823>.
4. Методы социально-экономического прогнозирования в 2 т. Т. 1 Теория и методология / под. ред. И.С. Светуных, С.Г. Светуных. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 351 с.
5. Бутакова М.М. Методы экономического прогнозирования / М.М. Бутакова. – М.: Русайнс, 2019. – 176 с.
6. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
7. Толстых И.В. Ситуационное прогнозирование в техническом анализе [Электронный ресурс] / И.В. Толстых, В.Н. Толстых // Science Direct Working Paper. – March 2003. – No. S1574-0358(04)70825-4. URL: <https://ssrn.com/abstract=3158310>.
8. Гретченко А.А. Форсайт как инновационный инструмент прогнозирования и реализации научных и технологических приоритетов / А.А. Гретченко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2010. – № 1. – С. 154-159.
9. Буренок В.М. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения / В.М. Буренок, Р.Н. Погребняк, А.П. Скотников. – М.: Машиностроение, 2010. – 368 с.
10. Буренок В.М. Образец техники: устаревший, современный или перспективный? / В.М. Буренок, Р.А. Дурнев, К.Ю. Крюков // Вооружение и экономика. – 2017. – 5(42). – С. 5-14.
11. Минаев Ю.Н. Методы и алгоритмы идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом базисе / Ю.Н. Минаев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 205 с.
12. Використання інформації ADS-B в інтересах підвищення якості ведення радіолокаційної розвідки повітряного простору / С.П. Лещенко, О.М. Колесник, С.А. Грицаенко, С.І. Бурковський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 3(28). – С. 69-75. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.28.09>.
13. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей / А.Н. Борисов. – Рига: Зиниате, 1990. – 273 с.
14. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: Бинум, 2011. – 430 с.
15. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 190 с.
16. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 359 с.
17. Пропозиції щодо використання багаточастотного зондуючого сигналу для підвищення якості завадозахисту модернізованих РЛС П-18МА та П-18 Малахіт / А.А. Гризо, О.О. Альчаков, І.М. Лашкул, В.А. Полтавець // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2019. – № 2(35). – С. 143-150. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.18>.

Надійшла до редколегії 12.03.2021

Схвалена до друку 13.04.2021

Відомості про авторів:

Камалтинов Геннадій Григорович
кандидат технічних наук старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Information about the authors:

Gennadij Kamaltynov
Candidate of Technical Sciences Senior Research
Lead Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Тютюнник Владислав Олександрович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Vladyslav Tiutiunnyk

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Тах'ян Кристина Альбертівна

науковий співробітник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>

Kristina Tahyan

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ВОЕННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ
ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ**

Г.Г. Камалтынов, В.А. Тютюнник, К.А. Тахьян

Проводится анализ современных методов прогнозирования и возможности их использования для прогноза тенденций развития средств военной радиолокации. Рассматриваются факторы, которые обуславливают сложность прогнозирования тенденций развития военной радиолокации. Обоснован вывод о невозможности прямого применения формальных методов прогнозирования для корректного прогноза тенденций развития средств военной радиолокации. Предложено использовать объединение методов экспертного оценивания и теории нечетких множеств. Анализируется последовательность и состав этапов разработки методики прогноза развития военной радиолокации. Особое внимание уделяется разработке продукционных правил прогнозирования для каждого показателя и их преобразования из численных значений в вектор лингвистических переменных с помощью функций принадлежности. Приводится пример вектора оценки значений показателей прогнозирования, полученного с помощью предложенной методики.

Ключевые слова: лингвистические переменные методы прогнозирования, показатели прогнозирования, продукционные правила, средства военной радиолокации, тенденции развития.

**METHODOLOGY OF FORECASTING TENDENCIES OF DEVELOPMENT
OF MILITARY RADAR SOLUTIONS FOR AIR TARGET DETECTION**

G. Kamaltynov, V. Tiutiunnyk, K. Tahyan

Modern forecasting methods, which are known from open sources, are described and their conditional division is given. The possibilities of known methods for use in forecasting trends in the development of military radar are analyzed. Factors that make it difficult to predict the development of military radar trends are considered. It is concluded that it is impossible to directly apply formal methods to correctly solve the problem of developing methods of forecasting trends in the development of military radar. It is proposed to combine the methods of expert evaluation using the theory of fuzzy sets. The stages of the process of developing a methodology for forecasting the development of military radar are discussed. The sequence and composition of each of the stages are detailed:

*selection of an evaluation scale for each forecast indicator;
sampling or sources for forecasting;
construction of membership functions for numerical indicators;
dichotomization - conversion of numerical indicators of samples by means of function of belonging into qualitative indicators like "low", "average", "high";
construction of a matrix of values of indicators for each sample;
determination of production forecasting rules for each indicator;
determination of thresholds for forecasting decisions;
conducting a forecast procedure for each indicator using production forecasting rules for each indicator;
construction of a vector for estimating the values of forecasting indicators;
formulation of conclusions and proposals.*

Particular attention is paid to the development of production forecasting rules for each indicator and their transformation from numerical values into a vector of linguistic variables using membership functions. It is given an example of a vector for estimating the values of forecasting indicators, which is obtained using the proposed methodology determination of forecasting indicators.

Keywords: development trends, forecasting methods, military radar tools, forecasting indicators, production rules, linguistic variables.