

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОВТ

УДК 004.8: 004.89: 519.7

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.69-76>

В.П. Дудник, О.А. Грішин, В.Ю. Нетребко, Р.Л. Прус, М.Я. Волощук

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

### МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД З ОЦІНКИ СТАНУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ДЕРЕВ АЛГОРИТМІВ

*Запропоновано механізм синтезу дерев класифікації за фіксованою початковою інформацією (у вигляді навчальної вибірки) для задачі розпізнавання технічного стану зразків озброєння та військової техніки.*

*Побудоване алгоритмічне дерево класифікації (модель) дозволяє класифікувати (розпізнавати) всю навчальну вибірку за якою побудована схема класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки. На базі запропонованої концепції алгоритмічних дерев класифікації побудований набір моделей, які забезпечують ефективну класифікацію та прогнозування технічного стану зразків озброєння та військової техніки.*

**Ключові слова:** модель класифікації, дискретний об'єкт, алгоритмічне дерево класифікації, узагальнена ознака.

#### Постановка проблеми

У всіх війнах і збройних конфліктах завжди була нагальною проблема класифікації втрачених зразків озброєння та військової техніки.

Зразки ОВТ, що є у військових частинах Збройних Сил України, експлуатуються відповідно до введеної системи комплексного технічного обслуговування та ремонту, різних видів контролю технічного стану та технічного обслуговування. Проводяться й інші заходи, що забезпечують безвідмовну роботу протягом встановленого інтервалу часу (між плановими технічними обслуговувати і ремонтами). Разом з тим мають місце випадки формального проведення заходів технічного обслуговування, які по факту не проводяться.

На даний час на озброєнні Збройних Сил України знаходиться велика кількість зразків озброєння та військової техніки, що мають різне функціональне призначення, конструкцію та відповідно технічний стан. Все це зумовлює пошук нових підходів до класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки. На даний час завдання класифікації є актуальними у різних сферах життєдіяльності суспільства. Разом з тим, враховуючи велику кількість методів (методів, підходів, концепцій), на даний час не існує універсального підходу, який можна використовувати для класифікації у всіх сферах життєдіяльності суспільства [1–3]. Разом з тим, найбільш гнучкими та універсальними є концепція дерев класифікації. Основними перевагами зазначеного математичного апарату є можливість ефективно працювати

для рішення завдань класифікації з вхідними даними, що мають довільні шкали (коли інформація може бути задана як в числовому вигляді, так і у вигляді вербальних значень).

#### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Основною концептуальною особливістю дерев класифікації є те, що окремі ознаки (групи ознак) задаються відносно функції класової класифікації [2]. Проте функціонали оцінок не мають універсальності в частині генерації структури логічних дерев класифікації (ЛДК). Відомі методи (методики) класифікації на основі математичного апарату ЛДК/АДК (логічних та алгоритмічних дерев класифікації) дозволяють проводити одномірне розгалуження для класифікації окремих змінних. Зазначена особливість дозволяє працювати з предикатами. Для моделей АДК недослідженим залишається питання оцінки якості розгалужень структури дерев класифікації [3]. Запропонована в роботі [3] концепція активно використовується в інтелектуальному аналізі даних, що є методами обробки різнотипних даних в реальному масштабі часу від різних джерел добування інформації [4–23]. Недоліком такого підходу є обчислювальна складність моделей класифікації та необхідність застосування процедури урізання моделі, а також необхідність наявності великої кількості еталонних моделей перевірки адекватності розпізнавання стану об'єктів класифікації.

### Мета та задачі дослідження

Враховуючи зазначене, метою даного дослідження є побудова моделей класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки на підставі дерев алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

### Виклад основного матеріалу дослідження

На множині  $G$  об'єктів, що підлягають аналізу технічного стану  $x$ , визначено розбиття  $R$  на скінченне число  $k$  підмножин  $H_i$  ( $i=1, \dots, k$ ),  $G = \bigcup_{i=1}^k H_i$ . Множини  $H_1, \dots, H_k$  є образами, а складові зазначених множин  $G$  є зображеннями образів  $H_1, \dots, H_k$ . Об'єкти, що підлягають аналізу технічного стану  $x$ , визначаються переліком значень  $x_j$  ( $j=1, \dots, n$ ). Якщо  $x \in H_i$  то будемо вважати, що об'єкт аналізу технічного стану належить  $H_i$ . В загальному випадку  $H_1, \dots, H_k$  можуть бути визначені різними розподілами, наприклад ймовірнісний  $p(H_1/x), \dots, p(H_k/x)$ , де  $p(H_i/x)$  – імовірність того, що образ  $H_i$  належить  $x(x \in G)$ . Припустимо, що навчальна вибірка (НВ) задана в вигляді навчальних пар:

$$(x_1, f_R(x_1)), \dots, (x_m, f_R(x_m)). \quad (1)$$

У виразі (1)  $x$  є елементом початкової НВ, а  $f_R$  – значенням функції розпізнавання об'єкта аналізу технічного стану. Крім початкової НВ задається і тестова вибірка (ТВ), яка є частиною початкової НВ. Враховуючи вищезазначене, при початковій умові НВ є фіксованою послідовністю дискретних об'єктів, що підлягають аналізу технічного стану. Хотілося б окремо зазначити те, що кожний набір дискретних об'єктів, що підлягають аналізу технічного стану, є сукупністю значень атрибутів та функцій розпізнавання (ФР) в визначеному наборі класифікації. Враховуючи зазначене, в роботі необхідно вирішити задачу побудови моделі алгоритмічних дерев для класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки. Зазначена модель має параметра  $p$ , структуру  $L$ , яка повинна бути оптимальною  $F(L(p, x_i), f_R(x_i)) \rightarrow \text{opt}$  по відношенню до початкових даних НВ.

Введемо множини, які описують розбиття НВ алгоритмами класифікації  $a_i$

$$G_{a_1, \dots, a_i} = \{x \in G / a_i(x) = 1\}, (i = 1, \dots, n). \quad (2)$$

Множини  $G_{a_1, \dots, a_n}$  представляють поетапне розбиття множини  $G$ , що описується окремими незалежними алгоритмами  $a_1, \dots, a_n$ . В залежності від базового визначення набору алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки

$a_1, \dots, a_n$  окремі множини технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $G_{a_1, \dots, a_n}$  можуть бути пустими.

Введемо критерій розгалуження в структурі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки:

$$\delta_{a_1, \dots, a_i} = \frac{S_{a_1, \dots, a_i}}{m}; \quad \psi_{a_1, \dots, a_i}^j = \frac{S_{a_1, \dots, a_i}^j}{S_{a_1, \dots, a_i}};$$

$$\rho_{a_1, \dots, a_i} = \max_j \psi_{a_1, \dots, a_i}^j. \quad (3)$$

У виразі (3) величина  $S_{a_1, \dots, a_n}$  описує кількість входжень в початкову НВ пар навчальних  $(x_s, f_R(x_s))$ , ( $1 \leq s \leq m$ ), що задовольняють базовій умові належності  $x_s \in G_{a_1, \dots, a_n}$ . Разом з тим величина  $S_{a_1, \dots, a_n}^j$  ( $j=0, 1, \dots, k-1$ ) є кількістю входжень в НВ тих пар  $(x_s, f_R(x_s))$ , ( $s=1, \dots, m$ ), при умові  $x_i \in G_{a_1, \dots, a_n}$  та  $f_R(x_s)=j$ .

Якщо об'єкт озброєння та військової техніки, технічний стан якого необхідно визначити  $x_s \notin G_{a_1, \dots, a_i}$  для всіх  $s=1, \dots, m$ , тоді зрозуміло, що величини  $\delta=0$  та  $\psi=0$ , при ( $j=0, \dots, k-1$ ). Величина  $\delta$  характеризує частоту входжень елементів послідовності  $x_1, \dots, x_m$  в  $G_{a_1, \dots, a_n}$ .

На наступному етапі визначається належність технічного стану зразка озброєння та військової техніки  $x$  класам  $H_0, \dots, H_{k-1}$ , що описується математичним співвідношенням (4):

$$\rho_{a_1, \dots, a_i} = \psi_{a_1, \dots, a_i}^j. \quad (4)$$

Співвідношення (4) є деяким правилом класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки. Хотілося б окремо зазначити те, що чим більше величина  $\rho$ , тим вища його ефективність. Оскільки в якості єдиної інформації, яка являє розбиття образів технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $H_0, \dots, H_{k-1}$ , є початкова НВ, тому під класом  $H_j$  розуміється сукупність всіх навчальних пар  $(x_s, f_R(x_s))$  НВ, які задовольняють співвідношення  $f_R(x_s)=j$ , тобто умові належності. Середня ефективність розпізнавання набору образів технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $H_0, \dots, H_{k-1}$ , які задані даними НВ, описується виразом (5)

$$F_S(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{a_1, \dots, a_i} \delta_{a_1, \dots, a_i} * \rho_{a_1, \dots, a_i}. \quad (5)$$

Величина  $F_S(a_1, \dots, a_n)$  є оцінкою апроксимації початкової НВ за допомогою набору незалежних алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $a_1, \dots, a_n$ . Величину  $F_S(a_1, \dots, a_n)$  можна отримати через функцію розпізнавання  $F$ , що кожному набору  $a_1, \dots, a_n$  ставить у відповідність деякий елемент множини  $\{0, \dots, k-1\}$ .

ФР  $F$  є функцією вигляду  $F_S(a_1, \dots, a_i)$ , де  $a_1, \dots, a_i$  приймають значення з множини  $\{0, 1\}$ . Відповідно

ФР  $F_S(a_1, \dots, a_i)$  об'єкт, що підлягає аналізу технічного стану  $x, (x \in G)$  відноситься до того класу (образу)  $H_j, (0 \leq j \leq k-1)$ :

$$F(a_1, \dots, a_i) = l, (0 \leq l \leq k-1). \quad (6)$$

Введемо наступну величину

$$\tau_F = \frac{m_F}{m}. \quad (7)$$

Ця величина  $\tau_F$  є загальною ефективністю ФР  $F(a_1, \dots, a_i)$  для початкової НВ потужності  $m$  деякого набору алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $a_1, \dots, a_n$ .

При  $F(a_1, \dots, a_i) = l$  кількість всіх навчальних пар алгоритму класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $(x_S, f_R(x_S))$ , які правильно класифікуються. При цьому величина  $m_F$  розраховується як

$$m_F = \sum_{0 \leq a_1, \dots, a_i \leq 1} S_{a_1, \dots, a_i}^{F(a_1, \dots, a_i)}. \quad (8)$$

Представимо величину  $m_F$  через функцію розпізнавання

$$m_F = \sum_{0 \leq a_1, \dots, a_i \leq 1} S_{a_1, \dots, a_i} * \psi_{a_1, \dots, a_i}^{F(a_1, \dots, a_i)}. \quad (9)$$

$\tau_F$  описує ефективність ФР  $F(a_1, \dots, a_i)$  відносно фіксованого набору алгоритмів класифікації  $a_1, \dots, a_n$ .

На наступному етапі за допомогою виразів (8), (9) та за допомогою математичних перетворень отримаємо:

$$m_F = \frac{m_F}{m} = \sum_{0 \leq a_1, \dots, a_i \leq 1} \delta_{a_1, \dots, a_i} * \psi_{a_1, \dots, a_i}^{F(a_1, \dots, a_i)}. \quad (10)$$

$$\tau_F \leq F_S(a_1, \dots, a_n). \quad (11)$$

Функцію розпізнавання з виразу (4) представимо через  $F_0$

$$F_0(a_1, \dots, a_n) = l,$$

якщо

$$\psi_{a_1, \dots, a_i}^l = \rho_{a_1, \dots, a_i} = \max_{0 \leq j \leq k-1} \psi_{a_1, \dots, a_i}^j. \quad (12)$$

Провівши нескладні математичні перетворення виразів (12) та (10), отримаємо

$$\begin{aligned} \tau_{F_0} &= \frac{m_{F_0}}{m} = \sum_{0 \leq a_1, \dots, a_n \leq 1} \delta_{a_1, \dots, a_i} * \psi_{a_1, \dots, a_i}^{F(a_1, \dots, a_i)} = \\ &= \sum_{0 \leq a_1, \dots, a_n \leq 1} \delta_{a_1, \dots, a_i} * \rho_{a_1, \dots, a_i} = F(a_1, \dots, a_n). \end{aligned} \quad (13)$$

Також на підставі формул (11) та (13) для всіх ФР  $F(a_1, \dots, a_n)$

$$\tau_F \leq \tau_{F_0}. \quad (14)$$

Як висновок можна зазначити те, що оцінка ефективності набору алгоритмів  $W(a_1, \dots, a_n)$  є ефективністю розпізнавання деякої побудованої структури АДК класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки, яка визначається набором алгоритмів  $a_1, \dots, a_n$ . Величина  $W$  визначається для довільного алгоритму розпізнавання в структурі дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

**Модель дерева алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки.** Структура АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки має загальну конструкцію, що наведена на рис. 1. Кожний ярус структури визначає етап побудови АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки у вигляді апроксимації певної частини НВ.

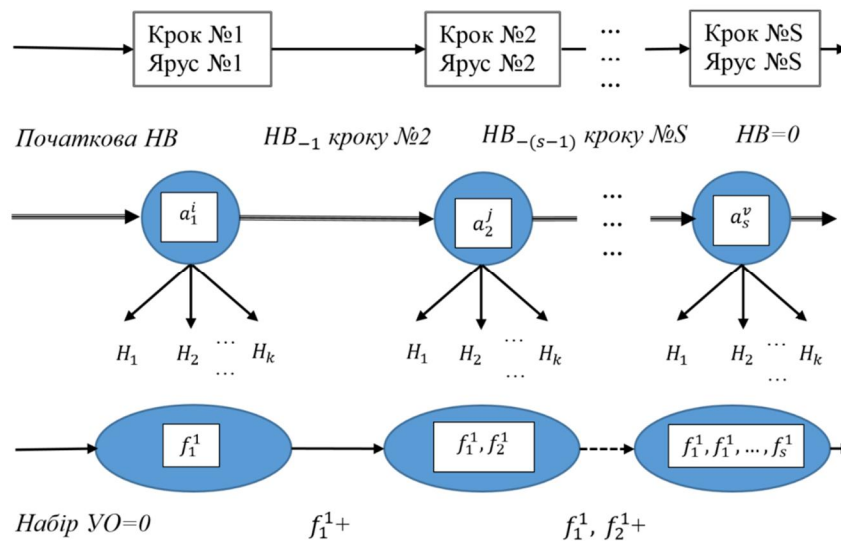


Рис. 1. Загальна схему структури АДК (типу I)

На наступному етапі для методу АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки введемо базові критерії побудови моделі дерева класифікації

технічного стану зразків озброєння та військової техніки: критерій зупинки процедури розгалуження  $K_{Stop}$  алгоритму класифікації технічного стану зразків

озброєння та військової техніки. Даний критерій визначає складність і точність отриманої моделі АДК класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки. Критерій відбору розгалуження  $W(a)$  (вибору алгоритму класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки на поточному кроці) для дерева класифікації, що будується.

Пропонується ввести критерій зупинки  $K_{Stop}$  процесу розгалуження типу (*boolean*) процедури побудови АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки, який полягає в перевірці  $P_{pt}(HB)$  НВ

$$K_{Stop} = \begin{cases} 0, & \text{if } P_{pt}(HB) = 0 \\ 1, & \text{if } P_{pt}(HB) > 0 \end{cases} \quad (15)$$

Процедура побудови дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки відбувається до  $K_{Stop}=1$ , причому початкова оцінка ефективності набору алгоритмів ( $a_1, \dots, a_i$ ) класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки представляється у вигляді

$$W(a_i) = \frac{1}{P_{pt}(HB)} * \frac{\sum_{j=1}^k (T_{Uz} + S_{Uz} + \frac{E_{Uz}}{S_{Uz}})}{k}, \quad (16)$$

де  $k$  – кількість класів поточної задачі класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки, які представлені розбиттям  $R$ ;

$T_{Uz}$  – апаратний час, що витрачається на побудову УО  $f_j$  класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки;

$E_{Uz}$  – структурна складність УО  $f_j$  на поточному кроці генерації моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки;

$S_{Uz}$  – кількість об'єктів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $x_i$ ;

$P_{pt}(HB)$  – потужність початкової НВ.

Алгоритм реалізації методу побудови моделі АДК класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки представлений на рис. 2.

**Крок 1.** На першому кроці побудови АДК класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки записується перелік алгоритмів класифікації ( $a_1, \dots, a_m$ ).

**Крок 2.** На другому кроці побудови АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки кожен відібраний набір алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки ( $a_1, \dots, a_m$ ) оцінюється та ранжується на основі виразу (16).

**Крок 3.** На третьому кроці схеми побудови АДК класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки фіксується, як початкова вершина

АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки – алгоритм класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $a_i$  найбільшої ефективності з відібраного набору ( $a_1, \dots, a_m$ ).

**Крок 4.** На четвертому кроці обирається в якості вершини другого ярусу наступний за ефективністю алгоритм класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки  $a_i$  ранжованої послідовності ( $a_1, \dots, a_m$ ) та повторюється процедура побудови УО третього етапу.

Найважливішим показником, що характеризує базові властивості отриманих моделей АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки, є базовий показник узагальнення даних початкової НВ деревом класифікації розраховується наступним чином

$$I_{Main} = \frac{m * O_{Uz}}{Fr_{All} + V_{All} + N_{All} + 2P_{All}}. \quad (17)$$

Даний показник узагальнення моделі дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки відображає його базові параметри дерев класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки та може бути застосована в якості критерію оптимальності в процедурі оцінки довільної деревоподібної схеми розпізнавання технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

Так, важливим показником якості побудованої моделі у вигляді дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки з врахуванням параметрів структури моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки є загальний інтегральний показник якості

$$Q_{Main} = \frac{Fr_{All}}{O_{Uz} * \sum_i p_i} * e^{\frac{Er_{All}}{M_{All}}}. \quad (18)$$

У виразах (17–18) параметри мають наступну інтерпретацію:

$Er_{All}$  – кількість помилок моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки на масивах даних початкових тестової та навчальної вибірки –  $Er_{All} = En_r + Et_r$ ;

$M_{All}$  – загальна потужність цих двох масивів даних –  $M_{All} = m + T$ , де  $m$  та  $T$  відповідні потужності НВ та ТВ;

$Fr_{All}$  – загальна кількість вершин отриманої моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки з результуючими значеннями  $f_R$ ;

$O_{Uz}$  – кількість всіх узагальнених ознак у структурі моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки;

$V_{All}$  – загальна кількість всіх типів вершин (крім результуючих ФР) в структурі моделі АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки;

$N_{All}$  – кількість різних алгоритмів класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки, що використовуються в моделі дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки;

$P_{All}$  – загальна кількість переходів між вершинами (ярусами) в структурі побудованої моделі дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

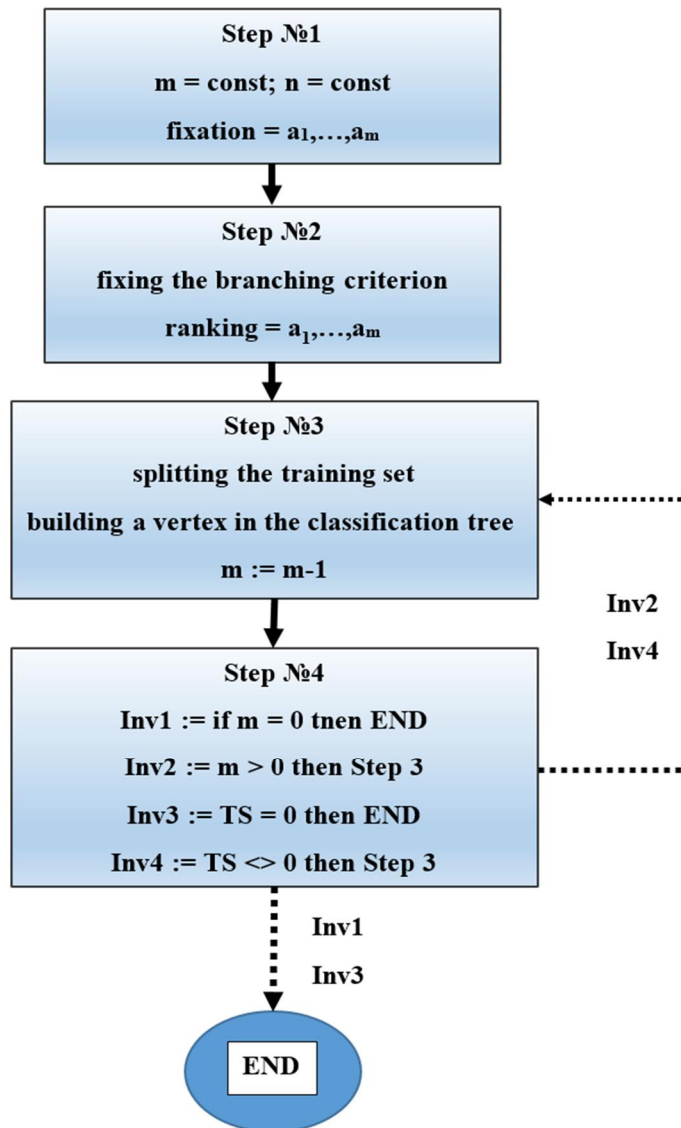


Рис. 2. Алгоритм побудови класифікації технічного стану зразків ОВТ

Набір параметрів  $p_i$  для інтегральної оцінки якості моделі дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки являє собою найбільш важливі характеристики дерева класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки, що оцінюється і може бути розширений і на структури (методи) ЛДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки даної прикладної задачі.

### Висновки

1. Розроблено концепцію побудови деревоподібних моделей класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки, яка базується на

поетапній апроксимації масиву початкових даних НВ набором відібраних та оцінених незалежних алгоритмів розпізнавання технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

2. Розроблено метод і модель побудови структур АДК для класифікації технічного стану зразків озброєння та військової техніки (на основі оцінки та ранжування набору автономних алгоритмів розпізнавання та класифікації для генерації структури дерева класифікації).

Це дозволяє досягти більш оптимальної структури синтезованого АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки за початковими даними НВ.

3. В роботі запропонований набір загальних показників (параметрів) моделей АДК технічного стану зразків озброєння та військової техніки, який дозволяє ефективно представити загальні характеристики побудованого дерева класифікації, можливе його використання для відбору найбільш оптимального АДК з набору побудованих.

Напрямом подальших досліджень слід вважати розробку методики визначення технічного стану зразків озброєння та військової техніки.

### Список літератури

1. Купріненко А.Н., Голуб В.А. Синтез вариантов проектных гипотез технического облика перспективных типов боевых бронированных машин. *Військово-технічний збірник*. № 2 (9). Львів: АСВ, 2013. С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.36-42>

2. Купріненко О.М. Обгрунтування принципів формування перспективних типів бойових броньованих машин. *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. № 4 (32). С. 40–46.

3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

4. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. Ю.Н. Чершышова. М.: Мир, 1993.

5. Bellman R.T., Zadeh L.A. Decision Making in Fuzzy Environment. *Management Science*. 1970. 17, No4. P. 141-164.

6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. Москва: Радиотехника, 2009. 393 с.

7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ, 2009. 798 с.

8. G. Chen, J. Vanthienen, G. Wets. Fuzzy decision tables: extending the classical formalism to enhance intelligent decision making. *Proc. of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. 1995, vol. 2, pp. 599-606.

9. Wang L.-X., Adaptive fuzzy systems and control: design and stability analysis, Prentice Hall, 1994.

10. Гусева М.В., Демидова Л.А. Классификация инвестиционных проектов на основе систем нечеткого вывода, мультимножеств и генетических алгоритмов. *Инновации в науке и образовании*. Москва. 2006. №12(27). С. 12.

11. Рижов Є., Сакович Л., Глухов С., Настішин Ю. Оцінка впливу діагностичного забезпечення на надійність радіоелектронних систем. *Військово-технічний збірник*, 2021. № 24, С. 3–8. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.3-8>.

12. Tkachuk P.P., Stetsiv S.V., Burdeinyi M.V., Mizin V.S. Науково-методичний апарат моделювання процесу розвідки. *Військово-технічний збірник*, №(21), С. 60–66. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.60-66>.

13. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov, A. Shyshatskiy. Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3. No. 2 (105). 2020. pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.

14. Pivtsov H., Turinskyi O., Zhyvotovskiy R., Sova O., Zvieriev O., Lanetskii B., Shyshatskiy A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy

expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, No. (4), pp. 78-89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.

15. P. Zuiiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechnyi, M. Adamenko, A. Shyshatskiy, Y. Neroznak, V. Velychko. Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. 2020, Vol. 4, No. 9 (106), pp. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.

17. A. Shyshatskiy, O. Zvieriev, O. Salnikova, Ye. Demchenko, O. Trotsko, Ye. Neroznak. Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Vol. 9, No. 4, pp. 5583–5590 DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.

17. Троценко Р.В., Болотов М.В. Процесс извлечения данных из разнотипных источников. *Приволжский научный вестник*. № 12–1 (40). 2014. С. 52–54.

18. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: “УНИВЕРСУМ”, 1999. 320 с.

19. Алпеева Е.А., Волкова И.И. Использование нечетких когнитивных карт при разработке экспериментальной модели автоматизации производственного учета материальных потоков. *Экономика и промышленность*. 2019. Том 12. №1. С. 97–106. DOI: 10.17073/2072-1633-2019-1-97-106.

20. Y.-C. Ko, H. Fujita. An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*. 2019. Vol. 486. pp. 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>.

21. A.B. Çavdar, N. Ferhatosmanoğlu. Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*. 2018. Vol. 67. pp. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>.

22. A.B.-C. Pilar, C.-F.B. Pérez, R. Sancho, M. Lorente, G. Sastre, C. González. A new tool for evaluating and/or selecting analytical methods: Summarizing the information in a hexagon. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 118. pp. 538–547. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.015>.

23. I.J. Ramaji, A.M. Memari. Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>

### References

1. Kuprinenko A.N. and Golub V.A. (2013), “Syntez varyantov proektnykh hypotez tekhnicheskoho oblyka perspektyvnykh tyrov boevykh bronirovannykh mashyn” [Synthesis of variants of design hypotheses of the technical appearance of promising types of armored combat vehicles]. *Military Technical Collection*. Academy of Land Forces. No. 2 (9). pp. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.36-42> [in Russian].

2. Kuprinenko O.M. (2012), “Obgruntuvannya pryntsyypiv formuvannya perspektyvnykh tyrov boyovykh bron'ovanykh mashyn” [Substantiation of the principles of formation of promising types of armored combat vehicles]. *Weapons systems and military equipment*. No. 4 (32). pp. 40–46. [in Ukrainian].

3. Leonenkov A.V. (2003), “Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH” [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg. 256 p. [in Russian].



4. Terano T., Asai K. and Sugeno M. (1993), “*Prikladnyye nechetkie sistemy*” [Applied fuzzy systems]. Moscow. Mir. 300 p. [in Russian].
5. Bellman R.T. and Zadeh L. (1970), A. Decision Making in Fuzzy Environment. *Management Science*. No. 4, pp. 141-164.
6. Vasiliev V.I. and Ilyasov B.G. (2009), “*Intellektual'nyye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika*” [Intelligent control systems. Theory and practice]: Textbook. Moscow: *Radiotekhnika*. 393 p. [in Russian].
7. Pegat A. (2009), “*Nechetkoye modelirovaniye i upravleniye*” [Fuzzy modeling and control]. Moscow: *BINOM*. 798 p. [in Russian].
8. G. Chen, J. Vanthienen and G. Wets (1995), “Fuzzy decision tables: extending the classical formalism to enhance intelligent decision making”. *Proc. of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. Vol. 2, pp. 599-606.
9. Wang L.-X. (1994), “Adaptive fuzzy systems and control: design and stability analysis”, *Prentice Hall*, 604 p.
10. Guseva M.V. and Demidova L.A. (2006), “Klassifikatsiya investitsionnykh proyektov na osnove sistem nechetkogo vyvoda, multimnozhestv i geneticheskikh algoritmov” [Classification of investment projects based on fuzzy inference systems, multisets and genetic algorithms]. *Innovations in Science and Education*. Moscow. No. 12 (27). pp. 12. [in Russian].
11. Ryzhov E., Sakovich L., Glukhov S. and Nastyshyn Yu. (2021), “Otsinka vplyvu diahnostychnoho zabezpechennya na nadiynist' radioelektronnykh system” [Estimation of influence of diagnostic maintenance on reliability of radio electronic systems]. *Military Technical Collection*. No. 24, pp. 3–8. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.3-8>. [in Ukrainian].
12. Tkachuk P.P., Stetsiv S.V., Burdeinyi M.V. and Mizin, V.S. (2019), “Naukovo-metodychnyy aparat modelyuvannya protsesu rozvidky” [Scientific and methodical apparatus for modeling the intelligence process]. *Military Technical Collection*. No.21, pp. 60–66. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.60-66>. [in Ukrainian].
13. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov and A. Shyshatskiy (2020), “Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3. No. 2 (105). pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
14. Pievtsov H., Turinskyi O., Zhyvotovskiy R., Sova O., Zvieriev O., Lanetskii B., and Shyshatskiy A. (2020), “Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation”. *EUREKA: Physics and Engineering*, No. (4), pp. 78-89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.
15. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechnyi, M. Adamenko, A. Shyshatskiy, Y. Neroznak and V. Velychko (2020), “Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems”. Vol. 4, No. 9 (106), pp. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.
16. A. Shyshatskiy, O. Zvieriev, O. Salmnikova, Ye. Demchenko, O. Trotsko and Ye. Neroznak. Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Vol. 9, No. 4, pp. 5583–5590 DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.
17. Trotsenko R.V. and Bolotov M.V. (2014), “Protsses izvlecheniya dannykh iz raznotipnykh istochnikov” [The process of extracting data from different types of sources]. *Privolzhsky Scientific Bulletin*. No. 12-1 (40). pp. 52–54. [in Russian].
18. Rothstein A.P. (1999), “Intellektual'nyye tekhnologii identifikatsii: nechetkiye mnozhestva, geneticheskiye algoritmy, neyronnyye seti” [Intelligent identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks]. Vinnytsia: “UNIVERSUM”. 320 p. [in Russian].
19. Alpeeva E.A. and Volkova I.I. (2019), “Ispol'zovaniye nechetkikh kognitivnykh kart pri razrabotke eksperimental'noy modeli avtomatizatsii proizvodstvennogo ucheta material'nykh potokov” [The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model for the automation of production accounting of material flows]. *Economy and industry*. Vol. 12. No. 1. pp. 97–106. DOI: 10.17073 / 2072-1633-2019-1-97-106. [in Russian].
20. Y.-C. Ko and H. Fujita (2019), “An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing”. *Information Sciences*. Vol. 486. pp. 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>.
21. A. B. Çavdar and N. Ferhatosmanoğlu (2018), “Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information”. *Journal of Air Transport Management*. Vol. 67. pp. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>.
22. A. B.-C. Pilar, C.-F. B. Pérez, R. Sancho, M. Lorente, G. Sastre and C. González (2019), “A new tool for evaluating and/or selecting analytical methods: Summarizing the information in a hexagon”. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. Vol. 118. pp. 538–547. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.015>.
23. I.J.Ramaji and A.M. Memari (2018), “Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models”. *Automation in Construction*. Vol. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.

#### METHODICAL APPROACH TO ASSESS THE CONDITION OF SAMPLES OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT ON THE BASIS OF ALGORITHMIC TREES

V. Dudnyk, O. Grishchyn, V. Netrebko, R. Prus, M. Voloshcuk

*An effective mechanism for the synthesis of classification trees based on fixed initial information (in the form of a training sample) for the task of recognizing the technical condition of samples of weapons and military equipment. The constructed algorithmic classification tree (model) will unmistakably classify (recognize) the entire training sample (situational objects) according to which the classification scheme is constructed. And have a minimal structure (structural complexity) and consist of components (modules) - autonomous algorithms for classification and recognition as vertices of the structure (attributes of the tree). The developed method of building models of algorithm trees (classification schemes) allows you to work with training samples of a large amount of different types of information (discrete type). Provides high accuracy, speed and economy of hardware resources in the process of generating the final classification scheme, build classification trees (models) with a predetermined accuracy. The approach of synthesis of new algorithms of recognition (classification) on the basis of library (set) of already known algorithms (schemes) and methods is offered. Based on the proposed concept of algorithmic classification*

trees, a set of models was built, which provided effective classification and prediction of the technical condition of samples. The paper proposes a set of general indicators (parameters), which allows to effectively present the general characteristics of the classification tree model, it is possible to use it to select the most optimal tree of algorithms from a set based on methods of random classification trees. Practical tests have confirmed the efficiency of mathematical software and models of algorithm trees.

**Keywords:** classification model, discrete object, algorithmic classification tree, generalized feature

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ

В.П. Дудник, А.А. Гріщин, В.Ю. Нетребко, Р.Л. Прус, М.Я. Волощук

Эффективный механизм синтеза классификационных деревьев на основе фиксированной исходной информации (в виде обучающей выборки) для задачи распознавания технического состояния образцов вооружения и военной техники. Построенное дерево алгоритмической классификации (модель) безошибочно классифицирует (распознает) всю обучающую выборку (ситуационные объекты), по которым построена схема классификации. Имеют минимальную структуру (структурную сложность) и состоят из компонентов (модулей) - автономных алгоритмов классификации и распознавания как вершин структуры (атрибутов дерева). Разработанный метод построения моделей деревьев алгоритмов (классификационных схем) позволяет работать с обучающими выборками большого количества разного типа информации (дискретного типа). Обеспечивает высокую точность, скорость и экономию аппаратных ресурсов в процессе генерации итоговой схемы классификации, построения деревьев (моделей) классификации с заданной точностью.

Предлагается подход синтеза новых алгоритмов распознавания (классификации) на основе библиотеки (набора) уже известных алгоритмов (схем) и методов. На основе предложенной концепции деревьев алгоритмической классификации был построен набор моделей, обеспечивающий эффективную классификацию и прогноз технического состояния образцов. В статье предлагается набор общих показателей (параметров), позволяющий эффективно представить общие характеристики модели дерева классификации, с его помощью можно выбрать наиболее оптимальное дерево алгоритмов из набора на основе методов деревьев случайной классификации. Практические испытания подтвердили эффективность математического программного обеспечения и моделей деревьев алгоритмов.

**Ключевые слова:** классификационная модель, дискретный объект, алгоритмическое классификационное дерево, обобщенный признак.

УДК 623.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.76-84>

Є.В. Рижев<sup>1</sup>, Л.М. Сакович<sup>2</sup>, О.В. Ходич<sup>3</sup>, О.В. Ковальов<sup>3</sup>, Ю.А. Настишин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

<sup>2</sup>Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ

<sup>3</sup>Національна академія Служби безпеки України, Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПІДСИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Комплексний показник надійності радіоелектронних засобів – коефіцієнт готовності – суттєво залежить від середнього часу їх відновлення. При цьому найбільші працевитрати фахівці ремонтних органів витрачають на пошук несправного елемента. Діагностичне забезпечення ремонту залежить від моделей, які використовують при розробці алгоритмів пошуку дефектів. Найбільш поширене використання діагностичних моделей у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків, який складається з трьох видів структур: послідовне з'єднання елементів, конвергуючі і дивергуючі. При цьому останні не отримали необхідного дослідження.

У статті в результаті дослідження впливу форм графа інформаційно-енергетичних зв'язків на показники якості діагностичного забезпечення підсистем електроживлення радіоелектронних засобів вперше отримано аналітичні залежності кількісної оцінки керованих змінних на середній час відновлення. Це дозволяє підвищити якість діагностичного забезпечення існуючих і перспективних зразків під час їх проектування. Мінімізація діагностичних помилок дає можливість перевірки доцільності використання діагностичного і метрологічного забезпечення під час поточного ремонту радіоелектронних засобів агрегатним методом, що зменшує час відновлення працездатності, особливо в польових умовах.