

*Микола Вікторович Мороз*¹*Олександр Вікторович Яковчук*²*Сергій Станіславович Гаценко* (кандидат технічних наук)³¹ Науково-дослідний інститут Воєнної розвідки, Київ, Україна² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна³ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ РІЗНОРІДНИХ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Технології штучного інтелекту активно застосовуються для вирішення загальних і вузькоспеціалізованих завдань. У процесі оцінювання (ідентифікації) стану складних і різноманітних об'єктів є високий ступінь апріорної невизначеності стосовно їх стану та малий обсяг вихідних даних, що їх описують. Тенденції збройних конфліктів останніх десятиліть, а також закономірності розвитку інформаційних систем переконливо свідчать про необхідність зміни підходів до збору інформації від різноманітних джерел та їх аналізу. Відбувається постійна трансформація форм подання інформації і порядку зберігання та доступу до різноманітних даних. Невирішеною повністю також є проблема інтеграції різноманітних джерел збору інформації в єдиний інформаційний простір. Саме тому, питання підвищення оперативності оцінювання стану складних і різноманітних динамічних об'єктів є важливим та актуальним питанням. Об'єктом дослідження є різноманітні динамічні об'єкти, а предметом – ідентифікація стану різноманітних динамічних об'єктів. У статті розроблену модель ідентифікації стану різноманітних динамічних об'єктів. Новизна запропонованої методики полягає у: врахуванні ступеня невизначеності про стан різноманітного динамічного об'єкту; врахуванні ступеня зашумленості даних у результаті викривлення даних, що характеризують стан різноманітного динамічного об'єкту; зменшенні обчислювальних витрат з оцінювання стану різноманітних динамічних об'єктів; можливості проведення розрахунків із вихідними даними, що є різні за природою та одиницями вимірювання. Зазначену методичку доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних технічних систем та прийнятті рішень.

Ключові слова: різноманітні динамічні об'єкти; складні технічні системи; комплексний аналіз; обробка різноманітних даних.

Вступ

Постановка проблеми. Штучний інтелект (ШІ) набув широкого використання для вирішення різноманітних завдань [1–3]. ШІ використовується для збільшення ефективності обробки даних, обробки великих масивів даних і підтримки прийняття рішень [3–5]. Аналіз зміни форм і способів збройних конфліктів останніх десятиліть [1–5], а також тенденції розвитку інформаційних систем різного функціонального призначення [6–10] переконливо свідчать про необхідність зміни підходів до: збору інформації від різноманітних джерел; аналізу різноманітних даних; форм представлення інформації; порядку зберігання та доступу до різноманітних даних; інтеграції різноманітних джерел інформації в єдиний інформаційний простір.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В праці [1] проведено огляд тенденцій розвитку інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил України (ЗС України). Водночас учені акцентували увагу на розвиток єдиного інформаційного простору для потреб ЗС України та інших складових сектору безпеки і

оборони. У [2] запропоновано підхід до навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Запропоновано використовувати зазначений підхід як універсальний для машинного навчання в інформаційних та автоматизованих системах спеціального призначення. У [3] запропоновано метод знаходження рішень щодо стану радіоелектронної обстановки в регіоні відповідальності за допомогою нейро-нечітких експертних систем. В [4] запропоновано підхід до комплексного оцінювання та прогнозування радіоелектронної обстановки за допомогою нечітких когнітивних моделей. В [5, 6] запропоновано комплексний підхід до обробки різноманітних даних в інформаційних системах спеціального призначення, що є різними за походженням та одиницями виміру. В роботі [7] запропонований підхід до збору, обробки та формування баз даних польоту роботизованих систем. В [8] наведено основні підходи з інтелектуальної обробки даних, їх галузі використання і наявні переваги та недоліки, пов'язані з їх використанням. В [9] запропоновано структурно-аналітичну модель для вирішення

завдань прийняття рішень у системах підтримки прийняття рішень з вирішення завдань будівництва, а в [10] – платформу для вирішення завдань прийняття рішень у системах підтримки прийняття рішень з ліквідації надзвичайних ситуацій та безпеки.

Мета статті. Враховуючи зазначене, метою дослідження є розроблення моделі ідентифікації стану різнорідних динамічних об'єктів. Об'єктом дослідження є різнорідні динамічні об'єкти, а предметом – ідентифікація стану різнорідних динамічних об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вихід динамічного об'єкта представлений вимірами, що формують вибірку об'єму s , тобто $\{y_i, t_i\}, i = \bar{1}, \bar{s}$, де $y_i \in R$ – вимірювання виходу динамічної системи в момент часу $t_i \in [0, +\infty), u = u(t)$ – відомі дані керування входом динамічної системи. Відомо також, що система є лінійною та описується лінійним диференціальним рівнянням виду та вважаємо відомим початкова умова рівняння:

$$a_k \cdot x^{(k)} + a_{k-1} \cdot x^{(k-1)} + \dots + a_0 \cdot x = b \cdot u(t), \quad (1)$$

$$x(0) = x_0.$$

Необхідно за даними вибірки визначити параметри системи та порядок n диференціального рівняння, який ми вважатимемо обмеженим, тобто $n - 1 \leq M, M \in N$. Передбачається, що у каналі виміру виходу системи діє симетрично розподілена адитивна завада $\xi: M(\xi) = 0, D(\xi) < \infty$, тобто $y_i = x(t_i) + \xi_i$.

Для невідомого порядку системи розв'язується задача структурно-параметричної ідентифікації, водночас ця задача буде частково параметризованою, оскільки максимальний ступінь похідної, що входить до рівняння (1), визначається заздалегідь, обмежуючи нею розмірність пошукового простору. Для системи будь-якого порядку її коефіцієнт, за умов старшого ступеня, дорівнює одиниці, таким чином:

$$x^{(k)} + \frac{a_{k-1}}{a_k} \cdot x^{(k-1)} + \dots + \frac{a_0}{a_k} \cdot x = \frac{b}{a_k} \cdot u(t), \quad (2)$$

або

$$x^{(k)} + \tilde{a}_k \cdot x^{(k-1)} + \dots + \tilde{a}_1 \cdot x = \tilde{b} \cdot u(t). \quad (3)$$

$$I(a) = \sum_{j=1}^{N_0} \frac{\sum_{i=1}^{s_j} |y_i^j - \hat{x}^j(t_i^j)|}{\sup(|a-b|: a, b \in Y^j \cup x_0^j)} \Big| \hat{A} = A, \hat{B} = B \rightarrow \min_{A, B} \quad (7)$$

де N_0 – кількість виходів динамічної системи;

$s_j, j = \bar{1}, \bar{N}_0$ – обсяг вибірки кожного виходу динамічної системи;

$y_i^j, i = \bar{1}, \bar{s}_j, j = \bar{1}, \bar{N}_0$ – вимірювання виходів, що утворюють вибірки;

$t_i^j, i = \bar{1}, \bar{s}_j, j = \bar{1}, \bar{N}_0$ – часи вимірів для кожного j -ого виходу;

$\sup(|a-b|: a, b \in Y^j \cup x_0^j)$ – діаметр множини даних вимірювань для кожного виходу;

$\hat{x}^j(t) | \hat{A} = A, \hat{B} = B$ – j -ий вихід моделі при матрицях A, B .

Екстремум функції (7), є аналогічним критерію

Розв'язання задачі ідентифікації визначається як диференціальне рівняння порядку $m \leq M, M \in N$, за заданих початкових умов:

$$x^{(k)} + \hat{a}_k \cdot x^{(k-1)} + \dots + \hat{a}_1 \cdot x = \hat{b} \cdot u(t), \quad (4)$$

$$\hat{x}(0) = x_0.$$

з параметрами $\hat{a} = (0 \dots 0 \hat{a}_m \dots \hat{a}_1 \hat{a}_0)^T \in R^n$, тобто $n = M + 1$, доставляють екстремум обраної функції,

$$I_1(a) = \sum_{i=1}^{N\Sigma} |y_i - \hat{x}(t_i)| \Big| \hat{a} = a \rightarrow \min_{a \in R^n} \max \quad (5)$$

$$I_2(a) = i |y_i - \hat{x}(t_i)| \Big| \hat{a} = a \rightarrow \min_{a \in R^n}$$

Для динамічної моделі процесу за виразом (2) як рішення однієї із задач на пошук екстремуму: (4) або (5), необхідно володіти інформацією про початкове положення системи так, щоб могла бути вирішена задача Коші.

Вектор початкового положення системи, якщо він є не відомим спочатку, може бути чисельно оцінений, що, звичайно, не завжди можливо і залежить від властивостей вибірки. Іншим варіантом визначення початкового положення системи є включення вектору завдання оптимізації.

Припустимо, що потрібно формалізувати математичну модель динамічного процесу, яку зручно представити у матричному вигляді:

$$\dot{\tilde{x}}' = \hat{A} \cdot \tilde{x}(t) + \hat{B} \cdot u(t), x(0) = x_0, \quad (6)$$

де $\hat{A} = (\hat{a}_{ij})_{i=1, j=1}^{n, n}$ – матриця системи лінійних диференціальних рівнянь;

$\hat{B} = (\hat{b}_{ij})_{i=1, j=1}^{n, m}$ – матриця правих частин, коефіцієнти керування;

$\tilde{x}(t) \in R^n$ – модель стану системи;

$u(t) \in R^m$ – керуючі дії, наведені у вигляді векторної функції.

Зважаючи на те, що спостерігається кілька різних виходів системи, які можуть відрізнитися за амплітудою відгуку, необхідно нормувати кожен окремо взятий критерій. Для цього визначимо діаметр множини вимірювань для кожного спостережуваного виходу за включення до цього безлічі початкового положення виходу. Тоді екстремум функції набуває такого вигляду:

завдання з одним входом і одним виходом (5).

Таким чином, завдання ідентифікації динамічного об'єкта було приведенне до пошуку екстремуму на просторі векторів з дійсними координатами. За таких умов особливість представлення структури об'єкта призводить до складної поведінки цільової функції в околиці деяких точок простору, для яких перші координати вектору наближаються до нуля.

Методика ідентифікації стану різнорідних динамічних об'єктів має у своєму складі такі взаємопов'язані процедури:

1. Введення початкових даних про стан різнорідного динамічного об'єкту.

2. Ініціалізація початкової моделі на основі виразів (1)–(7).

3. Введення корегувальних коефіцієнтів на зашумленість і апіорну невизначеність про стан об'єкту з використанням виразів [2]. Зважаючи на відсутність апіорної інформації про коефіцієнти та порядок диференціального рівняння використання бінарного подання змінних оптимізації стає скрутним і неефективним у сенсі знаходження рішення. Відповідно до прийнятого переходу від вектору, тобто індивіда, до диференціального рівняння, вектор, зважаючи на особливості обраного подання рішення, містить у собі інформацію про порядок, структуру та коефіцієнти диференціального рівняння, що необхідно враховувати для удосконалення роботи алгоритму.

4. Визначення порядку диференціального рівняння. Припустимо, що \hat{a} – вектор, що містить вирішення задачі, тоді, $i_{order} \in N, i_{order} \leq M, i_{order}: \hat{a}_{i_{order}} \neq 0, \hat{a}_i = 0, i) i_{order}$. Якщо $\hat{a}_M \neq 0 \rightarrow i_{order} = M$. Тоді порядок рівняння буде визначатися індексом i_{order} . Враховуючи запропонований підхід до визначення порядку диференціального рівняння, зауважимо на важливості того, щоб алгоритм вирішення задачі мав можливість зберігати деякі координати дорівнює нулю.

5. Округлення координат векторів. Однією зі спеціальних модифікацій алгоритму було введення операції округлення координат векторів:

$$op_j^i = round(op_j^i), j = \bar{1}, \bar{n}, i = \bar{1}, \bar{N}_1 \quad (8)$$

де $round(\cdot): R \rightarrow Z$ – функція, що округлює число до його найближчого цілого.

Такий оператор, що впливає на об'єктивні параметри алгоритму, вирішує завдання приведення координат вектору до цілих чисел. Оскільки для подання структури системи важливо, щоб у деяких випадках певна кількість координат рішення поспіль звертаються в нуль, а стохастичний пошуковий алгоритм обурює змінні через природу операції мутації, потрібен оператор, який зберігав би знайдений порядок. Оператор округлення застосовується безпосередньо після оператора мутації і після округлення відбувається локальне поліпшення отриманої популяції.

6. Мутація особин у популяції. Для підвищення ефективності пошуку рішень щодо стану різномірного динамічного об'єкту був модифікований оператор мутації, таким чином, ймовірність мутації для кожної пари типу об'єктивний – стратегічний параметр, $p_m = \frac{1}{q}$. Тоді, випадкові збурення не призводять до сильного розкиду індивідів наступної популяції навколо деякого знайденого рішення, який не усувається за подальшого локального поліпшення альтернативи після округлення.

7. Генерація початкової популяції. Оскільки випадкове розігрування коефіцієнтів для стартової популяції не призведе до появи в популяції різних рішень, що відповідали б рівнянням різного порядку. Враховуючи подібне подання рішень, генеруватимемо популяцію таким чином:

1. До кожного індивіда з ймовірністю $\frac{1}{M}$

обирається порядок диференціального рівняння.

2. Для обраного порядку i_{order} кожна ненульова координата розв'язується рівномірно на інтервалі $[-5, 5]$.

3. Усі стратегічні параметри індивіда розігруються рівномірно в інтервалі $[0, 1]$.

Запропонована схема була обрана як найкраща шляхом перебору різних варіантів початкового генерування рішень. Необхідно враховувати деякі особливості локального покращення альтернатив запропонованим алгоритмом випадкового покоординатного спуску. Оператор округлення (8) кожної координати призводить до того, що втрачається точність рішення через відсічення мантиси. Для того щоб компенсувати втрати точності й підвищити ефективність алгоритму в цілому, необхідно, щоб покоординатний спуск здійснював таку кількість кроків, що за обраної довжини кроку, округлений коефіцієнт міг бути уточнений так, що поверталось значення, яке передувало цілому.

Для оцінювання ефективності розробленої методики ідентифікації стану різномірних динамічних об'єктів було випадково згенеровано 100 систем: по 10 систем за кожний порядок диференціального рівняння, з першого по десятий. Параметри кожної системи розігрувалися так: $\hat{a}_k^i \sim U(-5,5), \hat{b}_k \sim U(-5,5), i = \bar{1}, \bar{10}, k = \bar{1}, \bar{1}$ Час функціонування системи було обрано рівним 5.

Функція управління всіх завдань, що були проаналізовані, була обрана одиничною функцією, тобто $u(t) = 1$. Вибіркові дані відбираються з чисельного рішення диференціального рівняння. Припустимо, що $\{x_i, t_i\}, i = \bar{1}, \bar{T}/\bar{h}_{ode}$ – чисельне рішення системи. Тоді для заданого обсягу вибірки $s(T/h_{ode}, s = 100$ виберемо s різних точок випадково з чисельного рішення диференціального рівняння.

Для того щоб оцінити ефективність параметрів оптимізаційного алгоритму була розглянута ідентифікація без збурень у каналах вимірювань, щоб цей фактор не вносив додаткової складності до завдання і можна було оцінити знайдені рішення. З цієї причини обсяг вибірки було обрано досить великим, щоб з'явилася можливість оцінити її репрезентативність, тобто, щоб вибірковими даними були всі особливості перехідного процесу. Для кожної окремої системи здійснювалося по 20 запусків алгоритму із певними налаштуваннями. Усі початкові умови даних завдань були прийняті рівними нулю. Обсяг популяції було обрано рівним 50, число популяцій – 50, параметри локального спуску $N_1 = 50, N_2 = 50$ та $N_3 = 1$ за умови, що $h_1 = 0.05$.

Визначення ефективності запропонованої методики свідчить, що середня придатність зростає з наближенням порядку реального об'єкта до встановленого параметра-обмеження максимального порядку динамічної моделі. Отже, алгоритми мають працювати так, щоб зберігати можливість знижувати порядок системи, зберігаючи рівність перших координат нуль. Тому модифікація мутації або підключення оператора округлення призводять до істотного поліпшення.

Водночас важливо відзначити, що зростання придатності пов'язане з тим, що, за час спостережень, система вищого порядку поводить так, що простіше побудувати її модель, ніж за аналогічних умов – модель нижчого порядку. Перехідні процеси різних систем можуть збігатися в певному інтервалі, тому лише збільшення інтервалу спостереження за виходом системи і збільшення частоти зняття вимірювань здатні підвищити ефективність знаходження рішення. З іншого боку, причиною цього може бути наявність великої кількості локальних оптимумів і досить сильна зона тяжіння.

Запропонована методика на відміну від існуючих [3–8]:

враховує ступінь невизначеності інформації про стан різномірного динамічного об'єкту та зашумленості вихідних даних про його стан;

підвищує оперативність прийняття рішень під час оцінювання стану різномірних об'єктів за рахунок пошуку рішення з використанням особин популяції;

вирішує проблему потрапляння до глобального екстремуму.

До переваг зазначеного дослідження слід віднести:

під час розрахунків враховується ступінь невизначеності про стан різномірного динамічного об'єкту;

врахування ступеня зашумленості даних у результаті викривлення інформації про стан різномірного динамічного об'єкту;

зменшення обчислювальних витрат за оцінювання стану різномірних динамічних об'єктів; можливість проведення розрахунків із

вихідними даними, що є різні за природою та одиницями вимірювання.

До недоліків зазначеного дослідження слід віднести наявність відповідних обчислювальних потужностей та часу для проведення розрахунків.

Зазначену модель доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних технічних систем і прийнятті управлінських рішень.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті наведено модель ідентифікації стану різномірних динамічних об'єктів. Новизна запропонованої методики полягає у:

врахуванні, при розрахунках корегувального коефіцієнту ступеню невизначеності про стан різномірного динамічного об'єкту;

додаванні корегувального коефіцієнту на зашумленість даних у результаті викривлення інформації про стан різномірного динамічного об'єкту;

зменшенні обчислювальних витрат під час оцінювання стану різномірних динамічних об'єктів;

можливості проведення обчислень за вихідними даними, що є різними за природою та одиницями вимірювання.

Модель пропонується реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні аналізу стану складних технічних систем і прийнятті управлінських рішень.

Перспективним напрямом подальших досліджень слід вважати удосконалення зазначеної моделі.

Література

1. Шишацький А. В., Башкиров О. М., Костина О. М. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. *Озброєння та військова техніка*. 2015. № 1(5). С. 35–40.
2. Dudnyk V., Sinenko Yu., Matsyk M., Demchenko Ye., Zhyvotovskiy R., Repilo Iu., Zabolotnyi O., Simonenko A., Pozdniakov P., Shyshatskiy A. Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3. № 2(105). P. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
3. Sova O., Shyshatskiy A., Salnikova O., Zhuk O., Trotsko O., Hrokholskiy Y. Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2021. № 4. P. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.
4. Pietsov H., Turinsky O., Zhyvotovskiy R., Sova O., Zvieriev O., Lanetskii B., Shyshatskiy A. Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2020. № 4. P. 78–89. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.
5. Zuiiev P., Zhyvotovskiy R., Zvieriev O., Hatsenko S., Kuprii V., Nakonechnyi O., Adamenko M., Shyshatskiy A., Neroznak Y., Velychko V. Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4. № 9(106). P. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.
6. Shyshatskiy A., Zvieriev O., Salnikova O., Demchenko Ye., Trotsko O., Neroznak Ye. Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol. 9. № 4. P. 5583–5590. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.
7. Yeromina N., Kurban V., Mykus S., Peredrii O., Voloshchenko O., Kosenko V., Kuzavkov V., Babeliuk O., Derevianko M., Kovalov H. The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2021. Vol. 11. Iss. 05. P. 37–41. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05.
8. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: «УНИВЕРСУМ», 1999. 320 с.
9. Ramaji I. J., Memari A. M. Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 90. P. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.
10. Pérez-González C. J., Colebrook M., Roda-García J. L., Rosa-Remedios C. B. Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*. 2019. Vol. 120. P. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.

DEVELOPMENT OF THE IDENTIFICATION MODEL
STATE OF VARIOUS DYNAMIC OBJECTSMykolay Moroz¹Olexandr Yakovchuk²Serhii Hatsenko (Candidate of technical sciences)³¹Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine²Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Geroev Krut, Kyiv, Ukraine³National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

Artificial intelligence technologies are actively used to solve general and highly specialized tasks. In the process of assessing (identifying) the condition of complex and heterogeneous objects, there is a high degree of a priori uncertainty regarding their condition and a small amount of initial data describing them. The trends of armed conflicts of the last decades, as well as the patterns of development of information systems, convincingly indicate the need to change approaches to the collection of information from various sources and their analysis. There is a constant transformation of information presentation forms and the order of storage and access to various types of data. The problem of integrating disparate sources of information collection into a single information space is also not fully resolved. That is why the issue of improving the efficiency of assessing the state of complex and heterogeneous dynamic objects is an important and urgent issue. The object of research is heterogeneous dynamic objects, and the subject is identification of the state of heterogeneous dynamic objects. The article develops a model for identifying the state of heterogeneous dynamic objects. The novelty of the proposed method consists in: taking into account the degree of uncertainty about the state of a heterogeneous dynamic object; taking into account the degree of data noise as a result of distortion of data characterizing the state of a heterogeneous dynamic object; reduction of computing costs for assessing the state of heterogeneous dynamic objects; the possibility of performing calculations with raw data that are different in nature and units of measurement. It is advisable to implement the mentioned technique in specialized software, which is used to analyze the state of complex technical systems and make decisions.

Keywords: heterogeneous dynamic objects; complex technical systems; comprehensive analysis; processing of various types of data.

References

1. Shyshatskyi, A. V., Bashkyrov, O. M. and Kostyna, O. M. (2015). Development of integrated communication and data transmission systems for the needs of the Armed Forces. *Ozbroyennya ta viys'kova tekhnika*, 1(5).
2. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskiy, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P. & Shyshatskyi, A. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 2 (105), 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.
4. Pietsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskiy, B., and Shyshatskyi, 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*, 4, 78–89. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O., Adamenko, M., Shyshatskyi, A., Neroznak, Y. and Velychko, V. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4, 9(106), 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.
6. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O. and Neroznak, Ye. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9, 4, 5583–5590. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V., Kuzavkov, V., Babeliuk, O., Derevianko, M. and Kovalov, H. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11, 05, 37–41. DOI: https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05.
8. Rotshteyn, A. P. (1999). Intelligent identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks. Vinnitsa: «UNIVERSUM», 320.
9. Ramaji, I. J. and Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.
10. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L. and Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*. 120. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.