

DOI 10.20535/2411-1031.2025.13.2.344714

УДК 621.396

ВЛАДИСЛАВ ГОЛЬ,
СЕРГІЙ САЛЬНИК,
СЕРГІЙ ІВАНЧЕНКО

МЕТОДИКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В статті запропоновано методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку. В ході роботи було розглянуто найбільш поширені архітектури систем управління, типи структур систем управління, рівні управління, проведено огляд останніх досліджень та визначено актуальність розробки зазначеної методики. Також було розглянуто процес підтримки прийняття рішень в системах управління, функціонування систем підтримки прийняття рішень, перелік способів та методів інформаційних технологій які можуть бути використані при функціонуванні системи підтримки прийняття рішень. Так як сучасні підходи підтримки прийняття рішень збільшують математичну складність системи, тому з урахуванням мети та вимог на розробку методики пропонується використанням нейронної мережі. Сутність розробленої методики полягає: в систематизації процесу управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку, використанні початкових даних характерних застосуванню програмованих засобів мобільного радіозв'язку, які мають пов'язаний характер з усіма функціями системи управління, при використанні перевірених математичних апаратів для покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень системою управління з використанням нейронних мереж. Запропонована методика включає в себе етапи, які відповідають послідовності застосування відповідних способів та методів в системі управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку, а саме:

- збирання даних та визначення мети управління;
- побудова підсистеми уявлення знань;
- проведення класифікації та кластеризації станів;
- вибір та застосування нейроалгоритму оцінки станів;
- оцінювання та вибір оптимальних та альтернативних рішень;
- реалізація рішень та їх підтримка.

Запропонована методика інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку завдяки коректній постановці завдання на дослідження та використанню перевіреного математичного апарату, дозволяє проводити самонавчання нейронної мережі, враховувати особливості функціонування програмованих засобів мобільного радіозв'язку, підвищити швидкість та точність прийняття рішень на основі інтелектуалізації підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: мобільний радіозв'язок, програмовані засоби зв'язку, система управління, підтримка прийняття рішень, інтелектуалізація.

Постановка проблеми. Процес організації мобільних радіомереж (МР) є складним завданням, яке вимагає розуміння: принципів побудови мереж; засобів, які складатимуть елементи мереж; характеристик та можливостей обладнання на базі якого відбуватиметься побудова мереж. Будь яке виконання певних управлінських рішень в сучасних умовах використання електронних комунікацій вимагає застосування та використання таких засобів, які будуть здатні безпечно та швидко передавати інформацію між абонентами з відповідною якістю, за умов врахування сучасних технологій. З цією метою можливо застосовувати програмовані засоби мобільного радіозв'язку, які можуть передавати різномірний тип даних, використовуючи різний частотний діапазон, стандарти зв'язку та забезпечуючи: мобільність

Під час створення сучасних засобів радіозв'язку використовується системний принцип їх побудови. Особливість побудови таких засобів складається з взаємодії пов'язаних окремих функціонально незалежних підсистем. Це означає, що кожна окрема підсистема системи управління (безпеки, управління, енергоресурсу, потоків даних, топології, маршрутизації, оцінювання стану функціонування, тощо) виконує власну конкретну функцію. Тому ефективність застосування таких засобів залежить від ефективності управління та взаємодії окремих систем управління засобів зв'язку і елементів радіомережі, в наслідок чого виникає пряма залежність між процесом управління засобом радіозв'язку та використанням радіомережі в цілому і передачею різномірних даних між абонентами мережі зокрема.

В цілому процес управління радіомережами, являє собою сукупність заходів організаційного та технічного спрямування, направлених на забезпечення функціонування самої радіомережі. На сьогодні процес управління радіомережами може зводиться до контролю стану елементів мережі, ліній, засобів зв'язку, тощо. До основних етапів побудови системи управління радіомережею можна віднести: розробку архітектури системи управління, розробку структури системи управління, визначення рівнів управління мережею, визначення елементів управління, визначення методів та способів забезпечення управління. До найбільш поширеної архітектури системи управління належить багаторівнева архітектура, яка заснована на моделі агент-менеджер.

До типів структур системи управління відносять:

- централізоване управління, яке відбувається з єдиного центру управління радіомережею, якому надається інформація щодо управління від підлеглих об'єктів, яке характеризується: зниженням продуктивності у разі побудови великої радіомережі, вразливістю системи управління, необхідністю опрацьовувати багато великих та різномірних даних;

- децентралізоване управління, яке відбувається без формування єдиного центру, на основі розподілу функцій управління між елементами радіомережі або навіть системами засобів радіозв'язку, яке характеризується: складністю розподілу функцій управління, відсутністю можливості мати уяву про функціонування всієї радіомережі, можливістю прийняття суперечливих управлінських рішень.

До найбільш поширених рівнів управління належать рівні управління: безпекою, якістю обслуговування, продуктивністю, топологією, доступом, маршрутизацією, конфігурацією, прийняттям рішень, тощо.

Мета статті полягає в розробці методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку для систематизації процесу управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку та покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень в системах управління з використанням нейронних мереж.

Об'єктом дослідження є процес управління в програмованих засобах МР.

Предметом дослідження є методика інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку.

Аналіз останніх досліджень. В сучасних мобільних радіомережах та програмованих засобах мобільного радіозв'язку не завжди узгоджується вирішення завдань функціонування ефективної системи управління засобів і мереж радіозв'язку з процесом підтримки прийняття управлінських рішень.

Так сучасні дослідження цих напрямків (мобільних радіомереж, програмованих засобів мобільного радіозв'язку, інтелектуальних систем управління, систем підтримки прийняття рішень, математичних апаратів прийняття рішень) зазвичай досліджуються окремо один від одного, використовуються різні математичні апарати для вирішення певних завдань, враховуються різні початкові дані які характерні якомусь певному напрямку досліджень, початкові дані не завжди мають пов'язаний між усіма функціями різних напрямків досліджень характер, наприклад:

- у [1], [2] розкривається сутність методики інтелектуального управління взаємодією елементів системи управління в мобільних радіомережах, інтелектуальної системи управління для інфокомунікаційних мереж;

- у [3], [4] розкривається сутність системи підтримки прийняття рішень, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;

- у [5], [6] розкривається сутність використання нечітких множин в системах управління та прийняття рішень, штучних нейронних мереж як дієвого механізму прийняття ефективних управлінських рішень;

- у [7], [8] розглядаються сучасні військові засоби радіо та супутникового зв'язку, досліджуються структурні особливості розподілених програмованих безпроводових систем.

Саме тому питання розробки методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку для систематизації процесу управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку та покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень в цих системах управління з використанням сучасних підходів є актуальним.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес підтримки прийняття рішень в системах управління являє собою застосування методів, способів, правил, алгоритмів та умов відповідно до яких буде відбуватися отримання, підтримка та реалізація управлінських рішень. Саме застосування зазначених підходів забезпечить функціонування взаємопов'язаних функціональних підсистем та як наслідок ефективну роботу системи підтримки прийняття рішень і відповідно системи управління.

Система підтримки прийняття рішень (СППР), являє собою автоматизовану систему для прийняття управлінських рішень за визначених умов. Тобто СППР обробляє отримані початкові дані, з метою проведення швидкої та точної оцінки всіх умов та обставин для прийняття та ухвалення управлінських рішень.

З метою опрацювання вхідних даних та надання пропозицій для прийняття управлінських рішень СППР може використовувати такі підходи, як: пошук даних, аналіз даних, застосування баз даних, використання прецедентів, імітаційне або когнітивне моделювання, проведення еволюційних обчислень, генетичні алгоритми, нейронні або нечіткі мережі, ситуаційний аналіз, та інші. Деякі із зазначених підходів функціонують як інтелектуальна складова підтримки прийняття рішень. В свою чергу СППР які застосовують інтелектуальну складову підтримки прийняття рішень, називають інтелектуальною СППР.

Розглядаючи існуючі засоби підтримки прийняття рішень варто зазначити, що здебільшого вони використовують багатокритеріальний спосіб оцінки початкових даних, критеріїв, атрибутів, для проведення їх ранжування, визначення пріоритетів або альтернатив для прийняття рішень. До багатокритеріальних способів належать такі методи та способи, як: аналізу ієрархій, рандомізації показників, аналізу переваг, оцінки якості, ранжуванню можливих альтернатив, ранжуванню переваг для отримання оцінок, винятків та вибору, доказових міркувань, тощо.

Сучасні системи підтримки прийняття рішень здебільшого мають обмежені можливості в вирішенні поставлених завдань. Основною складністю СППР в перегляді варіантів рішень та виборі кращого рішення (оптимізації), впорядкуванні рішень відносно можливих переваг (ранжуванні) та безпосередньо прийнятті рішень на основі оцінювання та зіставлення можливих рішень (пошуку альтернатив) є необхідність обліку великої кількості даних, які досить складно опрацьовувати без сучасних технологій та обладнання.

Тому СППР для вирішення цих завдань може застосовувати інформаційні технології та використання таких методів, як: інформаційний пошук; інтелектуальний аналіз даних; вилучення знань у базах даних; міркування на основі прецедентів; імітаційне моделювання; методи штучного інтелекту; генетичні алгоритми; штучні нейронні мережі.

Інформаційний пошук, являє собою пошук неструктурованої інформації шляхом пошуку послідовності операцій, а також збору, опрацювання та надання даних.

Інтелектуальний аналіз даних, являє собою пошук прихованих зв'язків серед великих обсягів даних, шляхом: класифікації, моделювання, кластеризації, аналізу відхилень, прогнозування, тощо.

Вилучення знань у базах даних, являє собою процес виявлення знань у базах даних шляхом підрахунку операцій, закономірностей, правил, прогнозів та зв'язків.

Міркування на основі прецедентів, являє собою прийняття рішень на основі підрахунку випадків, які існують зараз або мали місце раніше, та характеризують певні ситуації.

Імітаційне моделювання, являє собою процес представлення існуючої системи певною моделлю, яка досить повно здатна відобразити існуючу систему.

Штучний інтелект, являє собою спосіб прийняття рішень шляхом інтелектуалізації СППР.

Генетичний алгоритм, являє собою алгоритм пошуку, який застосовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом підбору, комбінування та варіації параметрів на основі підходів які нагадують біологічні процеси.

Штучні нейронні мережі, являють собою математичні моделі, та їх програмну і апаратну реалізацію шляхом використання нейронних мереж (НМ). Нейронні мережі застосовуються для адаптивного управління шляхом вирішення завдань паралелізму, багатопараметричної оптимізації, розпізнавання образів, аналізу, кластеризації, прогнозування, тощо [9].

Виходячи із вказаного, розробляючи методику підтримки прийняття рішень доцільним буде висування вимог до такої методики з урахуванням необхідності застосування її в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку, а саме: інтелектуалізація підтримки прийняття рішень, проведення самонавчання, врахування особливостей функціонування програмованих засобів МР, простота побудови, підвищення швидкості та точності прийняття рішень.

Очевидно, що сучасні підходи підтримки прийняття рішень збільшують математичну складність системи, тому виходячи із зазначеної мети розробки методики, а також з урахуванням визначених вимог буде запропонована структура побудови методики підтримки прийняття рішень з використанням нейронної мережі.

Нова методика інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку.

Початковими даними є:

- $(x_1, \dots, x_n)$ – множина вузлових та мережевих даних;
- дані, які характеризують різномірний трафік, канали передачі даних, параметри елементів мережі радіозв'язку, систему управління та взаємопов'язані підсистеми системи управління на різних рівнях моделі OSI;
- дані, які розкривають сутність вирішення завдання забезпечення підтримки прийняття управлінського рішення, виходячи із мети та цільових функцій управління.

Необхідно: розробити методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління (СУ) з урахуванням характеристичних особливостей застосування програмованих засобів мобільного радіозв'язку (ПЗМР) при задовільненні якості підтримки прийняття управлінських рішень, вимог до розробки та мети розробки методики.

Обмеження та допущення: в ході проведення підрахунків в досліджуваній проміжок часу, множина початкових даних є незмінною; початкові дані з нечіткістю будуть сприйматися як чіткі; функціонування СУ в ПЗМР відбувається в режимі реального часу; під час моделювання системи управління та нейронної мережі будуть застосовані відповідні програмні продукти та бази даних KYOTO і NSL-KDD з бібліотеками даних.

Сутність методики полягає: в систематизації процесу управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку, використанні початкових даних, які мають пов'язаний характер між усіма функціями системи управління та характерних застосуванню ПЗМР, при використанні перевірених математичних апаратів для покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень системою управління з використанням НМ.

І. Збирання даних та визначення мети управління. Процес збирання даних на пряму пов'язане з предметною областю дослідження та відповідно з управлінським рішенням яке має бути ухвалено на підставі опрацювання цих даних. До множини цих даних належить множина внутрішніх та зовнішніх, мережевих та вузлових даних, засобів радіозв'язку відповідно до моделі OSI, дані які стосуються процесу функціонування системи управління (топології, маршрутизації, безпеки, радіоресурсу, енергоживлення, передачі різномірних даних, тощо) зазначених в початкових даних. В цілому функціональна модель підсистеми збирання даних матиме наступні блоки, а саме: зчитування даних, структурування даних, базу

даних, формувач завдань, аналітичний блок. Саме завдяки роботі аналітичного блоку та бази даних виникатиме можливість здійснювати аналіз даних та прогнозування ситуацій. Механізм управління щодо збирання достовірних, актуальних та структурованих даних впливатиме на процес пошуку, впровадження та реалізацію управлінського рішення в дію. Тому виникає питання вивчення та визначення мети управління в інтересах якого будуть відбуватися різні процеси підтримки та прийняття управлінського рішення.

Визначення мети управління залежить від: розуміння завдання яке необхідно вирішити, визначення мети прийняття рішення, критеріїв оцінювання управлінського рішення, способів та методів застосовуваних в прийнятті рішень, формування баз знань та даних щодо досліджуваних питань, способів оцінювання отриманої інформації [10].

II. Побудова підсистеми уявлення знань. Підсистема уявлення знань щодо різного роду ситуацій являтиме собою процес прийняття рішення на основі багатопараметричного уявлення ситуацій. Ця підсистема має враховувати взаємозв'язки між значеннями різних факторів, які описують ситуацію. Модель уявлення знань та її рішення можливо представити як:

$$M = \{ \langle S_i, U_i \rangle, I, C \}, i = 1, \dots, N,$$

де S_i – певна i -та ситуація;

U_i – вирішення певної i -ої ситуації;

I – база правил для виконання управляючих впливів;

C – критерії оцінки ситуацій та рішень.

Під ситуацією розуміється сукупність обставин, які можуть виникати як результат зовнішнього та внутрішнього впливу на систему. Процес подання інформації про ситуації спирається на використання набору атрибутів або показників $(A_1, \dots, A_n)$, якими може бути описана будь-яка ситуація у системі.

Інформація щодо ситуацій в системі подається у вигляді числових рядів із фіксованим розташуванням кожного атрибуту $S_{it} = \langle A_1, \dots, A_n \rangle$. У разі вибору атрибутів, які характеризують ситуацію в системі, є необхідність у визначенні шкали вимірювання показників та одиниць вимірів.

У разі збору інформації про ситуації є сенс у введенні обмежень відносно кількості атрибутів (показників), які характеризують ситуації, так як можливості системи для обрахування ситуацій можуть бути ресурснообмежені. Формалізоване уявлення необмеженої кількості ситуацій та відповідно атрибутів (показників), які відповідають певній предметній області, має вигляд:

$$S = \{ S_i(x_{i1}, \dots, x_{in}) \}, i = 1, \dots, N,$$

де $S_i(x_{i1}, \dots, x_{in})$ – i -та ситуація;

x_{ij} – впізнане значення j -го показника i -ї ситуації ($j = 1, \dots, n$);

N – кількість ситуацій;

n – кількість атрибутів (показників).

III. Проведення класифікації та кластеризації станів. Спосіб класифікації ситуацій може ґрунтуватися на кластерному аналізі, алгоритмі моделювання нових ситуацій та керуючих впливах. Використання ситуаційного підходу потребує застосування багатовимірної класифікації ситуацій, що впливає на формування знань про ситуації. Алгоритми кластеризації можна класифікувати на основі кластерної моделі, яка ґрунтується на тому, як саме формуються кластери або групи. Кластер характеризується центром та радіусом. Під центром кластера розуміється середнє геометричне місце точок у просторі змінних. Радіус кластера визначається, як максимальна відстань точок від центру кластера.

Критерій ефективності може набувати значення, що належить до однієї з різних множин. Безліч значень інтегрального критерію ділиться на інтервали, що не перетинаються. Розроблений алгоритм багатовимірної класифікації, що відноситься до неієрархічних алгоритмів кластерного аналізу є ітераційним процесом розділення вихідної сукупності. У процесі розподілу нові кластери формуються до того часу, доки буде виконано правило

зупинки. Враховуючи велику кількість значень будемо застосовувати метод кластеризації k -середніх.

Алгоритм кластеризації виглядає, як послідовність кроків:

1. Визначення кількості створюваних кластерів.
2. Вибір випадкових об'єктів з переліку даних у якості початкових центрів кластерів.
3. Визначення на основі евклідової відстані найближчого центроїду між об'єктом і центроїдом.
4. Перерахунок центроїдів кластерів шляхом обчислення середнього значення всіх точок даних в кластері.
5. Проведення мінімізації загальної суми в межах площини.

Необхідно проводити повторення кроків 3 і 4, допоки центроїди не зміняться або не буде отримано максимальну кількість ітерацій. Загальна сума в межах кластера визначається:

$$W(C_k) \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2$$

де x_i – точка даних що належить до кластера;

C_k – середнє значення;

μ_k – точки, що присвоєні кластеру C .

Правило зупинки. Процес формування нових кластерів та перерозподілу ситуацій триває до одночасного виконання наступних умов:

- відсутність перетинів кластерів, що містять ситуації, які належать до різних класів;
- відсутність значних відстаней між ситуаціями, що належать до одного кластера (приймаємо значення радіусу кластера).

В результаті роботи алгоритму формуються кластери, які мають у своєму складі ситуації, що належать лише до певного класу. Для отримання нових ситуацій з метою поповнення ситуаційної бази знань, застосовується лінійне перетворення, яке передбачає виконання умови збереження кореляційних співвідношень отриманих ситуацій.

Доповнення та уточнення набору ситуацій, а також їх вирішення відбувається протягом усього процесу застосування підходу, починаючи від збору та аналізу даних та закінчуючи етапом практичного застосування [11].

IV. Вибір та застосування нейроалгоритму оцінки станів. Вибір типу, топології та параметрів нейронної мережі.

На основі проведеного аналізу можливостей використання існуючих нейронних мереж, таких як: одношарові, багатошарові, ієрархічні, зустрічного поширення, згорткові, рекурентні, глибокого навчання, НМ Хопфілда, НМ Кохонена, різні види перцептронів та інші, приходимо до висновку, що при побудові нейронної мережі, як складової частини системи підтримки прийняття рішень в СУ доцільним буде використання багатошарового перцептрону з зворотними зв'язками за умов його відповідної модифікації.

Цей тип нейронної мережі характеризується можливістю: побудови НМ з великою кількістю шарів, нейронів в шарах та міжнейронних зв'язків; проведення самонавчання; застосуванням нелінійної функції активації; проведенням навчання шарів нейронних елементів мережі; широким вибором архітектур міжнейронних зв'язків; легким підрахунком помилки обчислення НМ, тощо.

1. Збір параметрів даних для проведення навчання нейронної мережі.
2. Формування баз даних.
3. Побудова структури нейронної мережі та визначення зв'язків між нейронами нейронної мережі.
4. Проведення навчання нейронної мережі.
5. Приведення нечітких параметрів даних до чіткого значення.
6. Проведення перевірки нейронної мережі на адекватність використання.
7. Проведення корекції бази даних, параметрів даних, структури та зв'язків нейронної мережі.
8. Оцінювання стану функціонування нейронної мережі [12].

V. Оцінювання та вибір оптимальних та альтернативних рішень. Оптимальне та альтернативне рішення мають сформуватися на основі детального визначення, опису альтернатив та оптимальних рішень, а також визначення того, що саме необхідно отримати в процесі їх дослідження й аналізу. Вибір оптимальної альтернативи, являє собою також прийняття певного рішення відносно вибору напрямку подальших дій. Множина можливих певних рішень визначається множиною обставин, які впливають на досліджуваний об'єкт. Інколи вибір альтернатив та оптимальних рішень може здійснюватися на основі достатньо малого обсягу інформації, ніж це має бути. Також може відбуватися вибір оптимальних рішень із деякої сукупності альтернатив, які є складними в оцінці, або навіть взагалі не оціненими належним чином [13].

Пошук альтернативних рішень вимагає пошуку кількох різних рішень, для вирішення певного завдання. Проведення оцінки обґрунтування, являє собою розгляд всіх попередньо визначених варіантів рішень та проведення аналізу (переваг та недоліків кожного з варіантів) того як саме вони можуть вплинути на вирішення завдання. Для проведення оцінки можливо застосовувати такі методи як: формування переліку плюсів та мінусів, SWOT-аналіз, використання матриці рішень, та інші.

Проведення вибору оптимального або альтернативного рішення, являє собою вивчення всієї зібраної інформації, всіх варіантів рішень та того які наслідки може спровокувати кожен з варіантів рішення [10].

VI. Реалізація рішень та їх підтримка. Даний крок включатиме в себе перевірку рішень, підтримку виконання рішень, відстеження ходу виконання рішень для розуміння чи вірно було прийняте рішення, оцінювання процесу виконання та корегування системи [13].

Реалізується цей крок шляхом оцінювання показників успіху рішення, перевірці відповідності критеріям успіху, оцінювання рівня вирішення завдання в ході реалізації рішення, моніторингу можливих наслідків реалізації рішення. У разі з'ясування що прийняте рішення не є ефективним, доцільним буде проведення адаптації системи та проведення підтримки прийняття більш ефективного рішення із можливих альтернативних чи оптимальних [10].

При формуванні управляючих впливів, відбувається віднесення ситуації до певного класу ситуацій. За координатами найближчого кластера, та варіантів вирішення ситуації кращої якості, вводиться рішення на ситуацію. Далі формується значення управляючого вектора впливу. При цьому можливе формування кількох управляючих впливів, утворюючи безліч альтернатив вирішення початкової ситуації, для вибору та підтримки найкращого альтернативного рішення. Також може існувати і комбінування декількох рішень.

Висновки. В статті запропоновано нову методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку. Методика включає в себе етапи, які відповідають послідовності застосування відповідних способів та методів системи управління ПЗМР, а саме: збирання даних та визначення мети управління, побудова підсистеми уявлення знань, проведення класифікації та кластеризації станів, вибір та застосування нейроалгоритму оцінки станів, оцінювання та вибір оптимальних та альтернативних рішень, реалізація рішень та їх підтримка.

На відміну від подібних методик запропонована методика завдяки коректній постановці завдання на дослідження, використанню перевіреного математичного апарату, ієрархії та деталізації процесу управління, модифікуванню існуючих підходів, систематизації процесу управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку, використанні початкових даних які мають пов'язаний характер між функціями системи управління та характерних застосуванню ПЗМР, при використанні перевірених математичних апаратів для покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень системою управління з використанням НМ здатна проводити самонавчання, враховувати особливості функціонування програмованих засобів МР, підвищити швидкість та точність прийняття рішень на основі інтелектуалізації підтримки прийняття рішень.

В цілому, з огляду на запропоновану нову методику, можна зазначити що, мета статті, яка полягала в розробці методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень в системах управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку для систематизації процесу

управління програмованих засобів мобільного радіозв'язку та покращення показників ефективності підтримки прийняття рішень в цих системах управління з використанням нейронних мереж, повністю досягнута. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделей та методів підтримки прийняття управлінських рішень в програмованих засобах МР.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] С. Сальник, “Методика інтелектуального управління взаємодією елементів системи управління в мобільних радіомережах”, *Information Technology and Security*, вип. 10, № 2, с. 241-249, 2022. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2022.10.2.270584>.
- [2] Л.Н. Беркман, О.В. Барабаш, О.М. Ткаченко, А.П. Мусієнко, О.А. Лаптев, та О.В. Свинчук, “Інтелектуальна система управління для інфокомунікаційних мереж”, *Системи управління, навігації та зв'язку*, т. 3, № 69, с. 54-59, 2022. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.3.054>.
- [3] М.А. Демиденко, *Системи підтримки прийняття рішень: навч. пос.* Дніпропетровськ, Україна: Нац. гірн. ун-т, 2016.
- [4] О.В. Нестеренко, О.І. Савенков, та О.О. Фаловський, *Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. пос.* Київ, Україна: Київс. Нац. акад. упр-я, 2016.
- [5] Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, та С.А. Ус, *Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень*. Дніпро, Україна: НТУ “Дніпровська політехніка”, 2020.
- [6] А.О. Чередніченко, та Н.О. Шура, “Застосування штучних нейронних мереж як дієвого механізму прийняття ефективних управлінських рішень на підприємстві”, *Глобальні та національні проблеми економіки*, вип. 4, с. 628-630, 2015. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://global-national.in.ua/archive/4-2015/132.pdf>. Дата звернення: Трав. 19, 2025.
- [7] І.В. Борисов, Т.Г. Гурський, В.І. Ніщенко, П.В. Хоменко, та Ю.В. Цімура, *Сучасні військові засоби радіо та супутникового зв'язку: збір. навч.-мет. мат.* Київ, Україна: ВІТІ, 2017. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/07/сучасні.pdf>. Дата звернення: Трав. 13, 2025.
- [8] С.В. Зайцев, та В.В. Приступа, “Дослідження структурних особливостей розподілених програмованих безпроводних систем”, *Проблеми інформатизації та управління*, вип. 2(42), с. 34-44, 2013. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PIU/article/view/6469/7203>. Дата звернення: Трав. 14, 2025.
- [9] J.G. Fernando, and M. Baldeovar, “Decision Support System: Overview, Different Types and Elements”, *Technoarete Transactions on Intelligent Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 2 (2), pp. 13-18, 2022. doi: <https://doi.org/10.36647/TTIDMKD/02.02.A003>.
- [10] H. Taherdoost, and M. Madanchian, “Decision Making: Models, Processes, Techniques”, *Cloud Computing and Data Science*, vol. 5, iss. 1, 14 p. 2023. doi: <https://doi.org/10.37256/ccds.5120233284>.
- [11] О.О. Марченко, та Т.В. Россада, *Актуальні проблеми Data Mining: навч. пос.* Київ, Україна: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. [Електронний ресурс]. Доступно: http://csc.knu.ua/media/filer_public/38/03/3803002b-e068-4a08-8a6c-a4edc183892a/datamining20170917.pdf. Дата звернення: Трав. 14, 2025.
- [12] С.В. Сальник, та О.С. Салій, “Методика класифікації критичних параметрів даних в системах управління безпілотними літальними апаратами з використанням нейронних мереж”, *Зб. наук. пр. Харк. нац. ун-у ІС*, вип. 2 (80), с. 83-92, 2024. doi: <https://doi.org/10.30748/zhups.2024.80.11>.
- [13] H.A. Darbi, and E.M. Saleh, “Decision Support System: Analysis and Design Methodology”, in *Proc 2nd Int. Maghreb Meet. of the Conf. on Sci. and Tech. of Aut. Contr. and Comp. Eng. (MI-STA)*, Sabratha, Libya, 2022, pp. 260-266. doi: <https://doi.org/10.1109/MI-STA54861.2022.9837769>.

Стаття надійшла до редакції 02.06.2025

REFERENCE

- [1] S. Salnyk, "Methodology of intelligent control of the interaction of control system elements in mobile radio networks", *Information Technology and Security*, vol. 10, iss. 2, pp. 241-249, 2022. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2022.10.2.270584>.
- [2] L.N. Berkman, O.V. Barabash, O.M. Tkachenko, A.P. Musienko, O.A. Laptev, and O.V. Svinchuk, "Intelligent control system for infocommunication networks", *Control, navigation and communication systems*, vol. 3, iss. 69, pp. 54-59, 2022. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.3.054>.
- [3] M.A. Demydenko, *Decision Support Systems: tutorial*. Dnipropetrovsk, Ukraine: National Mining University, 2016.
- [4] O.V. Nesterenko, O.I. Savenkov, and O.O. Falovsky, *Intelligent decision support systems: tutorial*. Kyiv, Ukraine: Kyiv Nat. Acad. of Management, 2016.
- [5] T.A. Zheldak, L.S. Koryashkina, and S.A. Us, *Fuzzy sets in control and decision-making systems*. Dnipro, Ukraine: NTU "Dnipro Polytechnic", 2020.
- [6] A.O. Cherednichenko, and N.O. Shura, "Application of artificial neural networks as an effective mechanism for making effective management decisions at the enterprise", *Global and National Problems of Economics*, vol.4, pp. 628-630, 2015 [Online]. Available: <http://global-national.in.ua/archive/4-2015/132.pdf>. Accessed on: May 19, 2025.
- [7] I.V. Borisov, T.G. Gursky, V.I. Nishchenko, P.V. Khomenko, and Y.V. Tsimura, *Modern military means of radio and satellite communication: collection of educational and methodological materials*. Kyiv, Ukraine: MITI, 2017. [Online]. Available: <https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/07/сучасні.pdf>. Accessed on: May 13, 2025.
- [8] S.V. Zaitsev, and V.V. Prystyupa, "Study of structural features of distributed programmable wireless systems", *Problems of informatization and management*, vol. 2 (42), pp. 34-44, 2013. [Online]. Available: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PIU/article/view/6469/7203>. Accessed on: May 14, 2025.
- [9] J.G. Fernando, and M. Baldelovar, "Decision Support System: Overview, Different Types and Elements", *Technoarete Transactions on Intelligent Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 2 (2), pp. 13-18, 2022. doi: <https://doi.org/10.36647/TTIDMKD/02.02.A003>.
- [10] H. Taherdoost, and M. Madanchian, "Decision Making: Models, Processes, Techniques", *Cloud Computing and Data Science*, vol. 5, iss. 1, 14 p. 2023. doi: <https://doi.org/10.37256/ccds.5120233284>.
- [11] O.O. Marchenko, and T.V. Rossada, *Current Problems of Data Mining: tutorial*. Kyiv, Ukraine: Taras Shevchenko Nat. Un. of Kyiv, 2017. [Online]. Available: http://csc.knu.ua/media/filer_public/38/03/3803002b-e068-4a08-8a6c-a4edc183892a/datamining20170917.pdf. Accessed on: May 14, 2025.
- [12] S.V. Salnyk, and O.S. Salii, "Methodology of classification of critical data parameters in control systems of unmanned aerial vehicles using neural networks", *Collection of scientific works of Kharkiv Nat. Un. of Air Force*, vol. 2 (80), pp. 83-92, 2024. doi: <https://doi.org/10.30748/zhups.2024.80.11>.
- [13] H.A. Darbi, and E.M. Saleh, "Decision Support System: Analysis and Design Methodology", in *Proc 2nd Int. Maghreb Meet. of the Conf. on Sci. and Tech. of Aut. Contr. and Comp. Eng. (MI-STA)*, Sabratha, Libya, 2022, pp. 260-266. doi: <https://doi.org/10.1109/MI-STA54861.2022.9837769>.

VLADYSLAV HOL,
SERHII SALNYK,
SERHIY IVANCHENKO

METHODS OF INTELLECTUAL SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN CONTROL SYSTEMS OF PROGRAMMED MOBILE RADIO COMMUNICATION TOOLS

The article proposes a method of intelligent decision-making support in control systems of programmable mobile radio communication. In the course of the work, the most common

architectures of the management system, types of management system structures, levels of management were considered, an overview of the latest research was conducted, and the relevance of the development of the specified methodology was determined. The process of supporting decision-making in management systems, the process of functioning of the decision-making support system, the list of ways and methods of information technologies that can be used in the functioning of the decision-making support system were also considered. Since modern decision support approaches increase the mathematical complexity of the system, taking into account the goal and requirements for developing the methodology, it is proposed to use a neural network. The essence of the developed methodology is: in the systematization of the process of managing programmable mobile radio communications, the use of initial data that has a connected nature between all the functions of the control system and the characteristic application of programmable mobile radio communications, when using proven mathematical tools to improve indicators of the effectiveness of support decision-making by the control system using neural networks. The proposed technique includes stages that correspond to the sequence of application of appropriate methods and methods in the control system of programmable mobile radio communication devices, namely:

data collection and determination of the control goal;

- construction of a knowledge representation subsystem;
- classification and clustering of states;
- selection and application of a neuroalgorithm assessment of conditions;
- assessment and selection of optimal and alternative solutions;
- implementation of solutions and their support.

The proposed method, thanks to the correct formulation of the research task and the use of a proven mathematical apparatus, allows self-learning of the neural network, taking into account the peculiarities of the functioning of programmed mobile radio communication devices, increasing the speed and accuracy of decision-making based on the intellectualization of decision-making support.

Keywords: mobile radio communication, programmable means of communication, management system, decision support, intellectualization.

Голь Владислав Дмитрович, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки державних інформаційних ресурсів, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна. ORCID 0000-0002-9995-9590, vladgol@ukr.net.

Сальник Сергій Васильович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідного центру, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна. ORCID 0000-0003-4463-5705, s.sergey@i.ua.

Іванченко Сергій Олександрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри безпеки державних інформаційних ресурсів, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна, ORCID 0000-0003-1850-9596, soivanch@gmail.com.

Hol Vladyslav, candidate of technical sciences, professor, head of department of security of state information resources, Institute of special communications and information protection at the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.

Salnyk Serhii, candidate of technical sciences, senior research fellow scientific research center, Institute of special communication and information protection at the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.

Ivanchenko Sergii, doctor of technical sciences, professor, professor of the department of security of state information resources, Institute of special communication and information protection at the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.