

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ

**СУЧАСНА  
СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ  
№ 4(55), 2018

ВИДАЄТЬСЯ ЩОКВАРТАЛЬНО

**ЗАСНОВНИК**

Державний науково-дослідний інститут МВС України; Національний авіаційний університет; Національна академія внутрішніх справ

**НАКАЗОМ**

МОН України від 16.05.2016 № 515 науково-практичний журнал “Сучасна спеціальна техніка” включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук

**ЗАРЕЄСТРОВАНО**

Міністерством юстиції України 13 лютого 2015 року  
Свідоцтво – серія КВ № 21221-11021Р

**НАУКОВА РАДА:**

**ДОДОНОВ О.Г.**, д.т.н., проф. (Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України) – голова;  
**ПРОЦЕНКО Т.О.**, д.ю.н., проф. (ДНДІ) – заступник голови; **БОГДАНОВ О.М.**, д.т.н., проф. (Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України); **ДУДИКЕВИЧ В.Б.**, д.т.н., проф. (НУ “Львівська політехніка”); **ЗАДРАКА В.К.**, д. ф.-м. н., проф. (Ін-т кібернетики НАН України)

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

Головний редактор

**РИБАЛЬСЬКИЙ О.В.**, д.т.н., проф. (ДНДІ)

Заступник головного редактора

**ХОРОШКО В.О.**, д.т.н., проф. (ДНДІ)

Відповідальний секретар

**МАРЧЕНКО О.С.**, к.т.н. (ДНДІ)

**ЄРОХІН В.Ф.**, д.т.н., проф. (НТУ України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”); **ЖЕЛЕЗНЯК В.К.**, д.т.н., проф. (Полоцький держ. ун-т, Білорусь); **КАРПІНСЬКИЙ М.П.**, д.т.н., проф. (Тернопільський НТУ ім. Івана Пулюя); **КРИВОЛАПЧУК В.О.**, д.ю.н., проф. (ДНДІ); **КОБОЗЕВА А.А.**, д.т.н., проф. (Одеський НПУ); **КОНАХОВИЧ Г.Ф.**, д.т.н., проф. (НАУ); **КОРЧЕНКО О.Г.**, д.т.н., проф. (НАУ); **ЛЕНКОВ С.В.**, д.т.н., проф. (КНУ ім. Т. Шевченка); **МАКСИМОВИЧ В.М.**, д.т.н., проф. (НУ “Львівська політехніка”); **МОСОВ С.П.**, д.в.н., проф. (Укрпатент); **МОХОР В.В.**, д.т.н., проф. (Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України); **ОРЛОВ Ю.Ю.**, д.ю.н., с.н.с. (НАВС); **ЮДІН О.К.**, д.т.н., проф. (НАУ); **БУДЗИНСЬКИЙ М.П.**, к.ю.н. (ДНДІ); **ЛОПАТІН С.І.**, к.ю.н., с.н.с. (ДНДІ); **ПИСАРЕНКО В.Г.**, к.т.н. (КНВО “Форт”); **САДЧЕНКО О.О.**, к.ю.н., доцент (НАВС); **СМЕРНИЦЬКИЙ Д.В.**, к.ю.н. (ДНДІ); **ЦИГАНОВ О.Г.**, к.т.н., доцент (ДНДІ); **КУЧИНСЬКИЙ Ю.Д.**, к.ю.н. (ДНДІ); **САМУСЬ Є.В.** (ДНДІ)

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ДНДІ МВС України  
(протокол від 05.12.2018 № 6)

Науково-практичний журнал посів III місце в конкурсі на краще наукове періодичне видання в системі МВС України у 2017 році

*За точність викладеного матеріалу відповідальність несуть автори статей та їх рецензенти*

*При передруку матеріалів посилання на науково-практичний журнал  
“Сучасна спеціальна техніка” є обов’язковим*

© Державний науково-дослідний інститут МВС України, 2018

Київ 2018

## ЗМІСТ

## СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<b>Березненко Н.М., Неня О.В., Кучинський Ю.Д.</b> Полімери, що біологічно розкладаються, як замітники матеріалів синтетичного походження	8
<b>Бобок І.І.</b> Розробка методу відокремлення цифрового зображення, збереженого у форматі без втрат, від зображення, збереженого із втратами	13
<b>Головенський В.В., Неділько С.М., Ленков Є.С.</b> Оцінка ефективності світлосигнальної системи аеродрому в інфрачервоному діапазоні електромагнітних хвиль	21
<b>Дудикевич В.Б., Кеньо Г.В., Стосик Т.Р.</b> Аналіз сучасного стану безпеки інтернету речей	31
<b>Козловська С.Г.</b> Синтезу груп двохоперандних операцій криптоперетворення на основі перестановочних схем	37
<b>Кунах Н.І., Ткаленко О.М., Харлай Л.О.</b> Оцінка ефективності штучних нейронних мереж	44
<b>Нужний С.М., Заноскіна П.В.</b> Загальні підходи до формування артикуляційних таблиць української мови для оцінки стану захисту складнозашумленої мовної інформації	50
<b>Рудницький В.М., Лада Н.В., Федотова-Півень І.М., Пустовіт М.О.</b> Синтез обернених двоохрозрядних двохоперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування	59
<b>Семко О.В., Складанний П.М., Семко В.В., Бурячок В.Л.</b> Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології	64
<b>Сисоєнко С.В., Миронець І.В., Бабенко В.Г.</b> Побудова узагальненої математичної моделі групового матричного криптографічного перетворення	77
<b>Хома Ю.В.</b> Дослідження придатності електрокардіограм для біометричної ідентифікації	82
<b>Elena Niemkova, Zenovij Shandra, Stepan Voytusik.</b> The Method of Authentication of Laptops by Internal Electrical Fluctuations	90

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

<b>Білогуров В.А., Заїчко К.В., Назарок Д.С.</b> Розвиток систем контролю доступу до транспортних засобів	97
<b>Чердиченко А.В.</b> Використання електронних довірчих послуг у системі МВС України	105

## КРИМІНАЛІСТИЧНА ТЕХНІКА ТА МЕТОДИКА

<b>Филь Р.С.</b> Оцінка небезпечних відстаней осколкового ураження боєприпасами та саморобними вибуховими пристроями	113
--	-----

## ЗБРОЯ, СПЕЦАВТОТРАНСПОРТ, ОБМУНДИРУВАННЯ

<b>Ващук Н.Ф., Диких В.О.</b> Розвиток інноваційних технологій у сучасному виробництві спеціального взуття	119
<b>Власов В.А., Гутянтов С.В., Біляєва О.Д., Криворучко О.В.</b> Дослідження патронів травматичної дії, які виробляються в Україні	127
<b>Гуляєв А.В., Диких О.В., Кисіль М.В., Гусак О.В.</b> Методика вибору раціонального режиму механізованого зварювання броньових конструкцій	134

**Дячок Т.М., Березненко С.М., Бакал В.П., Александров М.Є.** Дослідження матеріалів для захисту людини від шкідливих чинників навколишнього середовища 140

**Коваль М.В.** Визначення поняття “холодна зброя” в національних стандартах України 148

**Мамотенко П.І.** Методики випробувань та особливості застосування в поліцейських підрозділах снайперських гвинтівок 154

#### СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

**Бакал М.А., Власов В.А.** Розвиток конструкції кайданок 160

**Харина Ю.А.** Відеоспостереження в публічних місцях та право громадян на приватність: досвід Сполучених Штатів Америки 167

УДК 681.5(042.3)

**О.В. Семко,**старший викладач Київського університету імені Бориса Грінченка,  
м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0001-6473-1329,

**П.М. Складанний,**старший викладач Київського університету імені Бориса Грінченка,  
м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0002-7775-6039,

**В.В. Семко,**доктор технічних наук, доцент,  
професор Київського університету імені Бориса Грінченка,  
м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0001-5157-4264,

**В.Л. Бурячок,**доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри Київського університету імені Бориса Грінченка,  
м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0002-4055-1494

## МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ

*Ускладнення топологічних структур бездротових сенсорних мереж за рахунок їх варіативності визначає необхідність створення нових методів управління маршрутизацією передачі даних. Визначені проблеми синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних у конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології за умов обмежень і невизначеностей. Розглянуто підхід до створення розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією в самоорганізованих сенсорних мережах на основі використання багаторівневої теоретико-множинної і математичної моделей, що визначають сутність системи інтелектуального управління об'єктом.*

**Ключові слова:** конфлікт, об'єкт управління, маршрутизація, потоки даних, сенсорна мережа, варіативна топологія, система інтелектуального управління, математична модель, інтелектуальний перетворювач.

*Усложнения топологических структур беспроводных сенсорных сетей за счет их вариативности определяет необходимость создания новых методов управления маршрутизацией передачи данных. Определены проблемы синтеза и выбора решений по управлению маршрутизацией потоков данных в конфликтующих сенсорных сетях вариативной топологии в условиях ограничений и неопределенностей. Рассмотрен подход к созданию распределенной системы интеллектуального управления маршрутизацией в самоорганизующихся сенсорных сетях на основе использования многоуровневой теоретико-множественной и математической моделей, определяющих сущность системы интеллектуального управления объектом.*

**Ключевые слова:** *конфликт, объект управления, маршрутизация, потоки данных, сенсорная сеть, вариативная топология, система интеллектуального управления, математическая модель, интеллектуальный преобразователь.*

**Постановка задачі.** У галузі телекомунікацій та комп'ютерних мереж на цей час чим далі більшого поширення набувають мережі зв'язку гетерогенної топологічної структури, які включають до свого складу підсистеми передачі та обробки інформації з використанням дротової і бездротової складової. Використання бездротових складових призводить до ускладнення топологічних структур за рахунок їх варіативності, на що впливає управління маршрутизацією передачі даних і параметри, що визначають показники гарантоздатності функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) і комп'ютерних систем (КС).

Актуальність вирішення проблеми управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах (СМ) є очевидною для транспортних, кібернетичних, інформаційних, соціальних та інших систем.

#### **Аналіз літературних джерел.**

Методи і алгоритми маршрутизації пакетів та потоків даних в гетерогенних СМ будуються за технологією багаторазової (багатопрольотної/багатоскачкової) ретрансляції *Multihop* як самоорганізована динамічна сервіс-орієнтована мережа варіативної топології (ВТ). ВТ СМ є новою технологією функціонування ІТС і КС. Ключовим елементом СМ ВТ є сенсори, які реєструють зміни певних параметрів і/або забезпечують її передачу від вузлів-джерел до вузлів-отримувачів. СМ ВТ має задовольняти таким вимогам, як: забезпечувати покриття заданої території; забезпечувати задані показники гарантоздатності; елементи СМ (сенсори) мають самоорганізовуватися в гетерогенну або бездротову мережу передачі даних з необхідною швидкістю без втрат інформації; забезпечувати вимоги енергоефективності; швидко реагувати на події в зоні покриття; мати найменшу вартість. Досягнення цих вимог значною мірою залежить від протоколів взаємодії між сенсорами та алгоритмів маршрутизації, які вони підтримують.

Методи штучного інтелекту дозволяють визначити шлях вирішення зазначених проблем управління маршрутизацією потоків даних (ПД) шляхом інтегрального врахування параметрів функціонування СМ ВТ за умов забезпечення гарантоздатності та синтезу і вибору гарантованого безконфліктного управління маршрутизацією [7; 8; 9; 10; 11].

#### **Мета та задачі дослідження.**

Розробка та обґрунтування методології інтелектуального управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ ВТ на основі застосування теоретико-множинних моделей передбачає можливість опису процесів функціонування мережі у вигляді математичної моделі і нотації (мови), що дозволяє визначити оптимальні маршрути ПД згідно з критерієм, який враховує показники (параметри) гарантоздатності за умов обмежень і невизначеностей [1; 13].

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

Методологія створення і використання інтелектуальних систем управління маршрутизацією ПД в СМ передбачає взаємодію системи інтелектуального управління (СІУ) вузла з навколишнім середовищем, наявність мотивації, можливість використання знань для синтезу мети, оцінки, прийняття рішення і синтезу стратегії управління, контроль і аналіз управляючих впливів на стан об'єкту управління тощо. Згідно з концепцією у складі СІУ виділяються два основні блоки: синтезу мети і забезпечення процесу її досягнення (рис. 1).

Як концептуальну математичну модель опису процесів, що відбуваються в інтелектуальній системі, можна прийняти співвідношення:

$$T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_1} M \times T; C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_2} R \times T; C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_3} R \times T; \\ T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; T \times Y = \{D \times T\} X \times T; T \times R \times Y \xrightarrow{\alpha_4} C \times T \quad (1)$$

де  $T$  – множина моментів часу.  $X, S, M, C, R, Y$ , – множини станів системи, середовища, мотивації, мети, прогнозованого і реального результатів відповідно;  $\{A\}, \{B\}, \{D\}$ , – матриці параметрів системи;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання.

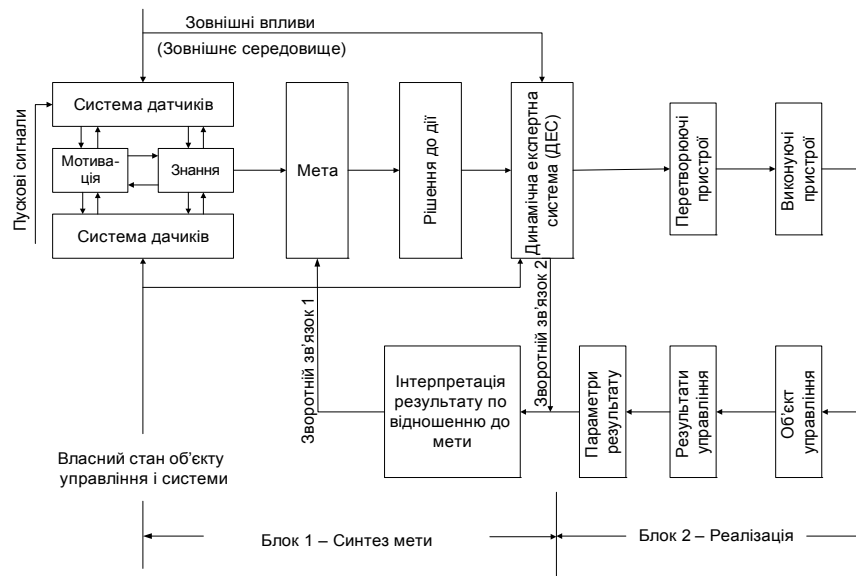


Рис. 1. Структурна схема системи інтелектуального управління

Рішення проблеми кількісного та якісного опису процесів в інтелектуальній системі пов'язане з необхідністю визначення операторів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ .

Виходячи з логічних і інтуїтивних аспектів обробки інформації, СИУ забезпечують виконання функцій: синтезу мети на підставі мотивації, відомостей про довколишнє середовище та стан системи; інтеграції з різноманітною складною інформацією, що має перехресні зв'язки і містить невизначеності, та отримання відповідного (наближеного) рішення в реальному часі; синтезу і застосування необхідної інформації та індуктивно синтезованих знань; синтез стратегій та управляючих впливів для досягнення мети. Спосіб виділення і об'єднання двох підходів щодо обробки інформації в обчислювальному середовищі СИУ відображає діаграма функціонування (рис. 2). При цьому автоматизація і інтеграція логічного та інтуїтивного підходів у технології обробки інформації СИУ забезпечує функціонування системи управління (СУ) в автоматичному режимі. Інтуїтивна обробка інформації застосовується в системах штучного інтелекту при вирішенні задач розпізнавання образів, навчанні, синтезі оптимальних рішень в умовах конфлікту, обмежень і невизначеностей з використанням технологій паралельних і розподілених обчислень та залишається ще малорозвинутою областю інформаційних технологій. Звідси випливають нові проблеми в розробці і створенні інтелектуальних систем щодо підтримки напрямів інтелектуальної діяльності, накопичуючи в базі знань на

основі обробки різні види інформації, що використовується при синтезі і прийнятті рішень та управлінні з метою досягнення прогнозованих результатів дії всієї системи.

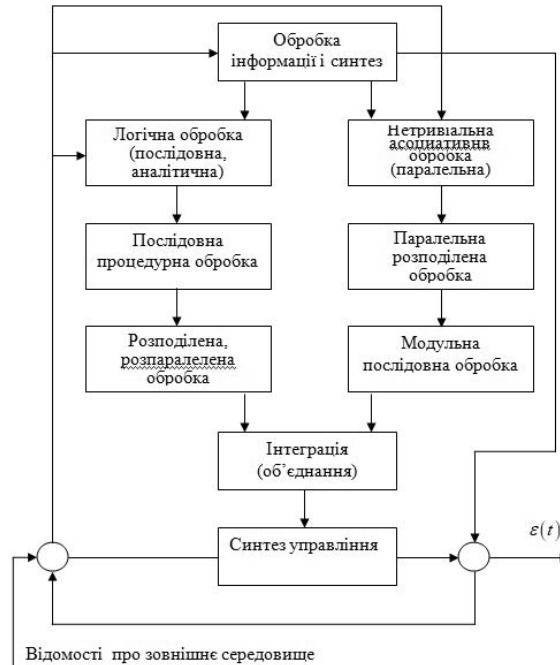


Рис. 2. Діаграма функціонування системи інтелектуального управління

Визначимо теоретико-множинну модель взаємодії вузлів СМ ПД ВТ, виходячи з того, що мережа має децентралізовану систему управління. У такому разі на відміну від структурної схеми, що наведена на рис. 3, структурна схема СІУ вузла мережі (рис. 1) не буде включати до свого складу динамічну систему маніпулювання знаннями. Тоді система синтезу рішень має включати додатковий модуль контролю і управління навантаженням вузла як параметра, що визначає кількісну характеристику правил, що визначають мову опису взаємодії вузлів мережі.



Рис. 3. Структурна схема системи інтелектуального управління вузла мережі

Як інтелектуальний перетворювач (ІП) застосовується технологія ситуаційного управління маршрутизацією ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача відповідно міток маршруту, які визначаються згідно з функцією ціни на основі параметрів, що надходять із транзитних вузлів. У такому разі математична модель СИУ складається з трьох частин: ІП (система ситуаційного управління); об'єкт управління (ОУ), яким є маршрут ПД, що визначений мітками вузлів СМ; СУ вузлів СМ (обчислювальні, перетворюючі та виконавчі пристрої). ІП є логіко-перетворюючим пристроєм, який перетворює інформацію про стан зовнішнього середовища і параметри функціонування ОУ та трансформує в сигнали для пристрою управління СУ.

Визначимо математичну модель ІП в операторній формі

$$Y = F(x, u, w, p, z), \quad (2)$$

де  $F(\cdot)$  – оператор інтелектуального перетворення, який характеризує структуру та роботу ІП;  $x$  – вектор стану СУ;  $u$  – вектор управління;  $w$  – вектор впливу зовнішнього середовища;  $p$  – вектор сигналів мети (цілі);  $z$  – вектор параметрів ОУ [15].

У загальному випадку ОУ можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} x = f(x, u, w, t) \\ y = C(x) \\ x(t_0) = x_0 \\ t \geq t_0 \end{cases}, \quad (3)$$

де  $f(\cdot)$  – вектор-функція, яка описує властивості ОУ;  $C(\cdot)$  – задана функція вихідних сигналів;  $t$  – координата часу;  $y$  – вихідний вектор (вектор вимірів).

У такому разі обчислювальні та перетворюючі пристрої формують вектор управління  $u$  для ОУ з множини його можливих значень відповідно до задачі управління для досягнення мети, яка сформована ІП на підставі похідних даних згідно зі співвідношеннями (2) і (3).

У разі побудови ІП на основі методів ситуаційного управління використовуються семіотичні моделі, що ґрунтуються на формальній моделі [13], [15], яка задається четвіркою

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle, \quad (4)$$

де  $T$  – множина базових елементів;  $P$  – синтаксичні правила;  $A$  – система аксіом;  $\Pi$  – семантичні правила.

Крім семіотичної моделі  $M$  задається формальна модель, що інтерпретується,

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle, \quad (5)$$

де  $Z$  – множина значень, які інтерпретуються,  $D$  – правила відображення, які надають відображення  $T \rightarrow Z$  та зворотнє  $Z \rightarrow T$ , тобто приписують кожному відображенню  $T$  деяке відображення, що його інтерпретує;  $H$  – правила відображення;  $V$  – правила інтерпретації, які дозволяють приписувати деяке



інтерпретуюче значення до будь-якої синтаксично правильної сукупності базових елементів.

У такому разі семіотична модель  $C(\cdot)$  з урахуванням (4) і (5) визначається четвіркою

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_{II} \rangle, \quad (6)$$

де  $\chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_{II}$  відповідно є правилами зміни  $T, P, A, II$ .

На відміну від формальних моделей використання семіотичної моделі  $C(\cdot)$  дозволяє у процесі ситуаційного управління змінювати всі елементи формальної моделі  $M$  і формувати моделі, які відображають поточний стан СМ.

Управління маршрутизацією ПД в СМ пов'язане з необхідністю синтезу і вибору стратегій управління в СІУ конфліктуючих вузлів мережі. Для успішного застосування методів ситуаційного управління при синтезі та прийнятті рішень в умовах конфлікту застосовується інструментарій методів теорії ігор [3], функціонального аналізу [4] та методи ШІ [8]. Найбільш загальною моделлю опису процесів взаємодії конфліктуючих сторін є модель динамічної системи інтелектуального управління [12].

При ігровому підході для опису конфлікту вводяться поняття:

- коаліцій дії  $R_D$ , яка об'єднує множину учасників конфлікту за їх діями;
- коаліцій інтересів  $R_{II}$ , яка об'єднує учасників конфлікту за інтересами (спільністю мети);
- стратегій, що характеризують рішення коаліцій  $K$  (дій  $R_D$  і коаліцій інтересів  $R_{II}$ , які залежно від типу гри можуть мати одних і тих самих учасників або утворюватись з різних учасників);
- стосунків переваги  $G$  як абстрактного бінарного відношення на множині всіх стратегій (часто стосунки переваги задаються функцією виграшу  $W_K$ , і тоді коаліцію  $K$ , якщо вона віддає перевагу ситуації  $x$  до ситуації  $y$ , визначають через відношення переваги у вигляді  $xG_K y$  або при використанні функції виграшу за умови визначення  $W_K(x)$  і  $W_K(y)$  у вигляді  $xW_K y$ ).

Тоді формальний опис конфлікту полягає в завданні системи

$$\Gamma = \langle R_D, S_{R_D}, S, R_{II}, G_{R_{II}} \rangle, \quad (7)$$

де  $R_D$  – множина, яка об'єднує учасників конфлікту за їх діями;  $S_{R_D}$  – множина стратегій коаліції дій;  $S$  – множина стратегій поведінки (дій) учасників;  $R_{II}$  – множина, яка об'єднує учасників конфлікту за інтересами (цілями);  $G_{R_{II}}$  – множина відношень коаліції інтересів. Тобто множина  $\Gamma$  згідно зі співвідношенням (7) є формальним описом конфлікту залежно від його змісту.

Динамічна система управління (рис. 4) складається з об'єкту, що характеризується множиною станів, регулятора, під яким розуміється математична модель, що включає елемент, який забезпечує оцінку стану об'єкту, і елементу, що формує управління.

Для врахування факторів взаємодії ОУ із зовнішнім середовищем та вузлами СМ проводиться аналіз їх взаємодії. При цьому чинники зовнішнього середовища і умови взаємодії конфліктуючих вузлів СМ при управлінні маршрутизацією ПД розглядаються з позицій динамічної системи дискретного управління (рис. 4).



Рис. 4. Структурно-логічна схема інтелектуального перетворювача вузла мережі

Відповідно до структурно-логічної схеми для заданої множини моментів часу  $T$  та множини станів системи  $X$  множина вхідних впливів  $U$  є непорожньою множиною їх припустимих значень. Виходячи з того, що непушта множина припустимих значень вхідних впливів  $\Omega = \{\omega: T \rightarrow U\}$ , множина значень вихідних величин  $Y$  та множина їх припустимих значень зв'язані співвідношенням  $Y = \{\gamma: T \times X \rightarrow Y\}$ . Множина моментів часу  $T$  є деякою упорядкованою підмножиною множини дійсних чисел (напрямок часу). Для множини моментів часу  $T$  існує перехідна функція  $\Phi = \{\varphi: T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X\}$ , де стан системи визначається як функція часу  $x(t) = \varphi[t, t_0, x(t_0), \omega] \in X$ , задане вхідне відображення  $Y$  визначається як  $Y = \{\gamma: T \times X \rightarrow Y\}$ . У такому разі стан системи  $x(t)$  в момент часу  $t$  або пари елементів множини  $T \times X$  буде становити подію (фазу) динамічної системи. Множина  $T \times X$  є простором подій (фазовим простором, простором станів). Управляючі дії переводять систему з одного стану в деякий інший. При переводі системи з одного стану в інший за допомогою керуючих дій остання знаходиться в стані руху, описуючи в просторі стану траєкторію, а динамічна система становить об'єкт управління.

Законом управління є відображення  $k: T \times X \rightarrow U$ , де значення  $u(t) = k[t, x(t)]$  належить множині  $U$ . Для реалізації управління необхідно мати значення змінних стану системи  $x(t)$ , що потребує здійснення операції зворотнього відображення  $\gamma^1: Y \rightarrow X$ , що дозволяє визначити координати системи з умови  $x(t) = \gamma^1[y(t)]$ . Для оцінки стану системи оцінюється точність визначення  $x(t)$ , тобто оцінюється стан  $x_0(t)$ .

Для синтезу і вибору рішення щодо управління маршрутизацією ПД в СМ здійснюється об'єднання СІУ вузлів в динамічну СУ з метою розпаралелювання обчислювальних процедур ПП при синтезі оптимального в сенсі функції ціни маршруту ПД.

Стратегія управління взаємодією конфліктуючих вузлів СМ залежить від ресурсів СІУ вузлів СМ та факторів, які забезпечують функціональність вузлів мережі, а також від зовнішніх впливів і значення параметрів, що визначають

функціональний стан СМ ПД ВТ. Таким чином умови взаємодії конфліктуючих вузлів породжують визначені та невизначені фактори, які впливають на стратегію управління маршрутизацією ПД в СМ, а саме на синтез та вибір керуючих впливів на ОУ, які здійснюються інтелектуальною системою.

Математична модель синтезу та прийняття рішень щодо управління маршрутизацією в СМ ПД формується з урахуванням усіх чинників і наявної інформації про них [6; 9; 15]. Спрощена модель прийняття рішення в цьому випадку може бути описана у вигляді

$$D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle, \quad (8)$$

де  $Y$  – множина результатів,  $G$  – модель переваг результатів (рішень, що приймаються);  $U$  – множина стратегій прийняття рішень;  $L$  – множина можливих значень невизначених чинників;  $J$  – функція, що визначає взаємозв'язок невизначеного чинника і результат прийнятого рішення (функція ціни, критерій);  $\Omega$  – вся інша інформація про рішення, що приймається, у формалізованому виді відомості про конфлікт (переваги конфліктуючих вузлів СМ тощо).

Застосування моделі (8) в умовах взаємодії конфліктуючих вузлів СМ визначається тим, що вона дозволяє просто і наочно зв'язати значення невизначених чинників і стратегій з управлінням маршрутизацією ПД, яке реалізовується інтелектуальною системою.

Множини  $Y, G, U, L, \Omega$  і функція  $J$  формально задають компоненти рішення, що приймається, і визначають зв'язок з СУ через поняття функції ціни  $J$  і показників ефективності системи (показників якості і критеріїв). Показником якості або ефективності системи управління  $W$  є міра відповідності реального результату управління маршрутизацією ПД  $Y$  потрібному для досягнення мети управління в ІІ вузла-відправника ПД і взаємодії конфліктуючих вузлів мережі при отриманні оцінок або вимірів параметрів, що характеризують маршрут, і представляє ланцюжок оптимальної взаємодії вузла в СМ на маршруті від вузла-відправника до вузла-отримувача ПД в СМ, як результатів рішення. Критерієм  $K$  є правило, введене на основі певної концепції раціональної поведінки інтелектуальної системи (придатності, оптимізації, адаптивності, витрат ресурсів, гарантоздатності, безпеки тощо).

У такому разі рішення задачі взаємодії конфліктуючих вузлів мережі доцільно розглядати в постановці задачі дискретної оптимізації [12; 14; 6] для множини усіх значень цільової функції

$$j(x) = \min \{ j(x) : x \in X \}, \quad (9)$$

де  $X$  – припустима область значень параметрів;  $j$  – цільова функція; кожен елемент  $x \in X$  – припустиме рішення задачі дискретної оптимізації  $(j, X)$  за умови скін-ченності множини  $X$ .

Оптимальному рішенню  $x^* \in X$  відповідає значення цільової функції

$$f(x^*) = \min \{ f(x) : x \in X \}. \quad (10)$$

Тоді дискретний процес для рівняння стану можна уявити у вигляді

$$y_t = W(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), t = 1, 2, \dots, T, \quad (11)$$

де  $x_{t-s}, x_{t-s+1}, \dots, x_t$  – управління при перетворенні стану  $y_{t-1}$  етапу  $t - 1$  в стан  $y_t$  етапу  $t$ . Стан  $y_t$  обирається виходячи з множин станів  $Y_t$ , областей існування управління  $X_t$  і множин  $Z_t$ . Множини  $X_t$  скінченні, а цільова функція  $J$  для кожного  $t$  дозволяє визначити мінімум сумарної оцінки  $j(\cdot, y_t, \dots, x_t)$  на множині  $Y_{t-1} \times X_{t-s} \times \dots \times X_t$ .

Для синтезу і вибору оптимального управління маршрутизацією ПД в СМ визначимо немарківську динамічну задачу дискретної оптимізації у вигляді

$$\sum_{t=1}^T j_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) + j_0(y_T) \rightarrow \min, \quad (12)$$

де  $y_t = W_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t)$ ,  $x_t \in X_t$ ,  $y_t \in Y_t$ ,  $(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) \in Z_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ,  $x_t = x_t^0$ ,  $t = 1-s, \dots, 0$ ,  $y_0 = y^0$ .

Визначимо скінченні множини  $\overset{\circ}{Y}_t$ , що вміщують стани, в яких може знаходитись процес рішення задачі динамічної дискретної оптимізації, що визначена співвідношенням (12), і для яких є справедливим включення:

$$\left. \begin{array}{l} \left\{ y_t \in Y_t : y_t = W_t(y_{t-1}, x_t), x_t \in X_t, (y_{t-1}, x_t) \in Z_t, y_{t-1} \in \overset{\circ}{Y}_{t-1}, \right. \\ \left. t = 1, 2, \dots, T, Y_0 = \{y^0\} \right\} \end{array} \right\}. \quad (13)$$

Виходячи зі співвідношень (9) – (13), алгоритм синтезу і вибору стратегій управління маршрутизацією ПД в СМ як задачі дискретної динамічної оптимізації можна представити певним алгоритмом.

1. Для усіх  $y \in \overset{\circ}{Y}_T$  визначаємо функцію ціни для немарківської динамічної задачі  $J_{t+1}(y) = j_0(y)$ .

2. Для усіх  $y \in \overset{\circ}{Y}_{t-1}$  і  $t = \{T, T-1, \dots, 1\}$  обчислюємо  $J_t(y) = \min \left\{ j_t(y, x + J_{t+1}(W_t(y, x))) : x \in X_t, W_t(y, x) \in Y_t, (y, x) \in Z_t \right\}$ .

Якщо задача  $J_t(y)$  не може бути вирішена, припускаємо, що  $J_t(y) : +\infty$ . У іншому випадку визначаємо оптимальне рішення, як  $x_t(y)$ .

3.  $J_1(y^0)$  є мінімальним значенням функції для немарківської динамічної задачі.

4. Визначаємо  $x_1 : x_1(y^0)$  та  $y_1 := W_1(y^0, x_1)$ .

5. Для усіх  $t = \{2, 3, \dots, T\}$  припускаємо  $x_t := x_t(y_{t-1})$ ,  $y_t := W_t(y_{t-1}, x_t)$ .

При  $J_1(y^0) < +\infty$  немарківська динамічна задача має оптимальне рішення  $\{x_t, y_{t-1}\}_{t=1}^T$ . Кроки 4 і 5 алгоритму породжують оптимальне рішення, оскільки  $x_t(y)$  визначає відповідне оптимальне управління на першому етапі процесу, який складається з етапів  $t, t+1, \dots, T$  і починається зі стану  $y$ . Таким чином здійснюється перехід до нового стану  $W(y, x_t(y))$ , для якого відомо оптимальне управління  $x_{t+1}(W(y, x_t(y)))$  першого етапу процесу, який вміщує етапи  $\{t, t+1, \dots, T\}$ .

### Висновки

За результатами досліджень методів управління маршрутизацією потоків даних у сенсорних мережах варіативної топології за умов невизначестей і обмежень запропоновано застосовувати методологію: системно-структурного аналізу процесів взаємодії конфліктуючих вузлів мережі, як дослідження явища в цілому, яке складається з системи підструктур, які, у свою чергу, складаються з елементів, і в якості підсистем входять у систему більш високого рівня; системно-функціонального аналізу процесів забезпечення гарантоздатності при функціонуванні сенсорних мереж, як дослідження з метою визначення усіх основних взаємозв'язків вузлів мережі з процесами управління маршрутизацією потоків даних, як внутрішнім середовищем гетерогенної мережі, і з зовнішнім середовищем, яке включає систему передачі даних мереж *intranet/internet*; у виявленні характеру і способів впливу одних елементів і підструктур сенсорних мереж на інші.

При проведенні досліджень щодо розробки нових і вдосконалення існуючих методів управління маршрутизацією потоків даних у сенсорних мережах варіативної топології за умов забезпечення гарантоздатності доцільним є використання інтегрально-топологічних методів аналізу складних систем, які базуються на використанні математичних моделей опису властивостей процесів, пов'язаних з функціонуванням мереж як систем, що дозволяє отримати топологічні структури формальних просторів функціонування та рішення для синтезу та вибору управлінь сенсорними мережами. Інтегрально-топологічні методи дослідження та аналізу складних систем у просторі функціонування дозволяють виявити характеристики взаємодії моделі сенсорної мережі, які включають параметри гарантоздатного функціонування при синтезі та виборі рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних з урахуванням невизначеностей і взаємодії конфліктуючих елементів мережі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев А.Б., Тарасов Д.В., Андреев Д.В. та ін. Тестирование сетей связи следующего поколения. Москва: Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. С. 144.
2. Гладун П.В. Эвристический поиск в сложных средах. Киев: Наукова думка, 1977. С. 166.
3. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. Москва: Радио и связь, 1989. С. 288.
4. Одарченко Р.С. Концепція сенсорної мережі збору метеорологічних даних для системи регулювання випромінюваної потужності радіопередавальних пристроїв стільникових мереж. Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. 2013. Вип. 8. С. 53–61.
5. Павлов В.В., Шенетуха Ю.М. Проблемы анализа и синтеза сетцентрических систем. Кибернетика и вычислительная техника. 2013. Вип. 175. С. 52–62.
6. Павлов В.В., Павлова С.В. Интеллектуальное управление сложными нелинейными динамическими системами. Киев: Наук. думка, 2016. С. 215.

7. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. Москва: Наука, 1986, С. 120.
8. Понтрягин Л.С., Болтянский В.В. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1983. С. 393.
9. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. Наука, 1986. С. 288.
10. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. Москва: Наука, 1988. С. 280.
11. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы. Москва: Сов. радио, 1972. С. 226.
12. Рихтер К. Динамические задачи дискретной оптимизации: Радио и связь, 1985. С. 136.
13. Семко В.В. Модель взаємодії кібернетичних організмів та синтез стратегій оптимального керування в кібернетичному просторі. Проблеми інформатизації та управління. 2013. Вип. 3(43). С. 5–82.
14. Семко О.В., Семко В.В. Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усикання варіантів. Проблеми інформатизації та управління. 2014. Вип. 2(46). С. 60–71.

## REFERENCES

1. Vasilev A.B., Tarasov D.V., Andreev D.V. & Kucheryavyy A.E., (2008). Testirovanie setey svyazi sleduyushchego pokoleniya [Testing of Next Generation Communication Networks], Moscow: Izd-vo FGUP TsNIIS (in Russian).
2. Gladun P.V., (1977). Evristicheskiy poisk v slozhnykh sredakh [Heuristic search in complex environments], Kiev: Naukova dumka (in Russian).
3. Druzhinin V.V., Kontorov D.S. & Kontorov M.D., (1989). Vvedeniye v teoriyu konflikta [Introduction to the theory of conflict], Moscow: Radio i svyaz' (in Russian).
4. Odarchenko R.S., (2013). Kontsepsiya sensornoyi merezhi zboru meteorologichnykh danykh dlya systemy rehulyuvannya vyprominyuvanoyi potuzhnosti radiopredavalnykh prystroyiv stilnykovykh merezh [Concept of sensor network for collecting meteorological data for the system of regulation of the radiated power of radio transmitting devices of cellular networks] Problemy stvorenniya, vyprovuvannya, zastosuvannya ta ekspluatatsiyi skladnykh informatsiynykh system (in Ukrainian).
5. Pavlov V.V., Shepetukha Yu.M. (2013). Problemy analiza i sinteza setetsentricheskikh system [Problems of Analysis and Synthesis of Network-Centric Systems] Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika (in Russian).
6. Pavlov V.V., Pavlova S.V., (2016). Intellektual'noye upravleniye slozhnyimi nelineynymi dinamicheskimi sistemami [Intellectual Control of Complex Nonlinear Dynamic Systems], Kiev: Nauk. Dumka (in Russian).
7. Pontryagin L.S. (1986). Osnovy kombinatornoy topologii [Basics of combinatorial topology], Moscow: Nauka (in Russian).
8. Pontryagin L.S. & Boltyanskiy V.V., (1983). Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov [Mathematical Theory of Optimal Processes], Moscow: Nauka (in Russian).
9. Pospelov D.A., (1986). Situatsionnoye upravleniye: teoriya i praktika [Situational Management: Theory and Practice], Moscow: Nauka (in Russian).
10. Pospelov G.S., (1988). Iskustvennyy intellekt – osnova novoy informatsionnoy tekhnologii [Artificial Intelligence – the Basis of a New Information Technology], Moscow: Nauka (in Russian).
11. Pospelov D.A. & Pushkin V.N., (1972). Myshleniye i avtomaty [Thinking and automata] Moscow: Sov. Radio (in Russian).
12. Rikhter K., (1985). Dinamicheskiye zadachi diskretnoy optimizatsii [Dynamic problems of discrete optimization], Moscow: Radio i svyaz' (in Russian).
13. Semko V.V., (2013). Model vzayemodiyi kibernetichnykh orhanizmiv ta syntez stratehiy optymal'nogo keruvannya v kibernetichnomu prostori [Model of interaction of cybernetic organisms and synthesis of strategies for optimal control in cybernetic space] Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya (in Ukrainian).
14. Semko O.V. & Semko V.V., (2014). Doslidzhennya vlastyvostey rishennya zadachi konflikta za metodom intehral'nogo usikannya variantiv [Investigation of the properties of the solution of the

conflict problem by the method of integral truncation of variants] Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya (in Ukrainian).

UDC 681.5(042.3)

**Oleksii. V. Semko,**

Senior Lecturer of the Department, Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID 0000-0001-6473-1329,

**Pavlo M. Skladannyi,**

Senior Lecturer of the Department of Information and Cyber Security, Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID 0000-0002-7775-6039,

**Viktor V. Semko,**

Doctor of Technical Sciences,

Professor of the Department of Information and Cyber Security,

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID 0000-0001-5157-4264,

**Volodymyr L. Buriachok**

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Information and Cyber Security,

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID 0000-0002-4055-1494

## METHODOLOGY OF INTELLIGENT ROUTING CONTROL IN CONFLICTING SENSOR NETWORKS OF VARIABLE TOPOLOGIES

The complication of the topological structures of wireless sensor networks due to their variability determines the need to create new methods for managing data routing and parameters that determine the indicators of the reliability of the functioning of information-telecommunication and computer systems. Methods and algorithms for packet routing and data streams in heterogeneous sensor networks are based on multihop multi-threading (multi-threaded) relay technology as a self-organized, dynamic, service-oriented network of variable topologies. A key element of sensor networks of variable topologies are sensors that register changes in certain parameters and / or provide their transmission from source nodes to recipient nodes. Methods of artificial intelligence allow to determine the way of solving problems of data flow routing management by integrating the parameters of functioning of sensory networks of variable topology in conditions of guaranteeing reliability and synthesis and choosing guaranteed non-conflict routing management. The problems of synthesis and decision-making decisions concerning the management of data flow routing in conflicting sensor networks of variate topology in conditions of limitations and uncertainties are determined. The development and substantiation of the methodology of intelligent management of data flow routing in conflicting sensor networks of variable topology on the basis of the application of multiplicative theoretical models provides the opportunity to describe the processes of functioning of the network in the form of a mathematical model and a notation (language), which allows determining the optimal data transmission routes according to the criterion that takes into account Indicators (parameters) of indemnity under conditions of limitations and uncertainties. An

approach to the creation of distributed intelligent routing management system in self-organized sensory networks is considered on the basis of the use of multilevel theoretical-plural and mathematical models that determine the essence of the system of intellectual control of an object.

**Keywords:** conflict, object management, routing, data flows, sensor network, variable topology, intelligent control system, mathematical model, intelligent converter.

Отримано 01.12.2018

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н., професор