



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

6(52) ' 2018

Заснований  
у 2007 році

Наукове періодичне видання,  
в якому відображені результати  
наукових досліджень з розробки та  
удосконалення систем управління,  
навігації та зв'язку у різних  
проблемних галузях.

**Засновник:**

Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

**Адреса редакційної колегії:**

Україна, 36011, м. Полтава,  
Першотравневий проспект, 24

**Телефон:** +38 (066) 706-18-30  
(консультації, прийом статей).

**E-mail:**

kozelnkova@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

<http://www.pntu.edu.ua>

**Реферативна інформація**

зберігається: у загальнодержавній  
реферативній базі даних  
„Україніка наукова” та публікується  
у відповідних тематичних серіях  
УРЖ „Джерело”.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Голова:**

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., Україна)

**Заступники голови:**

ШЕФЕР Олександр Віталійович (д-р техн. наук, доц., Україна)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц., Україна)

**Члени:**

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КОРОБКО Богдан Олегович (д-р техн. наук, доц., Україна)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф. Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Україна)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ПОПОВ Валентин Іванович (д-р фіз.мат. наук, проф., Латвія)

СТАНКУНАС Йонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ХОРОШКО Володимир Олександрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олександр Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ШЛОМЧАК Георгій Григорович (д-р техн. наук, проф., Україна)

**Відповідальний секретар:**

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Україна)

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор*

Журнал індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: *Index Copernicus (Польща), General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США).*

*Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 9 від 13 грудня 2018 року)*

*Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук" (технічні науки) строком на п'ять років (від дати включення наказом Міністерства освіти і науки України) від 24.10.2017 № 1413 (додаток 7, п. 31)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ГП від 16.11.2012 р.*

# З М І С Т

## НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Герасимов С. В., Коломійцев О. В., Пустоваров В. В.</i> Особливості визначення точності вимірювань інерціальних приладів визначення координат .....	3
<i>Зусв А. О.</i> Розробка методу компактного зберігання полів висот у геоінформаційних системах та імітаційно-тренажерних комплексах БПЛА .....	9
<i>Остроумов І. В.</i> Аналіз перспективних систем зональної навігації .....	14
<i>Худов Г. В., Маковейчук О. М., Хижняк І. А., Соломоненко Ю. С., Юзова І. Ю.</i> Метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа .....	20

## КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Павленко М. А., Шило С. Г., Борозенець І. О., Дмитрієв О. М.</i> Процедура оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки для системи підтримки прийняття рішень в АСУ повітряним рухом .....	25
<i>Сурков К. Ю.</i> Декомпозиція діяльності диспетчерів управління повітряним рухом в адаптивній тренажерній системі .....	30
<i>Худов Г. В., Місюк Г. В., Олексенко О. О., Райков Р. Ю., Безжлубенко О. О., Добрєв В. Ю.</i> Аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору .....	38

## ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Зубко І. А.</i> Алгоритм перевірки працездатності компонента функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення .....	44
<i>Коржов І. М.</i> Загальне формулювання задачі функціональної діагностики для моделей параметричної дискримінації .....	48

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Денисенко О. В.</i> До питання підвищення ефективності світлофорного регулювання .....	53
---	----

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Hafiiak A., Borodina E., Diachenko-Bohun A.</i> Application of genetic programming tools as a means of solving optimization problems .....	58
<i>Дубницький В. Ю., Кобылин А. М., Кобылин О. А.</i> Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления основных типов индексов потребительских цен .....	61
<i>Іванець Г. В., Толкунов І. О.</i> Комплексна модель прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій в державі .....	68
<i>Руденко О. А., Руденко З. М., Головка Г. В., Одаруценко О. Б.</i> Знаходження параметрів скоригованої лінії експоненціальної апроксимації експериментальних даних виявлених дефектів при оцінюванні кількості вторинних дефектів програмних засобів .....	74
<i>Рысований А. Н.</i> Метод синтеза нелинейных генераторов псевдослучайной последовательности на основе использования первого состояния матрицы состояний в конечном поле GF(3) .....	79

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Главчева Ю. М., Канищева О. В.</i> Ідентифікація текстового плагіату в академічних документах .....	83
<i>Гороховатський В. О., Гадецька С. В., Пономаренко Р. П.</i> Статистичні розподіли та ланцюжкове подання даних при визначенні релевантності структурних описів візуальних об'єктів .....	87
<i>Горошко А. І., Демиденко М. І.</i> Програмно-апаратний комплекс по вимірюванню зорової втоми людини .....	93
<i>Гребенюк Д. С.</i> Аналіз методів розподілення ресурсів у середовищах віртуалізації .....	98
<i>Дмитренко Т. А., Деркач Т. Н., Дмитренко А. О., Івасько І. А.</i> Розробка модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи "портал-кафедра" .....	104
<i>Рудницький В. М., Лада Н. В., Федотова-Півень І. М., Пустовіт М. О., Нестеренко О. Б.</i> Побудова двохрозрядних двооперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування .....	113
<i>Серпухов О. В., Макогон О. А., Новік С. А., Клімов О. П., Ковальов І. О., Базелюк В. М.</i> Дослідження моделі міжнародного інформаційного простору з метою пошуку ефективних механізмів захисту національного інформаційного суверенітету .....	116
<i>Чала О. В.</i> Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань для підтримки прийняття рішень з управління підприємством .....	122
<i>Шутка П. М., Філоненко А. М.</i> Огляд проблемно-орієнтованих мов програмування для паралельного аналізу статичних графів .....	126

## ЗВ'ЯЗОК

<i>Князева Н. О., Колумба І. В.</i> Використання базових структурних характеристик мережі невизначеної топології для оцінки її структурної надійності .....	130
<i>Семко О. В.</i> Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах .....	135
<i>Shefer O., Ichanska N., Topikha B., Shefer V.</i> The ways of technical realization of adaptive algorithm of compensation of non-linear distortions of radio devices .....	140

<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	144
----------------------------------	-----

С. В. Герасимов<sup>1</sup>, О. В. Коломійцев<sup>1</sup>, В. В. Пустоваров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківське представництво генерального замовника – ДКА України, Харків, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ

В статті показано, що в основу функціонування існуючих приладів інерціальних навігаційних систем літальних апаратів покладено властивість швидкообертових гіроскопів зберігати незмінним напрямком осі обертання в просторі (гіроскопічний ефект). При цьому у загальному випадку похибки гіроскопічних пристроїв (приладів) залежать як від їх конструкції, так і від умов їх роботи. Обґрунтовано актуальну наукову задачу – проведення аналізу особливостей визначення точності вимірювань інерціальних навігаційних систем при розрахунку координат літального апарату. Наведено, що відомий метод часткової компенсації похибок вимірювань аналітичним шляхом на основі обчислення їхніх значень, є недосконалим. Пропонується для обчислення й подальшої компенсації похибок навігаційних вимірювань розробити математичну модель похибок інерціальних навігаційних систем. Така модель аналітично описує зв'язок між вхідними похибками інерціальних навігаційних систем, обумовленими недоліками гіроскопів й акселерометрів, та її вихідними похибками у визначенні координат літального апарату. Запропоновані три складові математичної моделі – блоки розрахунку координат літального апарату. Обґрунтовано, що діапазон вихідних похибок інерціальних навігаційних систем є невеликим, що дозволяє застосувати для дослідження динаміки похибок відомі методи лінеаризації функцій. Розглянуто динаміку утворення похибок у блоку обчислення кутових швидкостей і моментів. Ефективність компенсації зростаючих з часом функціонування похибок інерціальних навігаційних систем залежить від того, наскільки точно апріорно відомі чисельні значення дрейфів гіроскопів і похибок акселерометрів. Подальші дослідження пропонуються направити для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі похибок інерціальних навігаційних систем реальним процесам за допомогою результатів імітаційного моделювання з використанням нелінійної моделі формування похибок.

**Ключові слова:** інерціальна навігаційна система, літальний апарат, вимірювання, точність, координати.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відомо, що в основу функціонування існуючих приладів інерціальних навігаційних систем (ІНС) літальних апаратів (ЛА) покладено властивість швидкообертових гіроскопів зберігати незмінним напрямком осі обертання в просторі (гіроскопічний ефект).

У загальному випадку похибки гіроскопічних пристроїв (приладів) залежать як від їх конструкції, так і від умов їх роботи.

Таким чином, проведення аналізу особливостей визначення точності вимірювань ІНС (приладів) визначення координат ЛА є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що ідеальний гіроскоп, до якого не прикладено зовнішніх моментів, зберігає положення свого вектора моменту кількості руху нерухомим у інерційному просторі [1–7]. До реальних гіроскопів завжди прикладаються деякі неконтрольовані збуджуючі моменти  $M_b$ , які змушують вектор моменту руху рухатися у інерційному просторі.

У рамках прецесійної теорії вісь обертання ротора гіроскопу збігається з вектором моменту руху, тому обертання власної осі гіроскопа, при наявності збуджуючих моментів, буде відбуватися з деякою кутовою швидкістю, яка є швидкістю дрейфу гіроскопа.

Повний дрейф гіроскопів складеться з постійної та флуктуаційної складових.

Постійну складову, що є домінуючою в зростанні загальних похибок гіроскопа, називають також систематичним дрейфом. Він викликається наявністю моментів тертя на осях підвісу, гнучкими провідниками, зворотними реакціями чутливих елементів та іншими причинами.

Флуктуаційна складова похибки викликається дебалансом гіроскопів, анізоеластичними вібраційними моментами, нерівножорсткістю конструкції гіроблока й іншими причинами, що залежать від перевантажень, які виникають на маршруті руху, та називається випадковим дрейфом гіроскопа.

Відомий метод часткової компенсації похибок вимірювань аналітичним шляхом на основі обчислення їхніх значень, для чого необхідно знати джерела й причини виникнення останніх [8, 9]. Тому для обчислення й подальшої компенсації похибок навігаційних вимірювань, необхідно розробити математичну модель похибок ІНС, яка аналітично описує зв'язок між вхідними похибками ІНС, обумовленими недоліками гіроскопів й акселерометрів, та її вихідними похибками у визначенні координат ЛА. При цьому ефективність компенсації зростаючих з часом функціонування похибок ІНС прямо залежить від адекватності математичної моделі похибок ІНС реальним процесам навігаційних вимірювань.

**Метою статті** є проведення аналізу особливостей визначення точності вимірювань інерціальних приладів визначення координат літальних апаратів за допомогою розробленої математичної моделі похибок інерціальних навігаційних систем.

**Виклад основного матеріалу**

За основу математичної моделі незбуреного функціонування ІНС ЛА приймемо математичну модель ІНС на базі гіростабільної платформи (ГСП) з геодезичною орієнтацією опорного тригранника  $\xi\eta\zeta$  (рис. 1).

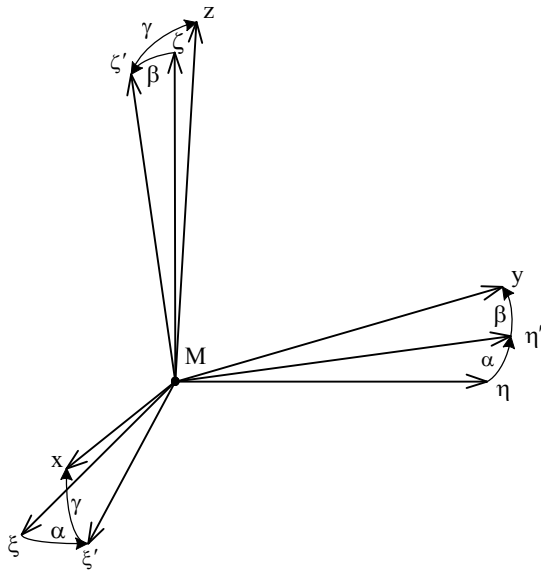


Рис. 1. Взаємне розташування координатних тригранників

Якщо похибки в положенні платформи відсутні, то система координат (СК)  $xuz$ , жорстко зв'язана з платформою, буде тотожно збігатися з опорною СК  $\xi\eta\zeta$ . Шляхом інтегрування показань  $a_\xi, a_\eta, a_\zeta$  акселерометрів, що встановлені на ГСП, можуть бути обчислені проекції  $W_\xi, W_\eta, W_\zeta$  шляхової швидкості руху ЛА на відповідні осі ГСП. Далі, на підставі відомих швидкостей можуть бути обчислені поточні координати ЛА. За відовими координатами і швидкостями руху можуть бути знайдені потрібні (номінальні) кутові швидкості  $\omega_{ax}, \omega_{ay}, \omega_{az}$  обертання платформи в інерційному просторі.

Якщо виробляти моменти  $M_1, M_2, M_3$ , пропорційні абсолютним кутовим швидкостям обертання ГСП, і подавати їх на гіроскопи платформи, можна змусити її рухатися в просторі з належними кутовими швидкостями [10].

**Блок № 1.** Алгоритм обчислення поточних шляхових швидкостей:

$$\begin{aligned} \dot{W}_\xi &= a_\xi - (\omega_\eta + 2\Omega \cos B)W_\zeta + (\omega_\zeta + 2\Omega \sin B)W_\eta, \\ W_\xi(t_0) &= W_{\xi 0}, \quad W_\eta(t_0) = W_{\eta 0}, \quad W_\zeta(t_0) = W_{\zeta 0} \\ \dot{W}_\eta &= a_\eta + \omega_\xi W_\zeta - (\omega_\zeta + 2\Omega \sin B)W_\xi, \\ \dot{W}_\zeta &= a_\zeta - \omega_\xi W_\eta + (\omega_\eta + 2\Omega \cos B)W_\xi - \\ &- \frac{g_{e0} a^2}{(a+h)^2} (1 + 0,005317 \sin^2 B + 0,000007 \sin^2 B). \end{aligned} \quad (1)$$

**Блок № 2.** Алгоритм обчислення поточних геодезичних координат:

$$B(t_0) = B_0, \quad L(t_0) = L_0, \quad h(t_0) = h_0,$$

$$\dot{B} = Q^{-1}W_\eta, \quad \dot{L} = (G \cos B)^{-1}W_\xi, \quad \dot{h} = W_\zeta. \quad (2)$$

**Блок № 3.** Алгоритм обчислення кутових швидкостей і моментів для управління платформою:

$$\begin{aligned} \omega_\xi &= -\dot{B} = -Q^{-1}W_\eta, \quad \omega_\eta = \dot{L} \cos B = W_\xi G^{-1}, \\ \omega_\zeta &= \dot{h} \sin B = W_\zeta G^{-1} \operatorname{tg} B, \quad M_1 = -H\omega_\xi, \end{aligned} \quad (3)$$

$$M_2 = H(\omega_\eta + \Omega \cos B), \quad M_3 = H(\omega_\zeta + \Omega \sin B).$$

У співвідношеннях (1) – (3) прийняті такі позначення:  $W_\xi, W_\eta, W_\zeta$  – проекції шляхової швидкості руху ЛА на відповідні осі ГСП;  $a_\xi, a_\eta, a_\zeta$  – проекції показань акселерометрів на відповідні осі ГСП;  $\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$  – проекції кутової швидкості обертання ГСП на її власні осі;  $\Omega$  – кутова швидкість обертання Землі;  $g_{e0}$  – прискорення вільного падіння на екваторі;  $a$  – велика напіввісь земного еліпсоїда;  $Q$  – радіус кривизни меридіанного перетину еліпсоїда;  $G$  – радіус кривизни еліпсоїда в першому вертикалі;  $H$  – величина кінетичного моменту гіроскопів ГСП.

Радіуси кривизни головних нормальних перетинів земного еліпсоїда, що входять у співвідношення (2), (3), є функціями геодезичної широти і визначаються співвідношеннями [11, 12]:

$$Q = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} + h, \quad G = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 B)^{1/2}} + h, \quad (4)$$

де  $e$  – ексцентриситет земного еліпсоїда.

У розглянутій схемі ідеального функціонування ІНС використовувалися точні алгоритми счислення шляху. За відсутністю інструментальних похибок вони забезпечують абсолютну відповідність роботи ІНС з запропонованим (номінальним) режимом, при якому осі  $xuz$  ГСП (рис. 1) точно збігаються з тригранником  $\xi\eta\zeta$ , що є опорним для даної ІНС, а обчислені в ІНС швидкості та координати збігаються з їх дійсними значеннями. На практиці акселерометри, що входять до складу реальних ІНС, мають інструментальні похибки  $a_{bx}(t), a_{by}(t), a_{bz}(t)$ , а гіроскопи – кутові швидкості дрейфу  $\omega_{bx}(t), \omega_{by}(t), \omega_{bz}(t)$ .

Тригранник  $xuz$ , що жорстко зв'язаний з гіроплатформою, вважаючи на похибки, які зумовлені неточним виставленням ГСП на старті та дрейфом гіроскопів, відхиляється від номінального свого положення  $\xi\eta\zeta$  на малі кути  $\alpha(t), \beta(t)$  і  $\gamma(t)$  (рис. 1). При цьому кут  $\alpha$  є похибкою кутового положення ГСП по азимуту, а кути  $\beta$  та  $\gamma$  – похибками кутового положення ГСП відносно горизонту. Кути  $\beta$  та  $\gamma$  вважаються позитивними, якщо осі  $x$  і  $y$  ГСП підіймаються над площиною обрїю [13]. Крім того, початкові значення швидкостей і координат вводяться в обчислювальну систему з деякими похибками.

Зазначені вхідні похибки викликають появу похибок ІНС у визначенні поточних швидкостей і координат ЛА, а також кутів гіроскопічного курсу, крену та тангажу. Однак, діапазон вихідних похибок ІНС є невеликим [11, 14], що дозволяє застосувати для дослідження динаміки похибок ІНС відомі [7] методи лінеаризації функцій.

Аналіз похибок ІНС можна провести з використанням рівнянь у варіаціях [15], які є лінеаризованими рівняннями першого наближення щодо вихідних похибок системи, праві частини котрих будуть складатися з лінійної комбінації збурювань (похибок) на вході розглянутої системи. При складанні рівнянь врахуємо такий факт. Вхідні похибки реальних ІНС є величинами такого ж порядку малості, як і значення ексцентриситету земного еліпсоїда [11]. Це дозволяє зневажити несферичність Землі, не враховуючи на величини другого і більш високих порядків малості, відповідно даних малих величин, що значно спрощує подальші розрахунки без зниження порядку точності обчислень.

Розглянемо динаміку утворення похибок у блоку обчислення кутових швидкостей і моментів.

У процесі реального функціонування ІНС, величини  $W_\xi$ ,  $W_\eta$ ,  $B$  та  $h$ , необхідні для обчислення керуючих моментів  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$  за формулами (3), бувають відомі з похибками:

$$W_\xi^* = W_\xi + \Delta W_\xi, \quad W_\eta^* = W_\eta + \Delta W_\eta, \\ B^* = B + \Delta B, \quad h^* = h + \Delta h. \quad (5)$$

В (5) та далі верхній індекс «\*» – є символом реальних вимірювань (обчислень), а символ « $\Delta$ » визначає мале відхилення реальної величини від номінальної. Виходячи з цього, моменти:

$$M_1^{obch} = H_1 \omega_{a\xi}^{obch}, \quad M_2^{obch} = H_2 \omega_{a\eta}^{obch}, \quad M_3^{obch} = H_3 \omega_{a\zeta}^{obch} \quad (6)$$

будуть відрізнятися від номінальних значень на малі величини:

$$\Delta M_1^{obch} = H_1 \Delta \omega_{a\xi}^{obch}, \quad \Delta M_2^{obch} = H_2 \Delta \omega_{a\eta}^{obch}, \quad (7) \\ \Delta M_3^{obch} = H_3 \Delta \omega_{a\zeta}^{obch}.$$

Крім того, на гіроскопи ГСП будуть накладатися в силу тертя, дебалансів, тощо, ще й збурюючи моменти  $M_{b1}$ ,  $M_{b2}$  і  $M_{b3}$ . Тобто, до гіроскопів ГСП будуть прикладені реальні моменти:

$$M_1^* = M_1^{obch} + M_{b1} = M_1 + H_1 \Delta \omega_{a\xi}^{obch} + M_{b1}, \\ M_2^* = M_2^{obch} + M_{b2} = M_2 + H_2 \Delta \omega_{a\eta}^{obch} + M_{b2}, \quad (8) \\ M_3^* = M_3^{obch} + M_{b3} = M_3 + H_3 \Delta \omega_{a\zeta}^{obch} + M_{b3}.$$

Під дією моментів  $M_1^*$ ,  $M_2^*$  і  $M_3^*$  ГСП почне обертатися у світовому просторі з реальними кутовими швидкостями:

$$\omega_{ax} = \frac{M_1^*}{H_1} = \frac{M_1}{H_1} + \Delta \omega_{a\xi}^{obch} + \omega_{e1}, \\ \omega_{ay} = \frac{M_2^*}{H_2} = \frac{M_2}{H_2} + \Delta \omega_{a\eta}^{obch} + \omega_{e2}, \quad (9) \\ \omega_{az} = \frac{M_3^*}{H_3} = \frac{M_3}{H_3} + \Delta \omega_{a\zeta}^{obch} + \omega_{e3},$$

де  $\omega_{bi} = M_{bi} H_i^{-1}$ ,  $i = 1, 2, 3$  – дрейфи гіроскопів платформи.

Враховуючи, що відповідно до (3) мають місце рівності  $M_1 H_1^{-1} = \omega_{a\xi}$ ,  $M_2 H_2^{-1} = \omega_{a\eta}$  та  $M_3 H_3^{-1} = \omega_{a\zeta}$ , із співвідношень (9) одержимо рівняння похибок абсолютних кутових швидкостей ГСП:

$$\Delta \omega_{ax} = \omega_{ax} - \omega_{a\xi} = \Delta \omega_{a\xi}^{obch} + \omega_{e1}, \\ \Delta \omega_{ay} = \omega_{ay} - \omega_{a\eta} = \Delta \omega_{a\eta}^{obch} + \omega_{e2}, \quad (10) \\ \Delta \omega_{az} = \omega_{az} - \omega_{a\zeta} = \Delta \omega_{a\zeta}^{obch} + \omega_{e3}.$$

Щоб знайти значення  $\Delta \omega_{a\xi}^{obch}$ ,  $\Delta \omega_{a\eta}^{obch}$  та  $\Delta \omega_{a\zeta}^{obch}$ , вхідні до (10), необхідно провести лінеаризацію (3) щодо малих величин  $\Delta W_\xi$ ,  $\Delta W_\eta$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta h$  та  $e$ .

В результаті лінеаризації (3), одержимо:

$$\Delta \omega_\xi = -\frac{\Delta W_\eta}{a+h} + \frac{W_\eta \Delta h}{(a+h)^2}, \quad \Delta \omega_\eta = \frac{\Delta W_\xi}{a+h} - \frac{W_\xi \Delta h}{(a+h)^2}, \\ \Delta \omega_\zeta = \frac{tg B \Delta W_\xi}{a+h} - \frac{W_\xi tg B \Delta h}{(a+h)^2} + \frac{W_\xi (1+tg^2 B) \Delta B}{a+h}, \quad (11)$$

$$\Delta \Omega_\xi = 0, \quad \Delta \Omega_\eta = -\Omega \sin B \Delta B, \quad \Delta \Omega_\zeta = \Omega \cos B \Delta B, \quad (12)$$

$$\Delta \omega_{a\xi}^{obch} = \Delta \omega_\xi + \Delta \Omega_\xi, \quad \Delta \omega_{a\eta}^{obch} = \Delta \omega_\eta + \Delta \Omega_\eta, \\ \Delta \omega_{a\zeta}^{obch} = \Delta \omega_\zeta + \Delta \Omega_\zeta. \quad (13)$$

Перейдемо до виводу рівнянь для кутових похибок  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  ГСП. Матриця  $\Delta U_M$  направляючих косинусів між тригранниками  $xuz$  і  $\xi\eta\zeta$  з урахуванням малості кутів  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  буде дорівнювати [12]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \Delta U_M \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix}, \quad \Delta \tilde{U}_M = \begin{pmatrix} 0 & \alpha & \gamma \\ -\alpha & 0 & \beta \\ -\gamma & -\beta & 0 \end{pmatrix} \\ \Delta U_M = \begin{pmatrix} 1 & \alpha & \gamma \\ -\alpha & 1 & \beta \\ -\gamma & -\beta & 1 \end{pmatrix} = E + \Delta \tilde{U}_M, \quad (14)$$

де  $E$  – одинична матриця. У співвідношеннях (14) СК  $\xi\eta\zeta$  потрібно розглядати як опорну, відносно якої рухається СК  $xuz$ .

Відносно до інерціальної СК  $X_i Y_i Z_i$ , СК  $\xi\eta\zeta$  та СК  $xuz$  будуть обертатися з кутовими швидкостями  $\omega_{a\xi}$ ,  $\omega_{a\eta}$ ,  $\omega_{a\zeta}$  і  $\omega_{ax}$ ,  $\omega_{ay}$ ,  $\omega_{az}$  відповідно. Введемо в розгляд матриці  $U_i$  і  $U_i^*$ , що задають положення СК  $\xi\eta\zeta$  та СК  $xuz$  щодо СК  $X_i Y_i Z_i$ :

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = U_i \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = U_i^* \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Нижній індекс « $i$ » є пов'язаним з інерційністю системи, а індекс «\*» символізує реальність руху платформи. Якщо відомий вектор обертання рухомої СК щодо нерухомої, а також відоме початкове значення  $U_0$  матриці направляючих косинусів, то поточне значення матриці  $U(t)$  може бути обчислене для будь-якого моменту часу  $t$  шляхом інтегрування рівнянь Пуассона [5, 7]:

$$\dot{U}(t) = -PU(t), U(t_0) = U_0, \quad (16)$$

де  $P$  – матриця кутових швидкостей обертання рухомої СК. Далі одержуємо матричні диференційні рівняння Пуассона для матриць  $U_i$  та  $U_i^*$ :

$$\dot{U}_i = -P_i U_i, U_i(t_0) = U_{i0}, \dot{U}_i^* = -P_i^* U_i^*, U_i^*(t_0) = U_{i0}^*, \quad (17)$$

$$\text{де } P_i = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_{a\zeta} & \omega_{a\eta} \\ \omega_{a\zeta} & 0 & -\omega_{a\xi} \\ -\omega_{a\eta} & \omega_{a\xi} & 0 \end{pmatrix}, P_i^* = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_{az} & \omega_{ay} \\ \omega_{az} & 0 & -\omega_{ax} \\ -\omega_{ay} & \omega_{ax} & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_i^* = P_i + \Delta P.$$

Матриці  $U_i$ ,  $U_i^*$  та  $\Delta U_M$  зв'язані між собою [9]:

$$U_i^* = \Delta U_M U_i. \quad (18)$$

Підставимо (18) у (17) та, враховуючи, що добуток матриць  $\Delta P \Delta \tilde{U}_M$  має другий порядок малості, одержимо:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_M U_i + \Delta U_M (-P_i U_i) &= -(P_i + \Delta P) \Delta U_M U_i, \\ \Delta \dot{U}_M &= \Delta U_M P_i - P_i \Delta U_M - \Delta P (E + \Delta \tilde{U}_M) \approx, \\ &\approx \Delta U_M P_i - P_i \Delta U_M - \Delta P, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{де } \Delta P(t) = P_i^*(t) - P_i(t) = \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\omega_{az} & \Delta\omega_{ay} \\ \Delta\omega_{az} & 0 & -\Delta\omega_{ax} \\ -\Delta\omega_{ay} & \Delta\omega_{ax} & 0 \end{pmatrix}.$$

З рівняння (19) випливають диференційні рівняння для кутових похибок  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  платформи, надані в матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} 0 & \dot{\alpha} & \dot{\gamma} \\ -\dot{\alpha} & 0 & \dot{\beta} \\ -\dot{\gamma} & -\dot{\beta} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \alpha & \gamma \\ -\alpha & 1 & \beta \\ -\gamma & -\beta & 1 \end{pmatrix} P_i - P_i \begin{pmatrix} 1 & \alpha & \gamma \\ -\alpha & 1 & \beta \\ -\gamma & -\beta & 1 \end{pmatrix} - \Delta P. \quad (20)$$

Якщо перейти від матричного виразу (20) до скалярних виразів, то одержимо:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= \gamma\omega_{a\xi} + \beta\omega_{a\eta} + \Delta\omega_{az}; \dot{\beta} = -\alpha\omega_{a\eta} - \gamma\omega_{a\xi} + \Delta\omega_{ax} \\ \dot{\gamma} &= -\alpha\omega_{a\xi} + \beta\omega_{a\zeta} - \Delta\omega_{ay}. \end{aligned} \quad (21)$$

Підставляючи в (21) співвідношення (10), що лінеаризовані, щодо величини ексцентриситету значення  $\omega_{a\xi}$ ,  $\omega_{a\eta}$  та  $\omega_{a\zeta}$ , остаточно одержуємо:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= \left( \frac{W_\xi}{a+h} + \Omega \cos B \right) \beta - \frac{W_\eta \gamma}{a+h} + \frac{tgB \Delta W_\xi}{a+h} + \\ &+ \left( \frac{W_\xi (1+tg^2 B)}{a+h} + \Omega \cos B \right) \Delta B - \frac{W_\xi tgB \Delta h}{(a+h)^2} + \omega_{e3}; \end{aligned}$$

$$\dot{\beta} = - \left( \frac{W_\xi}{a+h} + \Omega \cos B \right) \alpha - \left( \frac{W_\xi tgB}{a+h} + \Omega \sin B \right) \gamma - \quad (22)$$

$$- \Delta W_\eta / (a+h) + W_\eta \Delta h / (a+h)^2 + \omega_{e1};$$

$$\dot{\gamma} = \Omega \sin B \Delta B + W_\xi \Delta h / (a+h)^2 - \omega_{e2} +$$

$$+ \frac{W_\eta \alpha}{a+h} + \left( \frac{W_\xi tgB}{a+h} + \Omega \sin B \right) \beta - \frac{\Delta W_\xi}{a+h}.$$

Отримуємо рівняння похибок шляхових швидкостей:

$$\Delta W_\xi = W_x^* - W_\xi, \Delta W_\eta = W_y^* - W_\eta, \Delta W_\zeta = W_z^* - W_\zeta.$$

З (14) випливає, що проекції  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  вектора  $\bar{a}$  позірного прискорення є такими:

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \alpha & \gamma \\ -\alpha & 1 & \beta \\ -\gamma & -\beta & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_\xi \\ a_\eta \\ a_\zeta \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Реальні показання  $a_x^*$ ,  $a_y^*$  та  $a_z^*$  акселерометрів будуть дорівнювати:

$$a_x^* = a_x + a_{bx}, a_y^* = a_y + a_{by}, a_z^* = a_z + a_{bz}, \quad (24)$$

де  $a_{bx}$ ,  $a_{by}$ ,  $a_{bz}$  – інструментальні похибки акселерометрів.

На підставі (23) та (24) похибки у вимірюванні наданих прискорень можна представити виразами:

$$\Delta a_\xi = a_x^* - a_\xi = \alpha a_\eta + \gamma a_\zeta + a_{bx},$$

$$\Delta a_\eta = a_y^* - a_\eta = -\alpha a_\xi + \beta a_\zeta + a_{by}, \quad (25)$$

$$\Delta a_\zeta = a_z^* - a_\zeta = -\gamma a_\xi - \beta a_\eta + a_{bz}.$$

Шляхом лінеаризації рівнянь (1) щодо малих величин:  $\Delta a_\xi$ ,  $\Delta a_\eta$ ,  $\Delta a_\zeta$ ,  $\Delta W_\xi$ ,  $\Delta W_\eta$ ,  $\Delta W_\zeta$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta$ , та  $e$ , враховуючи (11) – (13) та (25), отримуємо диференційні рівняння:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{W}_\xi &= a_\eta \alpha + a_\zeta \gamma + \frac{tgB W_\eta - W_\zeta}{a+h} \Delta W_\xi + \frac{W_\xi tgB}{a+h} \Delta W_\eta + \\ &+ 2\Omega \Delta W_\eta \sin B - \left( \frac{W_\xi}{a+h} + 2\Omega \cos B \right) \Delta W_\zeta + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \left( 2\Omega \sin B W_\zeta + \frac{W_\eta W_\xi (1+tg^2 B)}{a+h} + 2W_\eta \Omega \cos B \right) \Delta B - \\ &- W_\xi (tgB W_\eta - W_\zeta) / (a+h)^2 \cdot \Delta h + a_{ex}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{W}_\eta &= -a_\xi \alpha + a_\zeta \beta - \left( \frac{2W_\xi tgB}{a+h} + 2\Omega \sin B \right) \Delta W_\xi - \\ &- \frac{W_\zeta}{a+h} \Delta W_\eta - \frac{W_\eta}{a+h} \Delta W_\zeta - \frac{W_\xi^2 (1+tg^2 B)}{a+h} \Delta B - \\ &- 2W_\xi \Omega \cos B \cdot \Delta B + \frac{W_\eta W_\zeta + W_\xi^2 tgB}{(a+h)^2} \Delta h + a_{ey}; \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{W}_\zeta &= -a_\eta \beta - a_\xi \gamma + \left( \frac{2W_\xi}{a+h} + 2\Omega \cos B \right) \Delta W_\xi + \frac{2W_\eta}{a+h} \times \\ &\times \Delta W_\eta - 2\Omega \sin B W_\xi \Delta B + \left( \frac{2ga^2}{(a+h)^3} - \frac{W_\eta^2 + W_\xi^2}{(a+h)^2} \right) \Delta h + a_{ez}. \end{aligned}$$

Проведемо лінеаризацію рівнянь виразу (2) та отримусемо диференціальні рівняння для  $\Delta B$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta h$ :

$$\Delta \dot{L} = \frac{\Delta W_{\xi}}{(a+h) \cos B} + \frac{W_{\xi} \sin B \Delta B}{(a+h) \cos^2 B} - \frac{W_{\xi} \Delta h}{(a+h)^2 \cos B}; \quad (27)$$

$$\Delta \dot{B} = \Delta W_{\eta} / (a+h) - W_{\eta} \Delta h / (a+h)^2; \quad \Delta \dot{h} = \Delta W_{\zeta}.$$

Сукупність з дев'яти диференціальних рівнянь (22), (26) та (27) із фазовими координатами:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta W_{\xi}$ ,  $\Delta W_{\eta}$ ,  $\Delta W_{\zeta}$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta L$  та  $\Delta h$  є лінійною моделлю похибок ІНС розглянутого типу.

Вхідними сигналами до системи є інструментальні похибки гіроскопів:  $\omega_{вх}$ ,  $\omega_{ву}$ ,  $\omega_{вz}$  та акселерометрів  $a_{вх}$ ,  $a_{ву}$ ,  $a_{вz}$ . Початкові умови:  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\Delta W_{\xi 0}$ ,  $\Delta W_{\eta 0}$ ,  $\Delta W_{\zeta 0}$ ,  $\Delta B_0$ ,  $\Delta L_0$ ,  $\Delta h_0$  залежать від точності початкового виставлення ІНС.

Застосування описуваної співвідношеннями (2), (26) і (27) лінійної моделі похибок ІНС, для кількісної оцінки досліджуваних характеристик, вимагає опису вхідних до неї значень:  $a_{вх}(t)$ ,  $a_{ву}(t)$ ,  $a_{вz}(t)$ ,  $\omega_{вх}(t)$ ,  $\omega_{ву}(t)$ ,  $\omega_{вz}(t)$  або як детермінованих функцій часу, або у вигляді реалізації випадкових процесів. Зазначені похибки визначаються безліччю різноманітних факторів і у загальному випадку носять випадковий характер.

Кутова швидкість  $\omega_{в}(t)$  дрейфу двоступеневого, або однієї з осей триступеневого гіроскопа, у реальних умовах роботи є випадковою функцією часу й може розглядатися [6] як випадковий процес виду:

$$\omega_{в}(t) = \omega_{в0} + \omega_{в1}(t), \quad (28)$$

де  $\omega_{в0}$  – постійна складова дрейфу гіроскопа;  $\omega_{в1}$  – флуктуаційна складова дрейфу гіроскопа.

Для опису повного дрейфу гіроскопа найбільш коректним є надання його у вигляді реалізації стаціонарних випадкових процесів із нульовими математичними сподіваннями та кореляційною функцією:

$$K_{\zeta}(\tau) = \sigma_{\zeta 0}^2 + \sigma_{\zeta 1}^2 e^{-\mu_{\zeta} |\tau|}, \quad \tau = t_2 - t_1, \quad (29)$$

де  $\sigma_{\zeta 0}^2$ ,  $\sigma_{\zeta 1}^2$  – дисперсії постійної складової дрейфу гіроскопа та флуктуаційної складової дрейфу гіроскопа;  $\mu_{\zeta}$  – коефіцієнт згасання кореляційної функції.

Величина систематичного дрейфу конкретного екземпляру гіроскопа є практично постійною і незначно змінюється від запуску до запуску приладу, що дозволяє описати її у вигляді стохастичного диференційного рівняння [4]:

$$\dot{\omega}_{\zeta 0} = 0, \quad \omega_{\zeta 0}(t_0) = \omega_{\zeta 0}(0) \in N(0, \sigma_{\zeta 0}). \quad (30)$$

Флуктуаційну складову  $\omega_{в1}(t)$  дрейфу гіроскопа, яка є стаціонарним гаусовим випадковим процесом, можна трактувати як вихідний сигнал ланки з передатною функцією  $W(p) = \sqrt{2\sigma_{\zeta 1}^2 \mu_{\zeta}} / (p + \mu_{\zeta})$ , на вхід якої надходить білий шум  $\eta'(t)$  з одиничною спектральною щільністю.

З останнього зрозуміло, що стаціонарний процес  $\omega_{в1}(t)$  можливо представити у вигляді стохастичного диференційного рівняння першого порядку:

$$\dot{\omega}_{\zeta 1} = -\mu \omega_{\zeta 1} + \sqrt{2\sigma_{\zeta 1}^2 \mu} \eta' = -\mu \omega_{\zeta 1} + \eta; \quad (31)$$

$$\omega_{\zeta 1}(t_0) = \omega_{\zeta 1}(0) \in N(0, \sigma_{\zeta 1}),$$

де  $\eta = \sqrt{2\sigma_{\zeta 1}^2 \mu} \eta'$  – інтенсивність безперервного білого шуму.

Для типових ІНС і узагальнених траєкторій руху ЛА граничні ( $3\sigma$ ) значення коефіцієнтів, що входять у (31), можна приблизно припускати рівними:

$$3\sigma_{\tau 1} = 0,55 \dots 0,9^0 / (z \cdot g) \text{ та } \mu_{\tau}^{-1} = 15 \dots 45 \text{ хв.}$$

Розкид значень  $\sigma_{\tau 1}$  і  $\mu_{\tau}^{-1}$  пояснюється тим, що дрейфи гіроскопів збільшуються не тільки з часом, але і з ростом перевантажень на маршруті. Для маневрових маршрутів  $\sigma_{\tau 0}$  і  $\sigma_{\tau 1}$  приймають більші значення, а величина  $\mu_{\tau}^{-1}$ , яку можна трактувати як часовий радіус кореляції, зменшується [11].

Отже, похибки акселерометрів у загальному випадку можна уявити [3] незалежними білими шумами з інтенсивностями  $2\sigma_{a1}^2 \mu_a^{-1}$ .

Як і для гіроскопів, граничні ( $3\sigma$ ) значення коефіцієнтів  $\sigma_{a1}$  та  $\mu_a^{-1}$  типових акселерометрів можна приблизно припустити [2] рівними:

$$3\sigma_{a1} = 1,1 \cdot 10^{-3} \dots 1,2 \cdot 10^{-3} n_{\text{ср}g}, \quad \mu_a^{-1} = 5 \dots 10 \text{ хв,}$$

де  $n_{\text{ср}}$  – середнє перевантаження на маршруті.

## Висновки

Таким чином, запроповану математичну модель похибок ІНС складає сукупність співвідношень, що отримані (22), (26), (27), (28), (30), (31).

Ефективність компенсації зростаючих з часом функціонування похибок ІНС залежить від того, наскільки точно апріорно відомі чисельні значення дрейфів гіроскопів і похибок акселерометрів. Адекватність запропонованої математичної моделі похибок ІНС реальним процесам буде підтверджена результатами імітаційного моделювання з використанням нелінійної моделі формування похибок ІНС.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля / Каретников В.В., Пашенко И.В., Соколов А.И., Кузнецов И.Г. // Морская радиоэлектроника. – 2015. – № 2 (52). – С. 24-27.
2. Соловьев И. Морская радиоэлектроника / И. Соловьев. – Санкт-Петербург: Политехника, 2003. – 185 с.
3. Rogers, R.M. (2003), "Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems", AIAA Educational Series, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, Reston, VA.
4. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. (2007), "Global Positioning Systems, Inertial navigation and integration", Wiley, New York.
5. Алешин Б.С. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Б.С. Алешин, К.К. Веремченко. – М.: Наука, 2006. – 424 с.
6. Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)". Vol 5. NP 285. 2000. – 338 p.
7. Герасимов С.В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів

- радіотехнічних систем морського транспорту / С.В. Герасимов, Ю.Є. Шапран, В.В. Кірвас // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 4 (52). – С. 5-10.
8. Басов В.Г. Измерительные сигналы и функциональные устройства их обработки / В.Г. Басов. – Минск, 2013. – 119 с.
  9. Norman Friedman (2006), “*The Naval Institute Guide to World Naval Weapon System*”, *Naval Institute Press*, 858 p.
  10. Страхов А.Ф. Автоматизированные измерительные комплексы / А.Ф. Страхов. – М.: Энергоиздат, 1990. – 216 с.
  11. Герасимов С.В. Модель похибок навігації в аномальному гравітаційному полі Землі / С.В. Герасимов, Д.В. Макаруч, О.І. Костенко // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2018. – № 3(57). – С. 109-114. – DOI: 10.30748/zhups.2018.57.16.
  12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
  13. Borisenko M.V., Gerasimov S.V., Kostenko O.I., Makarchuk D.V. (2018), Development of optimum navigation information processing algorithm, *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 3(32), pp. 38-44. – DOI: 10.30748/nitps.2018.32.06.
  14. Qriffsiths B.E. Optimal control of jump-linear gaussian systems / B.E. Qriffsiths, K.A. Loparo // *Int. J. of control*. – Vol. 42, No. 4. – 1985. – P. 791-819.
  15. Герасимов С.В. Методика обґрунтування номенклатури параметрів контролю радіотехнічних систем і призначення їх допустимих відхилень / С.В. Герасимов, В.В. Грідіна // Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 2 (153). – С. 159-164. – DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2018.153.20>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 11.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Особенности определения точности измерений инерциальных приборов определения координат

В. В. Герасимов, А. В. Коломийцев, В. В. Пустоваров

В статье показано, что в основу функционирования существующих приборов инерциальных навигационных систем летательных аппаратов положено свойство быстро оборачиваемых гироскопов хранить неизменным направление оси вращения в пространстве (гироскопический эффект). При этом, в общем случае, погрешности гироскопических устройств (приборов) зависят как от их конструкции, так и от условий их работы. Обоснована актуальная научная задача – проведение анализа особенностей определения точности измерений инерциальных навигационных систем при расчете координат летательного аппарата. Приведено, что известный метод частичной компенсации погрешностей измерений аналитическим путем на основе вычисления их значений, является несовершенным. Предлагается для вычисления и дальнейшей компенсации погрешностей навигационных измерений разработать математическую модель погрешностей инерциальных навигационных систем. Такая модель аналитически описывает связь между входными погрешностями инерциальных навигационных систем, обусловленными недостатками гироскопов и акселерометра, и ее исходными погрешностями в определении координат летательного аппарата. Предложены три составляющие математической модели – блоки расчета координат летательного аппарата. Получена совокупность аналитических соотношений, которая составляет предложенную математическую модель погрешностей инерциальных навигационных систем. Обоснованно, что диапазон исходных погрешностей инерциальных навигационных систем является небольшим, что позволяет применить для исследования динамику погрешностей известные методы линеаризации функций. Рассмотрена динамика образования погрешностей в блоке вычисления угловых скоростей и моментов. Эффективность компенсации растущих со временем функционирования погрешностей инерциальных навигационных систем зависит от того, насколько точно априорно известны численные значения дрейфов гироскопов (постоянной и флуктуационной составляющих) и погрешностей акселерометра. Дальнейшие исследования предлагается направить для проверки адекватности предложенной математической модели погрешностей инерциальных навигационных систем реальным процессам с помощью результатов имитационного моделирования с использованием нелинейной модели формирования погрешностей.

**Ключевые слова:** инерциальная навигационная система, летательный аппарат, измерение, точность, координаты.

### Features of determination of exactness of measuring of inertial devices of determination of coordinates

S. Herasimov, O. Kolomiitsev, V. Pustovarov

It is shown in the article, that property of the quickly turned gyroscopes to keep unchanging direction of axis of rotation in space (gyroeffect) is fixed in basis of functioning of existent devices of inertial navigators of aircrafts. Thus, in general case, the errors of gyroscopic devices (devices) depend both on their construction and from the terms of their work. An actual scientific task is reasonable is realization of analysis of features of determination of exactness of measuring of inertial navigators at the calculation of coordinates of aircraft. It is resulted, that the known method of partial indemnification of errors of measuring an analytical way on the basis of calculation of their values, is imperfect. It is suggested for a calculation and further indemnification of errors of the navigation measuring to work out the mathematical model of errors of inertial navigators. Such model analytically describes connection between the entrance errors of inertial navigators, conditioned lacks of gyroscopes and accelerometer, and her initial errors in determination of coordinates of aircraft. Offered three constituents of mathematical model are blocks of calculation of coordinates of aircraft. The aggregate of analytical correlations, that makes the offered mathematical model of errors of inertial navigators, is got. Reasonably, that a range of initial errors of inertial navigators is small, that allows to apply for research the dynamics of errors the known methods of linearizing of functions. The dynamics of formation of errors is considered in the block of calculation of anglators and moments. Efficiency of indemnification growing in course of time functioning of errors of inertial navigators depends on that, as far as exactly the numeral values of displacement gyroscopes (permanent and fluctuation constituents) and errors of accelerometer are known a priori. Further researches it is suggested to direct for verification of adequacy of the offered mathematical model of errors of inertial navigators to the real processes by means of results of imitation design with the use of nonlinear model of forming of errors.

**Keywords:** inertial navigator, aircraft, measuring, exactness, coordinates.



А. О. Зуєв

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМПАКТНОГО ЗБЕРІГАННЯ ПОЛІВ ВИСОТ У ГІС ТА ІМІТАЦІЙНО-ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСАХ БПЛА

Метою статті є розробка та дослідження методу компактного зберігання полів висот описують реальні ландшафти, які використовуються в ГІС та імітаційно-тренажерних комплексах. Визначено величини необхідної дискретизації поля для імітаційно-тренажерного комплексу. Розглянуто метод блочного кодування і декодування поля висот, який дозволяє обробляти як поодинокі, так і групові запити висот без повного декодування поля. Запропоновано практичну реалізацію алгоритму побудови безлічі векторів, які кодують поле з мінімальною похибкою. При проведенні дослідження шляхів мінімізації похибки кодування, використовувалися методи кластерного аналізу. Використання запропонованих методів дозволяє створити програмне забезпечення як для бортового комп'ютера ГІС БПЛА і наземної станції управління, так і для імітаційно-тренажерного комплексу що може бути використаний для підготовки операторів і попереднього моделювання польотного завдання в реальному масштабі часу. Проведено аналіз розподілу похибки кодування полів, наведено розподіл величин похибки по площі поля для різних типів ландшафтів. Показано швидкодію функції запиту висот для різних типів реальних ландшафтів, модель яких була синтезована за даними радіолокаційного сканування Землі.

**Ключові слова:** ГІС, імітаційно-тренажерні комплекси, БПЛА, поля висот, кодування даних, ландшафти, кластерний аналіз.

### Вступ

Поля висот широко застосовуються як в ГІС так і в імітаційно-тренажерних комплексах, так як мають ряд переваг: однакове представлення усіх ділянок ландшафту, вони можуть бути отримані як результат радіолокаційного або лідарного сканування. Зберігання висот у вигляді рівномірного масиву (поля) висот дозволяє максимально прискорити процес обчислення висоти в заданій точці. Але таке представлення має також очевидний недолік - квадратичну залежність обсягу пам'яті, яка необхідна для зберігання поля, від його розмірів в горизонтальній площині. Зменшити обсяг пам'яті необхідної для зберігання поля можна, наприклад зменшивши дискретизацію, але це веде до значної втрати точності передачі контурів ландшафту, зникнення дрібних деталей, появі різноманітних артефактів.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми** В роботі [1] розглянуто метод реконструювання полів висот за допомогою фракталів. Такий тип реконструювання дозволяє значно скоротити обсяг даних що описують поле (більш ніж у 10 разів), але придатен для реконструювання таких ландшафтів, що натурально мають фрактальну структуру. Це утруднює або унеможлиблює реконструкцію ландшафтів які мають багато артефактів, саме такі що необхідні для імітаційно-тренажерного комплексу БПЛА який застосовується для моніторингу об'єктів електроенергетики.

В [2] наведено метод інтерактивного редагування ландшафту стисненого за допомогою вейвлетів. В статі розглянуто стиснення як для даних що описують висоти ландшафту, так і кольорової компоненти поверхні ландшафту. Опис ландшафту розділяється на високочастотну та низькочастотну частини, які кодуються незалежно за допомогою DWT перетворення, після чого проводиться стиснення методом Хафману реалізованим на GPU. На-

ведений метод в першу чергу призначений для кодування колірної складової і мінімізації операцій обміну даними між GPU і CPU в процесі редагування. А для полів висот не наведено величин одержуваних похибок кодування.

Автори у [3] наводять метод стиснення полів висот в якому декомпресія досягається за допомогою кривих Безье на які накладається корегуючий шар даних. Цей метод дозволяє декодувати висоті для окремих точок ландшафту, та може бути реалізований на GPU або CPU.

Метод може кодувати поля висот з втратами і без втрат. Максимальна абсолютна похибка становить 2 м, а середня менш ніж 0,4 м. Але даний метод обчислювально-складний (потребує близько 80 операцій з плаваючою комою та 20 цілочисельних операцій). Для цього методу потрібно щоб поверхня поля висот була досить гладкою, інакше апроксимація у вигляді кривих Безье буде давати значну похибку і буде потрібен великий обсяг коригувальних даних, що призведе до зниження величини стиснення поля. Адаптивна декомпресія, яка використовується в даному методі є надмірною для моделювання низьковисотних польотів БПЛА.

В [4] розглянуто метод з лінійним передбаченням та стиснення бітового потоку за допомогою RVC кодів. При цьому кожна частка ландшафту декодується послідовно за допомогою геометричної мікропрограми. Але цей метод не дозволяє декодувати окремі точки поля висот. Інший підхід до стиснення полів висот запропоновано в [5], він базується на загальновідомому алгоритмі стиснення LZ77. Метод реалізовано за допомогою API CUDA, але недоліком такого методу є те що він працює в одномірному просторі, і не може виконувати запити висот у полі, без його повного декодування.

Метод WАН, та його реалізація на GPU, наведений в [6] застосовує растрове розширення та стиснення. Але цей метод не бере до уваги просторовий

аспект ландшафтних даних, та для обробки запиту висот потрібна повна декомпресія поля. Ще один метод [7], який базується на застосуванні R-дерев, може бути застосовано для стиснення полів висот. Авторами наведено оптимальну реалізацію R-дерев, за допомогою лінійного масиву, що забезпечує ефективну передачу даних. Але як і у попередніх методах не розглядається проблема стиснення та адресації двомірних масивів даних.

Таким чином можна зазначити що значним недоліком майже всіх розглянутих методів є відсутність можливості індивідуального запиту висоти, який є одним з ключових моментів у функціонуванні різноманітних підсистем імітаційно-тренажерного комплексу БПЛА або ГІС.

В статті розглядається вдосконалений метод [8], стиснення полів висот, який може бути застосовано як в імітаційно-тренажерних комплексах різноманітного напрямку, так і у ГІС та навігаційних системах, як джерело даних що описують поверхню ландшафту.

**Метою статті** є розробка і дослідження методу стиснення та компактного зберігання полів висот, цифрові моделі яких отримано за результатами сканування земної поверхні. Метод також повинен забезпечувати обробку групових та поодиноких запитів висот, забезпечуючи швидкодію порівнянну з аналогічними запитами з некодованого поля.

## Результати досліджень

**1. Метод стиснення полів висот.** Потрібна величина дискретизації поля значно залежить від перепаду висот. При величині дискретизації по вертикалі менше за 5 см помітних візуальних артефактів на ландшафті не спостерігається. Вважаючи, що діапазон висот ландшафтів, притаманних для рівнинній та пагористої місцевості становить менше ніж  $\Delta H = 100$ , кількість рівнів  $N$ , яка необхідна для зберігання висоти з дискретизацією  $d = 0,05$  м становитиме 2000. А кількість біт необхідних для такого представлення висоти становить 11.

Загальною властивістю полів висот які описують реальні ландшафти, є відносна плавність зміни висоти, але варто врахувати, що штучні споруди, різні інженерні спорудження можуть вносити різкі перепади до структури поля.

Таким чином для моделювання дрібних деталей ландшафту необхідна дискретизація, не більш ніж 0,5 м.

Для кодування все поле висот розбивається на блоки розміром 4x4 висоти, таким чином кожен блок складається з 16 висот - множина  $h_i$  і кодується незалежно від інших, за допомогою наступного алгоритму:

1) Визначається мінімальна і максимальна висоти в блоці:

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \min(h_0, h_1, \dots, h_{15}); \\ h_{\max} &= \max(h_0, h_1, \dots, h_{15}). \end{aligned} \quad (1)$$

2. Розраховуються чотири опірні висоти для кодування блоку  $h_i^c$ .

3. Для кожної  $h_i$  вибирається відповідна їй висота кодування  $h_j^c$  така, що дає мінімальну помилку при заміні:

$$|h_i - h_j^c| \rightarrow \min. \quad (2)$$

4. Формується блок кодів висот. Для чого використовується двобітний код, відповідно для опорних висот коди є наступними:

$$h_0^c = \{00\}, h_1^c = \{01\},$$

$$h_2^c = \{10\}, h_3^c = \{11\}.$$

5. Синтезується стиснений блок, що складається з двох опорних висот  $h_0^c$  і  $h_3^c$ , і блоку кодованих висот.

Якщо висота представлена 16 бітами, розмір одного кодованого блоку дорівнює 64 біта, при цьому еквівалентний некодований блок займає 256 біт.

**2. Декодування висот.** При визначенні висоти для поля ширина якого сягає  $w_b$  (в блоках), в точці з координатами  $x$  і  $z$  необхідно проводити декодування блоку наступним чином:

1) Визначається номер блоку  $n_b$ , до якого належить точка, в якій необхідно визначити висоту:

$$n_b = x/4 + w_b \cdot (z/4). \quad (3)$$

2) Обчислюється номер кодової висоти  $n_h$  в блоці:

$$n_h = x \bmod 4 + 4 \cdot (z \bmod 4). \quad (4)$$

3) Відновлюється висота в точці. Для цього обчислюються опорні висоти, що використовувалися для кодування  $h_i^c$  виходячи з виразу (4), знаючи що  $h_{\min} = h_0^c$ , а  $h_{\max} = h_3^c$ , висоти  $h_0^c$  і  $h_3^c$  можна не відновлювати - вони вже обчислені і записані на початку блоку. За номером вибирається необхідна опорна висота.

Величина похибки, що виникає при кодуванні блоків поля висот може бути розрахована за такою формулою:

$$e = \frac{1}{S} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{S-1} (h_i^o - h_i^d)^2}, \quad (5)$$

де  $S$  - площа поля висот;  $h_i^o$ ,  $h_i^d$  - висоти вихідного та відновленого поля висот, відповідно.

З (5) випливає, що похибка тим більше, чим більший діапазон висот що входять у блок і чим більше нерівномірність розподілу висот всередині блоку. Для досліджених ландшафтів (Україна, Харківська область, частини Харківського та Зміївського районів), середня похибка кодування знаходиться в діапазоні від 0,15 до 0,12%.

Таким чином, розподіл висот відповідно до виразу (4) у більшості випадків не є оптимальним для кодування, середня величина похибки коду-

вання досить велика і для ландшафту з діапазоном висот в 100 м становить понад 10 см, а максимальна величина похибки кодування досягає приблизно 120 см.

**3. Аналіз шляхів зменшення похибки кодування блоків висот** Якщо використовувати вираз (4), то з найменшою похибкою будуть кодуватися блоки, що містять відносно плавний перепад висот від мінімуму до максимуму.

Лінійний розподіл висот всередині блоку для моделей реальних ландшафтів зустрічається відносно рідко, тому для зменшення похибки доцільно використовувати розподіл опорних висот який кодує блок з мінімальною можливою похибкою. Для цього необхідно задавати індивідуальний розподіл (набор зсувів) опорних висот всередині блоку. Для цього в кожному блоці, необхідно зберігати індекс  $i$ , який адресує вектор зсувів, що було використано при кодуванні блоку. Формат кодованого блоку наведено на рис. 1.

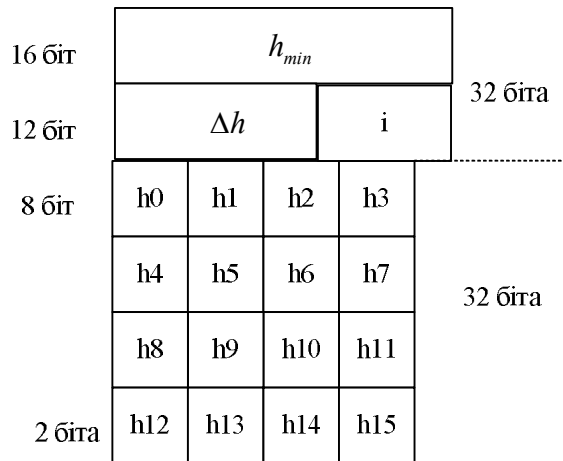


Рис. 1. Індексований блок кодованих висот

Відповідні вектори зберігаються в окремій таблиці, попередньої до опису поля висот. Кожен вектор має розмірність 4 і містить коефіцієнти, які використовуються для обчислення відповідної опорної висоти.

Як було показано вище, для завдання однієї висоти ландшафту досить використовувати менше ніж 12 біт. Таким чином, зберігаючи мінімальну висоту (12-16 біт) і різницю між максимальною і мінімальною висотою в блоці  $\Delta h$  (8-12 біт), а також індекс вектору зсувів, можливо декодувати блок.

Розглянемо процес зменшення розрядності величин  $h_{min}$  і  $\Delta h = h_{max} - h_{min}$ . Для перетворення висоти з 16-ти бітного подання до 12-ти бітного, використовуємо такі перетворення:

$$h'_{min} = \lfloor h_{min} / 2^4 \rfloor, \Delta h' = \Delta h + (h_{min} \bmod 2^4), \quad (6)$$

де  $\lfloor \rfloor$  - операція відсікання до найближчого меншого цілого числа.

Такий спосіб мінімізує помилку округлення, що позитивно позначається на величині максимальної похибки кодування.

Значення опорних висот обчислюються таким чином:

$$h_j^c = h'_{min} + \Delta h' \cdot f_i(j), \quad (7)$$

де  $i$  – індекс вектора для інтерполяції, а  $j$  – номер опорної висоти;  $f_i(j)$  – величина коефіцієнта  $i$ -го вектора для  $j$ -ої висоти.

При кодуванні блоку відповідно до виразу (7) спочатку здійснюється вибір вектора зсувів який дає найменшу похибку кодування. Далі блок кодується за допомогою обраного вектора і його номер записується у відповідне поле блоку.

**4. Синтез набору векторів що використовуються для кодування.** Для відшукування набору з векторів, що дозволяють найкращим чином (з найменшою похибкою) закодувати поле висот необхідно обчислити оптимальний вектор для кожного блоку, після чого вибрати підмножину з 256 ( $2^8$ ) векторів, таких щоб похибка кодування була найменшою.

Для визначення оптимального вектора для кодування блоку використовується такий алгоритм:

1. Створюється гістограма розподілу висот всередині блоку.

2. Якщо кількість стовпчиків гістограми менше або дорівнює 4 (4 - максимальна кількість опорних висот), то найкращими висотами для побудови вектора будуть висоти відповідні до положення цих стовпчиків, і робота алгоритму закінчена.

3. Інакше, визначається два найближчі стовпчика в гістограмі  $A$  і  $B$ , з висотами  $H_A$  і  $H_B$  відповідно. Вони замінюються одним стовпчиком  $C$ , розташованим між ними, висота якого дорівнює

$$H_C = (H_A + H_B) / 2.$$

Параметр, що характеризує положення стовпчика  $C$ , обчислюється таким чином:

$$X_C = X_A \cdot \frac{H_A}{H_A + H_B} + X_B \cdot \frac{H_B}{H_A + H_B}, \quad (8)$$

де  $X_A, X_B$  - положення стовпчиків  $A$  і  $B$  на гістограмі.

4. Повторюється крок (2) до тих пір, доки кількість стовпчиків у гістограмі не стане рівним чотирьом.

Припустимо, що після роботи алгоритму вийшло 4 стовпчики  $D_0, D_1, D_2, D_3$  з положенням у гістограмі  $X_0 \leq X \leq X_2 \leq X_3$  відповідно, тоді коефіцієнти вектора  $f_i(j)$  можна обчислити за формулою:

$$f_i(j) = \frac{(X_j - h_{min})}{\Delta h}. \quad (9)$$

Для вибору множини найкращих 256 векторів, що кодують поле, з мінімальною похибкою, за допомогою методу кластерного аналізу, наприклад методом К-середніх [9]:

1. Вибирається набір з  $K$  довільних, різних векторів вихідної послідовності, які будуть початковими центрами кластерів.

2. Групується всі вектори вихідної послідовності по обраним на кроці (1)  $K$  кластерам, залежно від величини відстані:

$$d_{i,c} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=0}^3 |f_i(j) - f_c(j)|, \quad (10)$$

де  $i$  - номер вектора у вихідній послідовності;  $c$  - номер кластера.

Вектор  $i$  належить кластеру  $c$ , в тому випадку, якщо значення  $d_{i,c}$  для даного вектора мінімально можливе.

3. Розраховуються нові центри кластерів, як середнє арифметичне значень  $f_c(j)$  для всіх векторів які входять до кластеру.

4) Повторюється крок (2) до тих пір, поки вектори не перестануть пересуватися з одного кластера в інший, або кількість таких пересувів не стане менше певної величини.

Для роботи наведеного алгоритму приймемо коефіцієнт  $K$ , рівним 256 - максимальній кількості допустимих векторів (якщо індекс кодується 8 бітами). Після закінчення роботи алгоритму, оптимальними векторами будуть центри отриманих кластерів.

За основу для моделювання ландшафту взято ділянку ЛЕП 330 КВ, яка розташована між селами Яковлівка-Костянтівка (Харківська область, Україна) протяжністю ~12 км. Аналіз гістограми розподілу похибок показав що переважна більшість похибок (більше 90%) зосереджені в області малих значень. Кількість висот які декодовані з похибкою, яка близька до максимального значення, становить менше ніж 3%.

Результати обчислення похибок кодування наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характер розподілу і величина похибки кодування

№ п/п	% поля висот, для якого похибка менша за поріг, см				Діапазон висот, м
	1	2	5	>5	
1	69,67	17,84	10,81	1,68	50
2	57,92	26,92	13,07	2,09	66
3	64,06	22,43	11,43	2,08	65
4	76,95	17,37	5,05	0,63	54
5	75,45	18,70	5,20	0,65	56

Площа поля висот для якої похибка кодування на якій не перевищує 5 см, становить 97% поля, при цьому частини поля що кодуються з максимальною похибкою розташовані в недоступних або мало доступних частинах ландшафту, розташованих під сильним нахилом до горизонтальної поверхні. Таким чином, використання 256 різних розподілів висот дозволяє зменшити середню похибку більш ніж в 3

рази в порівнянні з лінійним розподілом. Найбільш підходящим для вибору вектора є критерій середньоквадратичної або середньої похибки, які дають найбільшу площу відновленого поля висот з похибкою менше ніж 5 см.

**5. Оцінка швидкодії декодування поля.** Для практичного застосування методу стиснення полів висот та запропонованої СВ ландшафту необхідно оцінити швидкодію функції запиту висоти і величину обчислювальної потужності центрального процесора, яка використовується для побудови сітки трикутників, що представляють ландшафт. Оцінка швидкодії функції запиту висоти для різноманітних типів ландшафту наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінка швидкодії функції запиту висоти

№ п/п	Характер ландшафту	Час декодування всього поля, мс	Групові запити (10 млн.), мс	
			Упаковане	Неупаковане
1	Поле і яр	69	139	102
2	Яр та озеро	64	125	94
3	Населений пункт і поле	63	112	92
4	Ліс і поле	72	147	104
5	Ліс	72	165	107

Для оцінки використалася ПЕОМ з мікропроцесором Intel i5 7500 (3ГГц). Усі обчислення проводилися за допомогою одного ядра процесора, на ландшафтах розміром 4 кв.км з частотою дискретизації по горизонталі 0,5 метра для кодованих та некодованих полів, що містили ідентичні ландшафтні дані (в межах похибки кодування).

Для оцінки швидкодії виконувалось 10 млн. запитів висот які були згруповані наступним чином: обиралося кілька десятків точок, які розташовані на віддаленні до 5 метрів від умовного центру запиту, координати якого були отримані випадково, що фактично імітує реальні запити для транспортних засобів та розміщення об'єктів на ландшафті.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2 показує, що запити з кодованого поля здійснюються не більш ніж на 50% повільніше за некодоване.

## Висновки

1. Обґрунтована необхідність стиснення полів висот для застосування в імітаційно-тренажерних комплексах та ГІС.

2. Запропоновано метод кодування, який дозволяє зменшити об'єм займаного полем висот об'єму ОЗП у 4 рази, що дозволяє або збільшити геометричні розміри поля у горизонтальній площині у 2 рази, або підвищити дискретизацію у 2 рази при незмінному розмірі займаного об'єму ОЗП.

3. Похибка кодування більш ніж на 98% площі ландшафту (в середньому рівнинних областей) залишається менше ніж 5 см.

4. Проведена розробка програмного забезпечення та експериментальні дослідження реалізації

запропонованого методу. Показано що запропонований метод забезпечує достатню швидкість функції запиту висот, для роботи імітаційно-тренажерного комплексу та картографічних ГІС у реальному масштабі часу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Drakopoulos V., Panousopoulos M. Height Field Representation and Compression Using Fractal Interpolation Surfaces. – Chaotic Modeling and Simulation. 2012. Volume 4: pp. 593–600.
2. Treib M., Reichl F., Auer S., Westermann R. Interactive Editing of GigaSample Terrain Fields. - EUROGRAPHICS. 2012, Volume 31, Number 2, pp. 383-392. – doi: 10.1111/j.1467-8659.2012.03017.x.
3. Durdevic D., Tartalja, I. HFPac: GPU friendly height field parallel compression. - Geoinformatica. 2013. 17(1), pp. 207-234. doi: 10.1007/s10707-012-0171-x.
4. Lindstrom P, Cohen JD. On-the-fly decompression and rendering of multiresolution terrain. - Proc. of the ACM SIGGRAPH symp. on Interactive 3D Graphics and Games. 2010. Washington, D.C., USA, February 19-21, pp 65-73.
5. Ozsoy A., Swamy M. CULZSS: LZSS Lossless Data Compression on CUDA. In Proceedings of the IEEE International Conference on Cluster Computing, 2011.
6. Andrzejewski W., Wremberl R. GPU-WAH: Applying GPUs to Compressing Bitmap Indexes with Word Aligned Hybrid. Database and Expert Systems Applications. Lecture Notes in Computer Science 6262. 2010. pp. 315-329.
7. Simin Y., Zhang J., Gruenwald L. Parallel Spatial Query Processing on GPUs using R-Trees. In Proceedings of BigSpatial, 2013.
8. Качанов П.А. Использование методов кластерного анализа для оптимизации процесса кодирования полей высот / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – №23. – С. 85-88.
9. Мандель И.Д. Кластерный анализ/ И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика. 1988. – 176 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. С. Бутенко,  
Національний аерокосмічний університет “ХАІ”, Київ  
Received (Надійшла) 23.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

### Разработка метода компактного хранения полей высот в ГИС и имитационно-тренажерных комплексах БПЛА

А. А. Зуев

Целью статьи является разработка, и исследование метода компактного хранения полей высот описывающих реальные ландшафты, используемые в ГИС и имитационно-тренажерных комплексах. Определены величины необходимой дискретизации поля высот для имитационно-тренажерного комплекса. Рассмотрен метод блочного кодирования и декодирования поля высот, который позволяет обрабатывать как одиночные, так и групповые запросы без полного декодирования поля. Предложена практическая реализация алгоритма построения множества векторов, которые кодируют поле высот с минимальной погрешностью. При проведении исследования путей минимизации ошибки кодирования, использовались методы кластерного анализа. Использование предложенных методов позволяет создать программное обеспечение как для бортового компьютера ГИС БПЛА и наземной станции управления, так и для имитационно-тренажерного комплекса используемого для подготовки операторов и предварительного моделирования полетного задания в реальном масштабе времени. Проведен анализ распределения погрешности при кодировании полей, приведено распределение величин погрешности по площади поля для различных типов ландшафтов. Показано быстрое действие функции запроса высот для различных типов реальных ландшафтов, модель которых была синтезирована по данным радиолокационного сканирования Земли.

**Ключевые слова:** ГИС, имитационно-тренажерные комплексы, БПЛА, поля высот, кодирование данных, ландшафты, кластерный анализ.

### Development of a compact storage method for height fields in GIS and UAV simulation training complexes

A. Zuev

The purpose of the article is development and study of a method of compact storage of height fields representing real landscapes used in GIS and simulation-training complexes. The values of the required height field discretization for the simulation-training complex are determined. A method of block encoding and decoding of a height field, which allows processing both single and group queries without full decoding of the field, is examined. A practical implementation of the algorithm for constructing a set of vectors that encode a height field with a minimum error is proposed. During the research of ways of minimizing encoding errors, cluster analysis methods were used. Proposed methods enable to create software for both, an onboard computer of a GIS UAV and a ground control station, as well as for a simulation-training complex used for training operators and preliminary modeling of a flight task in real time. The analysis of the error distribution of the height field encoding is conducted; the error distribution of values over the area of the field for various landscape types is given. The performance of the height query function for various types of real landscapes, the model of which was synthesized using radar data of the Earth, is shown.

**Keywords:** GIS, simulation training complexes, UAV, height fields, data encoding, landscapes, cluster analysis.

І. В. Остроумов

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ ЗОНАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ

Стаття присвячена питанню позиціонування літального апарату, а саме резервним чи альтернативним до супутникових методам визначення координат місцеположення у просторі. Виконано детальний аналіз сучасних засобів позиціонування за сигналами наземних кутомірних та далекомірних радіомаяків, щодо відповідності вимогам зональної навігації RNP/RNAV. Розглянуті можливі шляхи підвищення точності позиціонування за парами далекомірних радіомаяків. Крім того, проаналізовано можливості мультilaterаційних систем, пасивного використання сигналів далекомірного обладнання, псевдосупутникових та позиціонування засноване на зворотних відстанях, виділено переваги та недоліки кожного з методів. Розроблено загальну класифікацію засобів позиціонування літака з урахуванням перспективних засобів зональної навігації. **Висновки.** На сьогоднішній день методи позиціонування за парами радіонавігаційних засобів є широко розповсюджені, проте їх точність обмежена геометриєю взаємного місцерозташування, що є причиною невідповідності майбутнім вимогам зональної навігації. Відповідно до виконаного аналізу, найбільш перспективними засобами альтернативного позиціонування є застосування мультilaterаційних та псевдосупутникових систем. У той час як пасивне використання DME, MOSAIC чи DivR потребують значних затрат на розбудову наземної мережі та зміну бортового обладнання ПК. Вагомим є застосування цифрових мереж передачі даних, що підтримують функцію позиціонування за наземними станціями.

**Ключові слова:** координати, позиціонування, навігація, повітряний корабель, класифікація.

### Вступ

Відповідно до майбутніх концепцій розвитку авіації, роль глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) у задачах навігації розширюється. Планується широке впровадження комбінованих систем для автоматизації процесів керування повітряним рухом, процесів автоматичного пілотування ПК та інших з використанням послуг GNSS для позиціонування. Широке використання GNSS зумовлено її численними перевагами, серед яких широка зона дії, висока точність та низька вартість послуг. Проте, GNSS є чутливою до впливу інтерференції від інших електронних пристроїв та природних явищ, оскільки космічний сегмент GNSS знаходиться на значній відстані від користувачів. Відповідно, потужність сигналу GNSS у сегменті користувача наднизька і електронне обладнання з достатнім рівнем потужності може повністю завадити позиціонуванню. Окрім того, на ринку доступна велика кількість систем, що здатні створювати завади [1]. Малі габаритні розміри та низька вартість зробили їх популярними для користувачів сьогодні з метою забезпечення власної приватності. Подібні системи порушують законодавство з радіочастотного використання, проте зона їх дії є малою, що унеможливує їх виявлення та блокування. Відповідно до цього, ця проблема є актуальною і залишиться такою найближчим часом. Міжнародне світове авіаційне товариство вже багато років займається проблемою пошуку оптимальних альтернативних до GNSS методів позиціонування задля забезпечення продовження польоту за правилами польотів за приладами у випадку відмови GNSS.

Численні фундаментальні дослідження довели актуальність використання наземних систем зональної навігації у якості альтернативних засобів позиціонування [2-6]. Позиціонування за наземними радіомаяками розглядається як альтернатива супутниковій навігації у глобальних планах розвитку повітряного транспорту [7]. Алгоритми зональної навігації, що

застосовуються на повітряному транспорті сьогодні використовують одночасно лише пару радіомаяків для визначення координат [3, 4], що значно обмежує точність. Питання альтернативних до GNSS засобів позиціонування цивільної авіації розглядалися у працях багатьох вчених. Зокрема, Kim Euiho [8] досліджував інтеграцію позиціонування за парами радіомаяків з мультilaterаційними системами, Lo S. та Enge P. розглядали можливість підвищення точності DME за рахунок сумісної обробки з сигналами ADS-B [9] та пасивні методи використання DME [10]. Han S. [11] проаналізував деякі напрямки розвитку альтернативних методів позиціонування.

**Основною метою статті** є аналіз перспективних засобів зональної навігації, інформація яких може бути використана для позиціонування ПК у якості альтернативи до GNSS з метою забезпечення вимог неперервності інформації, у випадку погіршення точнісних характеристик чи її повної недоступності. Крім того, важливим є розробка загальної класифікації систем позиціонування ПК з урахуванням перспективних засобів зональної навігації.

### Результати аналізу

**Концепція альтернативного позиціонування, навігації та часу.** Відповідно до концепції PBN [12], кожний користувач повітряного простору повинен визначати координати свого місцеположення з певною точністю, необхідною до встановлених норм. Діюча концепція альтернативних методів позиціонування, навігації та визначення часу (APNT) [13] розглядає мережу наземних радіомаяків VOR, NDB, DME, у якості резервних джерел визначення координат літака [4, 5]. Системи VOR, NDB підтримують навігацію від точки до точки та є несумісними з концепцією PBN при діях за RNAV і RNP. Точність позиціонування за кутомірним методом є обмеженою у використанні (у випадку знаходження між радіомаяками) [14] та недостатньою для гарантування вимог RNAV/RNP, що діють сьогодні.

Світова тенденція зросту попиту на авіаційні послуги вказує на стрімкий ріст, що подвоюється кожні 15 років. Збільшення користувачів повітряного простору вносить нові вимоги щодо його використання, а саме накладає нові обмеження щодо точності визначення місцеположення. Тому, у майбутньому, для вирішення проблеми завантаженості повітряного простору, вимоги RNAV/ RNP поступово збільшуватимуться. Очевидним є те, що системи VOR, NDB не задовольнятимуть майбутні вимоги позиціонування, оскільки вони не задовольняють існуючі критерії точності. Отже, капіталовкладення в розвиток наземної інфраструктури VOR/NDB не є доречними, проте існуюча мережа може бути використана у якості резервної до APNT.

З існуючої мережі наземних радіомаяків, лише позиціонування за парами DME/DME відповідають вимогам RNAV/ RNP і будуть сумісними з майбут-

німи навігаційними характеристиками [4, 5]. Окрім того, очікується поява нових систем позиціонування з використанням інфраструктури DME сумісно з появою інноваційних технологій навігації. Одним із таких підходів є позиціонування за багатьма радіомаяками DME/DMEs [6], проте його впровадження потребує змін у бортовому обладнанні та спричинює надмірне навантаження на наземну інфраструктуру. У загальному випадку існуючі та перспективні методи навігації можна класифікувати як показано на рис.1, при цьому доцільно виділити основні та альтернативні групи методів позиціонування відповідно до вимог обладнання авіоники. До основних відносяться GNSS та ІНС. У альтернативних методах можна виділити три основні групи: що ґрунтуються за сигналами наземних радіомаяків, мультилатераційні та псевдосупутникові методи позиціонування.

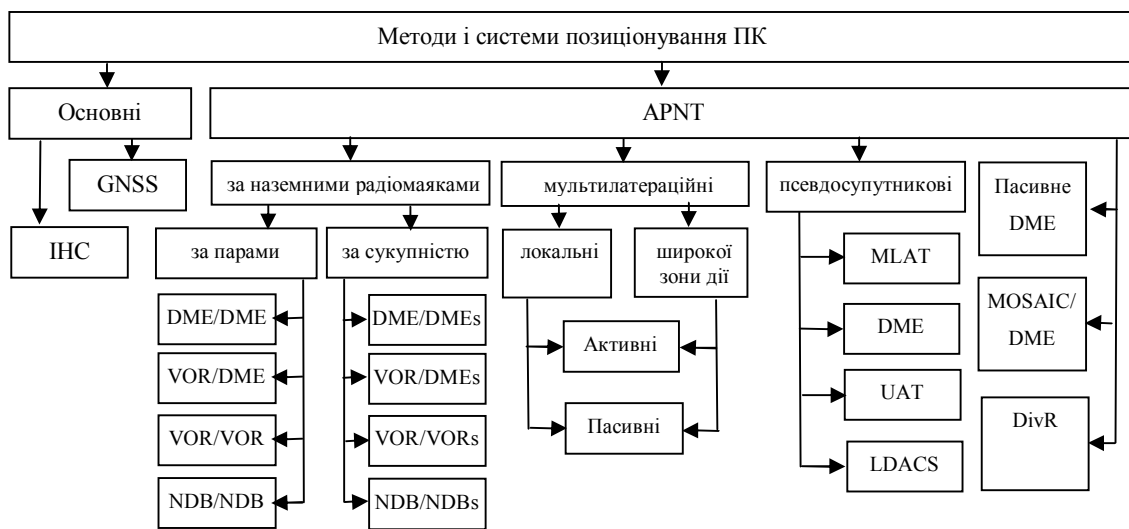


Рис. 1. Класифікація методів та систем позиціонування ПК

Відповідно до документів ICAO, концепція APNT повинна [13]:

- задовольняти майбутні вимогам RNAV/ RNP, що наразі невизначені;
- продовжувати дії за RNAV/ RNP під час зльоту та посадки у випадку неспроможності визначення координат за GNSS;
- задовольняти вимоги RNAV/RNP-2 на маршруті, RNAV/RNP-1-0.3 – для дій у повітряному просторі В та С, RNAV/ RNP -0.3 – під час заходу на посадку, RNAV/ RNP-1 – для перерваного заходу на посадку;
- забезпечувати резервне джерело часу на борту літака для потреб навігації та керування;
- бути резервною до GNSS, проте може не бути еквівалентною за точністю.

**Підвищення точності далекомірного обладнання.** Результати моніторингу мережі наземних радіомаяків DME, виконані компанією Boeing, вказують на багато більшу точність ніж заявляється у міжнародних специфікаціях [15]. Це пов'язано з введенням в дію нових систем DME, що використовують цифрову обробку даних. Проте, поряд з модернізованими системами функціонують і застарілі

зразки техніки.

Одним з наглядних прикладів того, що обладнання насправді є більш точним є похибка часу затримки у наземній станції DME. Відповідно до нормативних документів, максимальне значення не має перевищувати 500 нс. Проте, сучасні дослідження та заяви виробників наземного обладнання вказують на те, що похибка сучасних цифрових систем в дійсності не перевищує 100 нс. Похибка у 500 нс відповідає похибці по дальності у 150 м у два боки. Відповідно, похибка визначення відстані у один бік затверджена на рівні 75 м. Сучасним станціям DME властива похибка часу у 100 нс, що відповідає 15 м [15].

Результати оцінки складових похибки визначення відстані у DME, що притаманні сучасним системам мають такі значення [15]: похибка розповсюдження сигналу у просторі – 80 м; похибка пов'язана з неточним генеруванням сигналу відповіді у наземному радіомаяку – 10 м; похибки затримки сигналу у наземних станції – 30 м; похибка визначення часу у бортовому обладнанні – 3 м; похибка генерування сигналу запиту – 20 м.

**Мультилатераційні системи.** Пасивні мультилатераційні системи (WAM) за довгий час свого

існування зарекомендували себе як точний засіб позиціонування ПК у зоні аеродрому. WAM система складається з певної кількості наземних приймачів сигналів бортових відповідей режиму S та ADS-B. Кожна наземна станція-приймач (НСП) фіксує час прийому сигналу та надсилає його до контрольної станції (рис. 2). Різницево-далекомірні алгоритми у контрольній станції визначають координати ПК за часом фіксації сигналу різними станціями-приймачами. Отримане місцезположення ПК пересилається на борт літака за допомогою сервісу TIS-B, що входить до складу концепції ADS-B.

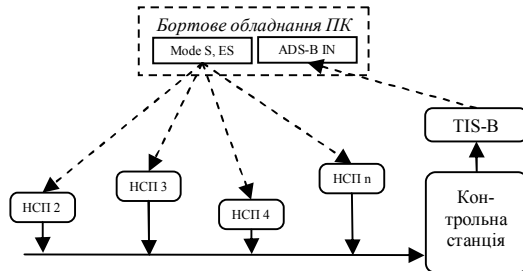


Рис. 2. Визначення місцезположення ПК за пасивною мультilaterаційною системою

У концепції APNT зона дії WAM розширюється. Передбачається встановлення великої кількості станцій-приймачів, що забезпечуватимуть позиціонування у всьому контрольованому просторі.

**Позиціонування за пасивним використанням мережі DME.** Пасивний метод позиціонування та визначення відстаней (DMPR) ґрунтується на використанні фундаментальних принципів функціонування DME для вимірювання відстаней. Метод DMPR досліджувався у багатьох наукових працях [10]. DMPR використовує існуючу мережу наземних станцій DME. Окрім того, DMPR містить спеціальні наземні станції, що аналогічно до бортового обладнання DME генерують синхронізовані у певні проміжки часу сигнали запиту у системі DME (рис. 3).

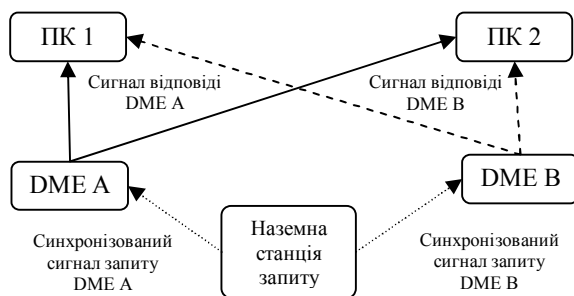


Рис. 3. Пасивний метод позиціонування та визначення відстаней за DME

Наземні станції DME, у свою чергу, приймають ці сигнали і генерують сигнали відповідей (притаманні обладнанню DME). Бортове обладнання приймає сигнали запиту з метою синхронізації, а також приймає сигнали відповідей та фіксує час їх прийому. За відомим часом запиту, координатами наземної станції запиту та радіомаяка DME, а також проміжку часу генерації сигналу відповіді, визначається відстань від радіомаяка DME до ПК. DMPR знижує за-

нтаженість наземної інфраструктури DME, оскільки кожен користувач отримує відстань до наземної станції DME без сигналу запиту. Крім того, концепція DMPR може функціонувати незалежно від загальноприйнятого використання маяків DME та відповідає вимогам, пов'язаних з ростом авіаперевезень. Відповідно до світових тенденцій, у майбутньому очікується навантаження на DME у 260 літаків одночасно.

Проте, представленому методу властиві два основні недоліки:

- необхідність в точній часовій синхронізації наземних станцій

- для вирішення навігаційної задачі у DMPR необхідно мати доступними щонайменше 3 DME для позиціонування у горизонтальній площині, оскільки 1 DME має компенсувати похибку годинника у бортовій частині обладнання.

#### Псевдосупутникові системи позиціонування.

Псевдосупутникові системи позиціонування (PL) базуються на використанні далекомірного методу подібного до принципу позиціонування у GNSS. Система використовує псевдосупутники розміщені на малій відстані від приймачів (відстань не перевищує декількох сотень кілометрів), розташовані на земній поверхні. Попередньо PL розглядалися як доповнення до GNSS. Проте, PL здатні працювати незалежно у випадку повної недоступності GNSS, що робить їх вагомими у концепції APNT. У порівнянні з GNSS, PL властиві численні переваги, зокрема низька вартість, відсутність впливу іоносфери та тропосфери на поширення радіосигналів, потужність навігаційного сигналу є достатньою для гарантування точного позиціонування.

Проте, PL притаманні певні недоліки, зокрема важливу роль відіграють перевідбивання радіохвиль від штучних та природних перешкод, що повністю може змінити псевдовідстані визначені у системі. Сьогодні PL у межах концепції APNT розглядає мультilaterаційну систему, мережу наземних радіомаяків DME та UAT у якості псевдосупутникового сегменту, розміщеного на земній поверхні (рис. 4).

PL з використанням мультilaterаційної системи розглядає мережу наземних станцій запиту (НСЗ), що входять до складу активних мультilaterаційних систем за режимом Mode-S [8, 13].

Сигнали запиту від різних наземних станцій, синхронізовані за часом та контролюються наземною станцією спостереження.

Синхронізація за часом вимагає наявності точного годинника у наземному сегменті. Сигнали, випромінювані наземними станціями, приймаються бортовим обладнанням літакового відповідача у різні моменти часу, оскільки відстані мають різні значення. Бортове обладнання вимірює різниці часу фіксації навігаційних сигналів та застосовує гіперболічний метод навігації для визначення власного місцезположення. Псевдосупутникова мережа DME розглядає наземні радіомаяки у якості навігаційних псевдосупутників. Зокрема, у випадку коли радіомаяк DME є вільним від навігаційних операцій, від випромінює стандартний сигнал відповіді на частоті роботи у строго синхронізовані проміжки часу.





Рис. 4. Псевдосупутникова система позиціонування

Бортове обладнання DME фіксує час прийому сигналу від радіомаяка та розраховує час поширення навігаційного сигналу у просторі за відомим часом випромінювання з наземного радіомаяка. Недоліком даного методу є необхідність одночасного приймання сигналів від 3 DME (1 є необхідним для синхронізації наземного та бортового годинників за часом) для позиціонування у горизонтальній площині.

Псевдосупутникова мережа з використанням універсальних бортових прийомо-відповідачів (UAT) є одним з двох стандартів для передачі місцеположення ПК та аеронавігаційних даних [9,16]. Сигнал вимірювання відстані міститься у наземній частині цифрового повідомлення UAT, що використовується для передачі сигналів з наземних станцій мережі ADS-B. У цьому сегменті є 32 синхронізуючі біти інформації, що визначають часові рамки для передачі цифрового повідомлення. У цій інформації міститься час передачі, що у поєднанні з місцеположенням наземної станції дає змогу визначити координати ПК. Одним з недоліків позиціонування є залежність від прийому та декодування цілого повідомлення UAT.

Іншою перспективною технологією для позиціонування є L-band Digital Aeronautical Communication System (LDACS) – система цифрової передачі даних та зв'язку земля-повітря. LDACS розглядає два варіанти практичної реалізації LDACS1 та LDACS2. LDACS1 використовує частотне розділення дуплексних каналів передачі даних з використанням Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM). LDACS2 – вузькополосна система зв'язку з однією несучою частотою та часовим розділенням дуплексного каналу. Основною задачею LDACS є забезпечення додаткової лінії зв'язку пілота ПК з диспетчером АТС та забезпечення вимог доступу до аеронавігаційної інформації у рамках концепції SWIM. Найбільш перспективною є технологія LDACS1. Численні наукові дослідження підкріплені результатами експериментальних випробувань вказують на можливість використання сигналів LDACS1 для позиціонування ПК з точністю до 15 м [17, 18].

**Позиціонування за комбінацією псевдосупутників у MOSAIC та DME.** Ця система [19, 20] була спеціально розроблена для забезпечення вимог APNT. Наземна станція MOSAIC/DME складається з звичайного наземного радіомаяка DME та п'яти антен псевдосупутників. Бортове обладнання ПК виконує вимірювання дальності за DME у звичному режимі, разом з вимірюванням псевдовідстаней за навігаційним сигналом, що постійно випромінюється з антен псевдосупутників (рис. 5). У основі функціонування MOSAIC покладено гіперболічний

принцип позиціонування за різницею фаз.

Наземне обладнання MOSAIC з певною кількістю антен постійно випромінює синхронізований навігаційний сигнал. Відповідно, на борту ПК має бути встановлене обладнання прийому сигналів наземних станцій MOSAIC та вимірювання зсуву фази між сигналами різних антен неземної станції. За відомої геометрії розташування передавальних антен, різниця фаз дозволяє оцінити різниці відстаней між двома антенами передавачами. Кожна відома різниця відстаней є певною лінією положення у просторі, що має вигляд гіперболи з фіксованими фокусами. Для оцінювання місцеположення MOSAIC система використовує одночасне вимірювання чотирьох різниць фаз та одне вимірювання дальності за радіомаяком DME. Таким чином система навігаційних рівнянь складається з п'яти рівнянь, що дозволяє визначити координати місцеположення ПК, як у горизонтальній площині так і у вертикальній. Відповідно до сучасних досліджень MOSAIC/DME є перспективним навігаційним засобом. Проте досконалі експериментальні дослідження, щодо застосування подібної системи для авіаційного застосування не проводились.

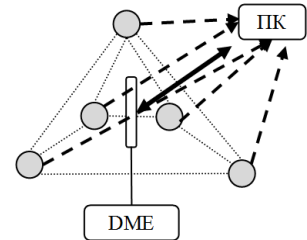


Рис. 5. Позиціонування за MOSAIC/DME

**Позиціонування засноване на зворотних відстанях.** Концепція заснована на зворотних відстанях (Diverse Ranging – DivR) розглядається у якості альтернативного методу позиціонування у межах концепції APNT, що задовольняє вимогам PBN. Система складається з мережі наземних станцій, що взаємодіють з бортовим обладнанням ПК та забезпечує позиціонування у двох режимах – прямої відповіді (Direct Reply – DR) та у беззапитовому режимі (Non-Reply – NR) [21]. У якості наземної інфраструктури DivR використовує мережу наземних радіомаяків та наземні станції передачі повідомлень FIS-B, TIS-B у концепції ADS-B. У режимі DR бортове обладнання ПК вимірює відстань до наземної станції за допомогою фіксації часу випромінювання навігаційного сигналу від ПК і фіксації часу повернення сигналу відповіді на ПК від наземної частини обладнання. Для визначення висоти польоту ПК, застосовується барометрична залежність з відповідними корекціями для стану повітряного простору. Горизонтальна відстань між ПК та наземною станцією визначається з урахуванням показів барометричного висотоміра. Координати місцеположення ПК розраховуються за навіга-

ційним рівняння, що використовує відомі координати місцеположення наземних станцій та відстані до них. Щонайменше дві відстані необхідні для визначення координат ПК. Оцінені координати за концепцією ADS-B, поширюються для інших користувачів повітряного простору. У режимі NR ПК вимірює псевдовідстані за рахунок фіксації часу прийому сигналу від літака, що працює у режимі DR та фіксації часу приходу сигналу від наземної станції. Відстань від наземної станції визначається пгім чином:

$$c(t_2 - \tau) = d_D + d_U + b,$$

де  $b$  – відстань пов'язана з невідомим часом передачі повідомлення. Відстань від ПК у режимі DR:

$$ct_1 = d_A + b.$$

Різниця відстаней:

$$c(t_2 - \tau - t_1) - d_D = d_U - d_A.$$

Навігаційна задача вирішується у горизонтальній площині, тому для перетворення похилих відстаней у геометричні аналогічно використовується барометрична залежність з актуальними корекціями. Різниця відстаней утворює гіперболічну лінію положення, у фокусах якої знаходяться наземна станція та літак, що працює у режимі DR. Для визначення координат місцеположення використовуються сигнали від різних наземних станцій чи від різних ПК у режимі DR.

Основною проблемою концепції DivR є необхідність точної синхронізації по часу наземного та повітряного сегментів. Відповідно до цього концепція DivR може бути застосована виключно у майбутніх навігаційних мережах.

Порівняльна характеристика кожного з розглянутих методів наведена у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика альтернативних методів позиціонування

Назва	Необхідність у зміні обладнання		Використовуваний принцип	Метод визначення координат	Можливість визначення висоти	Застосовується сьогодні
	бортового	наземного				
DME/DME	Ні	Ні	Активний	Дальномірний	Ні	Так
DME/DMEs	Так	Ні	Активний	Дальномірний	Так	Ні
WAM	Так	Так	Пасивний	Різницево-дальномірний	Ні	Так
DMPR	Так	Так	Пасивний	Дальномірний	Так	Ні
PL	Так	Так	Пасивний	Дальномірний	Так	Ні
MOSAIC/DME	Так	Так	Активний	Різницево -дальномірний	Так	Ні
DivR	Так	Так	Пасивний	Різницево -дальномірний	Ні	Ні

## Висновки

Недоліки притаманні GNSS вимагають пошуку альтернативних засобів позиціонування та їх впровадження у глобальному масштабі для забезпечення безпеки авіації. У якості альтернативних систем позиціонування на борту ПК застосовуються методи позиціонування за сигналами систем зональної навігації у обчислювальній системі літаководіння. На сьогоднішній день методи позиціонування за парами радіонавігаційних засобів є широко розповсюджені, проте їх точність

обмежена геометрією взаємного місцерозташування, що є причиною невідповідності майбутнім вимогам зональної навігації. Відповідно до виконаного аналізу, найбільш перспективними засобами альтернативного позиціонування є застосування мультилатераційних та псевдопутникових систем. У той час як пасивне використання DME, MOSAIC чи DivR потребують значних затрат на розбудову наземної мережі та зміну бортового обладнання ПК. Вагомим є застосування цифрових мереж передачі даних, що підтримують функцію позиціонування за наземними станціями.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Lubbers B. A study on the accuracy of GPS positioning during jamming / B. Lubbers, S. Mildner, P. Onincx, A. Scheele // Navigation World Congress (IAIN), – 2015, International Association of Institutes, IEEE. – pp. 1–6. – electronic version, available by link: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7352258/>
- Lilley R.W. DME/DME for Alternate Position, Navigation, and Timing (APNT) / R. W. Lilley, R. Erikson // APNT White Paper. – 2012. – 10p.
- Verma N. DME-DME Network and Future Air Traffic Capacity / N. Verma, M. R. Haque // Journal of Modern Science and Technology. – 2013. – № 1. – pp. 45–51
- Остроумов І.В. Оцінювання точності визначення лінії положення за парою далекомірного обладнання DME при вирішенні навігаційних задач / І.В. Остроумов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – №2(42). – С. 8–12.
- Ostroumov I. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation / I. Ostroumov, N. Kuzmenko // 2016 IEEE 4th Int. Conf. «Methods and Systems of Navigation and Motion Control», October 18-20, 2016. – Kyiv, 2016. – P. 291–294.
- Ostroumov I.V. Analysis of DME/DME positioning facility for Ukrainian airspace / I.V. Ostroumov // 7 World Congress "Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technologies". Vol. 2. – Kyiv: NAU, 2016. – P. 3.6.1–3.6.4.
- Concept of operation for NextGen Alternative Positioning, Navigation and Timing (APNT). – FAA, 2012. – 208 p.
- Kim E. Hybrid APNT architecture using DME/DME and multilateration / Euiho Kim // Digital Avionics Systems Conference (DASC). – 2012, IEEE/AIAA. – pp. 71–83
- Lo S. Alternative Position Navigation & Timing Based on Existing DME and UAT Ground Signals / S. Lo, B. Peterson, D. Akos, M. Narins, R. Loh, P. Enge // Proc. of the Institute of Navigation GNSS Conf. – 2011, Portland, OR. – pp.1-9
- Lo S. Signal structure study for passive ranging system using existing distance measuring equipment (DME). / S. Lo, P. Enge // Proceedings of the Institute of Navigation International Technical Meeting. – 2012, Newport Beach, CA. – pp. 1–11
- Han S. Future Alternative Positioning, Navigation, and Timing Techniques: A Survey / S. Han, Z. Gong, W. Meng, C. Li, X. Gu // IEEE Wireless Communications. – № 23(6). – 2016. – pp.154–160.

12. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. – ICAO, 2008. – 304 p.
13. Eldredge L. Alternative Positioning, Navigation & Timing (PNT) Study / L. Eldredge, P. Enge, M. Harrison, R. Kenagy, S. Lo, R. Loh, R. Lilly, M. Narins, R. Niles // International Civil Aviation Organisation Navigation Systems Panel (NSP), Working Group Meetings. – 2010, Montreal, Canada. – 19 p.
14. Остроумов І.В. Оцінка точності позиціонування за сигналами радіомаяків VOR / І.В. Остроумов // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(39). – К.:НАУ, 2012. – С. 102-107.
15. Lo S. Distance measuring equipment accuracy performance today and for future alternative position navigation and timing (APNT) / S. Lo, Y. H. Chen, P. Enge, B. Peterson, R. Erikson, R. Lilley // Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2013). – 2013, Nashville, TN. – pp. 711-721
16. Chen Y. H. Evaluation & Comparison of Ranging Using Universal Access Transceiver (UAT) and 1090 MHz Mode S Extended Squitter (Mode S ES) / Y. H. Chen, S. Lo, P. Enge, S. S. Jan // PLANS-2014. – 2014, IEEE/ION. – pp. 915-925
17. Schneckenburger N. Precise aeronautical ground based navigation using LDACS1 / N. Schneckenburger, D. Shutin, M. Schnell // Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS). – 2012, IEEE. – pp. B1-1
18. Shutin D. LDACS1 ranging performance analysis of flight measurement results / D. Shutin, N. Schneckenburger, M. Walter, M. Schnell // Digital Avionics Systems Conference (DASC). – 2013, IEEE/AIAA. – pp. 3C6-1
19. Kim O.J. The study of error sources for MOSAIC/DME system: A single station based positioning system for APNT / O. J. Kim, C. Kim, J. Song, Y. Kim, C. Kee // PLANS 2014. – 2014, IEEE/ION. – pp. 855-863
20. Kim O. J. A New Concept of APNT: MOSAIC/DME 3D-Positioning with a Single DME Station / O. J. Kim, C. Kim, S. Junesol, Y. Ho, D. Kim, C. Kee, L. Taikjin // Proceedings of ION ITM. – 2012. – pp. 142–150
21. Wu R.H. An Alternative Positioning Navigation and Timing concept based on Diverse Ranging / R. H. Wu, S. A. Davidson // Position, Location and Navigation Symposium (PLANS 2014). – 2014, IEEE/ION. – pp. 886-914.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 12.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

#### Анализ перспективных систем зональной навигации

И. В. Остроумов

Статья посвящена вопросу позиционирования летательного аппарата, а именно резервным или альтернативным к спутниковым методам определения координат местоположения в пространстве. Выполнен детальный анализ современных средств позиционирования по сигналам наземных угломерных и дальномерных радиомаяков в соответствии с требованиями зональной навигации RNP/RNAV. Рассмотрены возможные пути повышения точности позиционирования по парам дальномерных радиомаяков. Кроме того, проанализированы возможности мультilaterационных и псевдоспутниковых систем, пассивного использования сигналов дальномерного оборудования и позиционирования основанного на обратных расстояниях, выделены преимущества и недостатки каждого из методов. Разработана общая классификация средств позиционирования самолёта с учётом перспективных средств зональной навигации. **Выводы.** На сегодняшний день методы позиционирования за парами радионавигационных средств является широко распространены, однако их точность ограничена геометрией взаимного месторасположение, что является причиной несоответствия будущим требованиям зональной навигации. Согласно выполненного анализа, наиболее перспективными средствами альтернативного позиционирования применение мультilaterационных и псевдоспутниковых систем, в то время как пассивное использование DME, MOSAIC или DivR требуют значительных затрат на развитие наземной сети и изменение бортового оборудования ПК. Весомым является применение цифровых сетей передачи данных, поддерживающих функцию позиционирования по наземными станциями.

**Ключевые слова:** координаты, позиционирование, воздушный корабль, навигация, классификация.

#### Analysis of prospective area navigation systems

I. Ostroumov

The paper considers a problem of aircraft positioning, especially stand-by or alternative to global navigation satellite system methods of aircraft coordinates determination in airspace. Interference with electronic equipment and jamming produced by personal devices have been discussed as main causes that may lead to complete lock of GNSS positioning function. Paper is devoted to important issue that is connected with reducing of positioning accuracy that is the main peril for future development of future air navigation infrastructure and decreases safety of aviation. Paper represents an analysis of prospective methods that use pairs of navigational aids of area navigation that includes usage of Distance Measurement Equipment, VHF Omni Range, and Non Directional Beacon data. Several possible ways of accuracy improving of distance measurement equipment were analyzed that can increase accuracy of positioning by area navigational aids. For instance, usage of modern digital equipment and changing the parameters of navigation signal can be used to achieve the required navigation characteristics. Wide area of multilateration, passive positioning approach, pseudo-satellite, MOSAIC/DME and diverse ranging methods are considered as possible future alternatives to GNSS in aviation. Their advantages and disadvantages are considered in the article. General classification of aircraft positioning methods, including area navigation algorithms is developed. Study outcomes of future positioning approaches indicate that current air navigation infrastructure of navigational aids does not meet requirements of precise future area navigation. Proposed solution for this problem is to introduce completely modern systems grounded on pseudo-satellite principle or wide area multilateration, but it requires absolutely new navigation equipment. As a result, in the future, a revision of the minimum equipment list will be required due to necessity to use new avionics systems in order to ensure accuracy requirements that can create inconvenience for air carriers.

**Keywords:** coordinates, positioning, aircraft, navigation, classification.

Г. В. Худов<sup>1</sup>, О. М. Маковейчук<sup>2</sup>, І. А. Хижняк<sup>1</sup>, Ю. С. Соломоненко<sup>1</sup>, І. Ю. Юзова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## МЕТОД ВИДІЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ НА ЗОБРАЖЕННЯХ БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕТВОРЕННЯ ХАФА

**Предметом** вивчення в статті є метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження. **Метою** є розробка методу виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження. **Завдання:** обґрунтування необхідності виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження; викладення сутності методу виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження; візуальна оцінка якості виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень. Отримані такі **результати**. Встановлено, що актуальним є питання виділення на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження географічного ландшафту, будівель, культурних центрів і критичних елементів інфраструктури, типу підприємств, транспортних систем та інших важливих забудов. Встановлено, що об'єкти міської забудови (мости, дороги, будинки тощо) є досить контрастними і містять багато прямих ліній. Виділення об'єктів міської забудови розглядається як двоетапний метод, а саме, застосування деякого детектора границь та застосування безпосередньо перетворення Хафа. На першому етапі проводиться виділення границь, на другому – виділення прямих ліній. У якості детектору границь запропоновано використання детектору границь Канні. **Висновки.** Встановлено, що візуальна якість дозволяє виділити об'єкти міської забудови на обробленому зображенні, а запропонований метод може бути використано для знаходження об'єктів міської забудови. Напрямоком подальших досліджень є використання багатомасштабного методу обробки зображень.

**Ключові слова:** об'єкти міської забудови, оптико-електронне зображення, бортова система спостереження, перетворення Хафа, детектор границь Канні, візуальна оцінка якості, кольоровий простір.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Демографічні тенденції у світі призводять до того, що у подальшому урбанізація міст продовжиться, та, на жаль, у майбутньому все частіше військові операції усіх типів будуть проходити в умовах населених пунктів.

Міське середовище складне й різноманітне. Воно включає в себе як складне архітектурне середовище столиці в межах добре розвинутої інфраструктури, так і міські нетрі з високою і малою щільністю населення та з дуже бідною інфраструктурою. Сюди включаються міста й мегаполіси, які можуть самі по собі містити комерційні, індустріальні та житлові райони, а так само численні комунікації та енергетичні об'єкти. При цьому, комерційні, індустріальні, адміністративні і житлові райони потребують індивідуального аналізу. Тому бойові дії у місті різко відрізняються від дій в польових умовах.

Аналіз бойових дій та конфліктів останніх років показав, що успішним діям військ в містах багато в чому сприяла вміло організована і ефективно проведена розвідка та спостереження [1–6]. Детальне вивчення великих міст або окремих їх районів проводиться по великомасштабним планам, топографічним картам та даним повітряної та космічної розвідки та спостереження [2, 3]. Однак слід мати на увазі, що ряд важливих об'єктів, особливо військового характеру, на плані не вказано. Виявити такі об'єкти можна тільки з використанням повітряної та космічної розвідки.

Таким чином, основна вимога до розуміння особливостей поля бою включає оцінку географічного ландшафту, будівель, культурних центрів і критичних елементів інфраструктури, типу підприємств, транспортних систем та інших важливих забудов [1–3].

**Мета статті** – розробка методу виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні існує багато методів пошуку аналітично заданих примітивів [4–8]. Одним з найбільш ефективних методів пошуку аналітично заданих примітивів є на сьогодні група методів, заснованих на ідеї перетворення Хафа. Ця ідея може бути модифікована для роботи з реальними даними на зображеннях, коли потрібно знайти той чи інший геометричний примітив, заданий аналітичним рівнянням, і при цьому на зображенні є не дві і не три, а значна кількість голосуючих контурних або особливих точок [9, 10]. Класичне перетворення Хафа було спочатку розроблено для виділення на бінарному зображенні не кіл, а прямих ліній. Воно ґрунтується на використанні простору параметрів, в якому і проводиться пошук прямих [9].

### Основна частина

Об'єкти міської забудови (мости, дороги, будинки тощо) є досить контрастними і містять багато прямих ліній. Отже, якщо для кожного каналу кольорового простору представлення кольорового

зображення (наприклад, RGB) за допомогою деякого детектора знайти границі, то за допомогою перетворення Хафа в кожному каналі можна виділити прямі лінії. Якщо лінії об'єкта знаходяться в усіх трьох каналах RGB одночасно, то це є ознакою штучного походження об'єкта. Якщо тільки в одному каналі – об'єкт має природне походження (наприклад, річка), якщо в двох каналах – класифікація ускладнена (це може бути, наприклад, польова дорога).

Отже, виділення об'єктів міської забудови будемо розглядати як двоетапний метод, а саме, застосування деякого детектора границь та застосування безпосередньо перетворення Хафа. На першому етапі проводиться виділення границь, на другому – виділення прямих ліній.

В статті у якості детектора границь будемо застосовувати детектор границь Канні. Етапи методу Канні наступні [5]:

1. **Згладжування.** Проводиться з метою зменшення впливу шумів на визначення границь, для чого використовується фільтр Гауса:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad (1)$$

де  $(x, y)$  – координати пікселя на зображенні;

$f(x, y)$  – яскравість зображення;

$\sigma$  – параметр розмиття.

Значення параметра розмиття необхідно обрати таким, що забезпечує найбільше придушення шуму. Більше значення параметра використовується для виділення крупних границь, менше – для виділення маленьких деталей.

2. **Пошук градієнту.** Для визначення градієнту на зображенні після фільтру Гауса (1) будемо використовувати оператор Собеля, схема просторової фільтрації з використанням якого наведена на рис. 1.

Основою перетворення Собеля є припущення, що функція розриву яскравості на гранях становить значно більше.

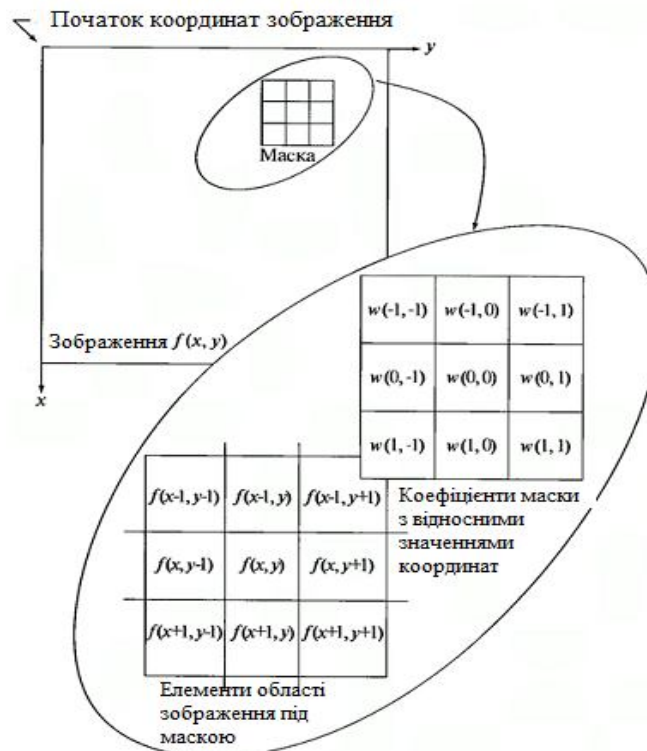


Рис. 1. Схема просторової фільтрації з використанням оператора Собеля

З цього припущення можна зробити висновок, що для знаходження граней достатньо здійснити диференціювання функції яскравості  $f(x, y)$ :

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \Delta x = \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \Delta y = \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}. \quad (3)$$

В дискретних зображеннях  $dx$  та  $dy$  можна вимірювати в кількості пікселів між двома точками з використанням таких виразів:

$$\Delta x = f(i + 1, j) - f(i, j), \quad (4)$$

$$\Delta y = f(i, j + 1) - f(i, j). \quad (5)$$

Вираз для визначення величини градієнту  $G$  можна записати таким чином:

$$G = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \quad (6)$$

а напрямок  $\theta$ :

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right). \quad (7)$$



У виразах (6), (7) оцінка градієнту проводиться з використанням масок (2 × 2):

$$\Delta x = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\Delta y = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Основний недолік використання масок (8) та (9) – це велика кількість помилок з причини наявності шуму. Крім того, використання масок парного порядку не дає можливості проводити оцінку на основі пікселя, що розташований по центру маски. Тому, будемо використовувати оператор Собеля з такими масками:

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

З аналізу виразів (10), (11) (у порівнянні з (8), (9)) видно використання коефіцієнту 2 для середніх елементів. Збільшене значення коефіцієнту використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам. Значення та напрямок величини градієнту G приймають вид (12), (13), відповідно:

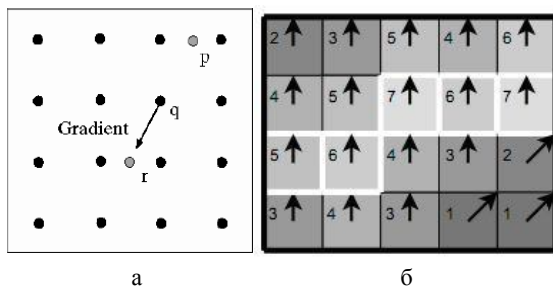
$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (12)$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{|G_x|}{|G_y|} \right). \quad (13)$$

Після використання оператора Собеля інтенсивність кожного пікселя вихідного зображення дорівнює градієнту вектора яскравості.

**3. Придушення хибних максимумів.** Мета цього етапу – перетворити "розмиті" границі в "чіткі". Це досягається збереженням локальних максимумів та видаленням всього іншого. Для кожного пікселя виконуються такі дії:

– напрямок градієнту округляється до найближчого значення, що кратне 45° (рис. 2, а);



**Рис. 2.** Пошук локальних максимумів:  
а – (максимуми р та г інтерполюються (видаляються));  
б – принцип придушення хибних максимумів

– якщо у поточній точці досягається локальний максимум у напрямку градієнту, то вона є частиною границі;

– у протилежному випадку точка видаляється (рис. 2, б).

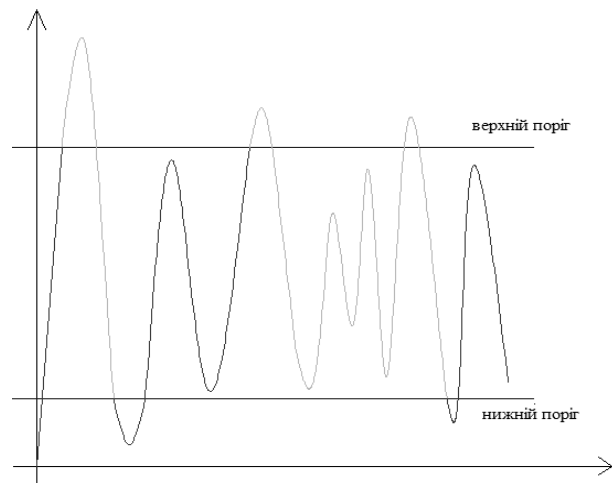
Принцип придушення проілюстрований на рис. 2, б. Всі пікселі на рис. 2, б мають орієнтацію вгору, тому значення градієнту в цих точках буде порівняно з нижче та вище розташованими пікселями. Пікселі, що обведені білим кольором на рис. 2, б, залишаться у вихідному зображенні, інші – будуть придушені.

**4. Подвійна порогова фільтрація** (рис. 3). Сутність:

кожен піксель, що перевищує верхній поріг, відмічається як "сильний",

кожен піксель, що попадає між двома порогоми, – "слабкий" (яскравість таких пікселів приймає фіксоване середнє значення та буде уточнюватися на наступному етапі),

пікселі, що менше нижнього порогу – видаляються.



**Рис. 3.** Використання двох порогів в методі Канні

Використання подвійного порогу дозволяє зменшити вплив шуму (за рахунок верхнього порогу) та не втратити "хвости" (за рахунок нижнього порогу).

**5. Трасування області невизначеності.** Задача зводиться до виділення груп пікселів, що отримали на попередньому етапі проміжне значення, та віднесенню їх до границі (якщо вони з'єднанні з однією з встановлених границь) або їх придушенню (в протилежному випадку).

У якості вихідного будемо розглядати зображення, що отримане з бортової системи оптико-електронного спостереження Ikonos (рис. 4) [4].

Результат застосування до вихідного зображення детектора границь Канні наведено на рис. 5. Обробка проводилася окремо для кожного каналу кольорового простору RGB вихідного зображення (рис. 4).

На рис. 6 наведено результат застосування перетворення Хафа до зображення (рис. 5). Обробка проводилася окремо для кожного каналу кольорового простору RGB зображення (рис. 5).



Рис. 4. Вихідне зображення

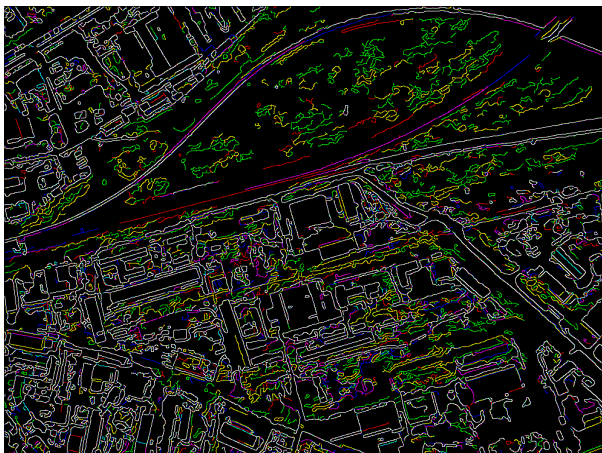


Рис. 5. Результат застосування до вихідного зображення (рис. 4) детектора границь Канні

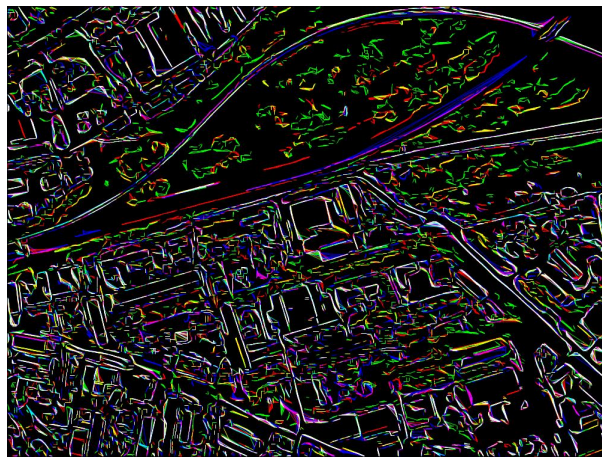


Рис. 6. Результат застосування перетворення Хафа до зображення (рис. 5)



Рис. 7. Результат накладення рис. 6 на вихідне зображення (рис. 4) з метою виділення об'єктів міської забудови



Рис. 8. Виділені об'єкти міської забудови

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Візуальна якість дозволяє виділити об'єкти міської забудови на обробленому зображенні. Отже, отримані результати показують, що запропонований метод може бути використано для знаходження об'єктів міської забудови. Для покращення роботи методу є перспективним використання багатомасштабного методу обробки зображень.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гольц, Томас. Georgia Diary: A Chronicle of War and Political Chaos in the Post-Soviet Caucasus. — Sharpe, 2006. — 262 с.
2. Орхан Джемаль. Война. Хроника пяти дней. — М.: Амфора, 2008. — 224 с.
3. Кузнецов Д. В. Иракский кризис. Очерк событий. Документы и материалы: Учебное пособие. — Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2006. — 259 с.
4. Соломоненко Ю.С. Перетворення Хоха як метод виділення контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях / Ю.С.Соломоненко, Г.В.Худов, Р.В.Дзюбчук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: Збірник наукових праць. — Ж.: ЖВІ ДУТ, 2014. — Вип. 9. — С. 98-104.
5. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. — 2017. — No 1 (1) — P. 75-81. — DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.

6. Коваленко А. А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук, И. В. Рубан // Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности. – 2018. – № 2(4). – С. 12-18. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>.
7. Коваленко А. А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
8. Абрамов Н. С., Хачумов В. М. Распознавание на основе инвариантных моментов // Вестник РУДН. 2014. №2. С.142-149.
9. Кудрина М. А. Использование преобразования Хафа для обнаружения прямых линий и окружностей на изображении / М. А. Кудрина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4(2). – С. 476-481.
10. Canny J. F. A Computational Approach to Edge Detection / J. F. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679–698.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. В. Барабаш,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 19.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Метод выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения с использованием преобразования Хафа

Г. В. Худов, А. Н. Маковейчук, И. А. Хижняк, Ю. С. Соломоненко, И. Ю. Юзова

**Предметом** изучения в статье является метод выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения. **Целью** является разработка метода выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения. **Задачи:** обоснование необходимости выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения; изложения сущности метода выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения; визуальная оценка качества выделения объектов городской застройки на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Используемые **методы:** методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений. Получены такие **результаты.** Установлено, что актуальным является вопрос выделения на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения географического ландшафта, зданий, культурных центров и критических элементов инфраструктуры, типа предприятий, транспортных систем и других принципиальных застроек. Установлено, что объекты городской застройки (мосты, дороги, дома и т.д.) достаточно контрастные и содержат много прямых линий. Выделение объектов городской застройки рассматривается как двухэтапный метод, а именно, применение некоторого детектора границ и применения непосредственно преобразования Хафа. На первом этапе производится выделение границ, на втором - выделение прямых линий. В качестве детектора границ предложено использование детектора границ Канни. **Выводы.** Установлено, что визуальное качество позволяет выделить объекты городской застройки на обработанном изображении, а предложенный метод может быть использован для нахождения объектов городской застройки. Направлением дальнейших исследований является использование многомасштабного метода обработки изображений.

**Ключевые слова:** объекты городской застройки, оптико-электронное изображение, бортовая система наблюдения, преобразование Хафа, детектор границ Канни, визуальная оценка качества, цветовое пространство.

### Method for determining objects of urban development on images of onboard systems of optical-electronic observation using transformation of Hafa

H. Khudov, O. Makoveichuk, I. Khizhnyak, Y. Solomonenko, I. Yuzova

The **subject matter** of the article is a method for determining the objects of urban development on the images of onboard systems of optical-electronic surveillance. The **goal** is to develop a method for determining the objects of urban development on images of onboard systems of optical-electronic surveillance. The **tasks** are: substantiation of the need to identify urban buildings on images of onboard systems of optical-electronic surveillance; the presentation of the essence of the method of identifying objects of urban development on the images of onboard systems of optical-electronic surveillance; visual assessment of the quality of the selection of urban buildings on the images of onboard systems of optical-electronic surveillance. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing. Such results are obtained. It has been established that the issue of identifying the geographical landscape, buildings, cultural centers and critical elements of the infrastructure, such as enterprises, transport systems and other fundamental developments on the images of the onboard systems of optical-electronic observation, is topical. It is established that the objects of urban development (bridges, roads, houses, etc.) are quite contrasting and contain many straight lines. The selection of objects of urban development is considered as a two-step method, namely, the use of a certain border detector and the application of the Hough transform. At the first stage, the selection of boundaries is made, at the second - the selection of straight lines. As a boundary detector, the use of a Canny boundary detector has been proposed. **Conclusions.** It was established that the visual quality allows to reveal objects of urban development on the processed image, and the proposed method can be used to find objects of urban development. The direction of further research is the use of a multiscale image processing method.

**Keywords:** objects of urban development, optoelectronic image, on-board observation system, Hough transform, Canny border detector, visual quality assessment, color space.



# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 623.765:681.513.6

doi: 10.26906/SUNZ.2018.6.025

М. А. Павленко<sup>1</sup>, С. Г. Шило<sup>1</sup>, І. О. Борозенець<sup>1</sup>, О. М. Дмитрієв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## ПРОЦЕДУРА ОЦІНКИ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ СИТУАЦІЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АСУ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В роботі запропоновано апарат формалізації знань щодо оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки для системи підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом, з урахуванням сучасних досягнень розробки та впровадження систем підтримки прийняття рішень в складних організаційно-технічних системах. Удосконалення ситуаційного аналізу обстановки для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень оператором автоматизованих систем управління повітряним рухом передбачає підвищення рівня автоматизації і інтелектуалізацію низки задач до яких відносяться оцінка ступеню небезпеки ситуації обстановки, яка складається в зоні відповідальності органу управління; для розв'язання поставленого завдання щодо формалізації знань про ступень небезпеки обстановки, в якості базового обрано апарат теорії нечітких множин, а саме застосовано метод обробки результатів експертизи, що дозволяє перейти до бінарних відношень строгої переваги та до ядра нечіткого відношення строгої переваги; проведено експертизу для формування множини небезпечних факторів, які треба виявити. Результати даного дослідження дозволять особі, що приймає рішення у першу чергу враховувати значення визначених чинників, які найбільш суттєво впливають на ступень складності обстановки при підготовці прийняття рішень по управлінню повітряним рухом.

**Ключові слова:** управління повітряним рухом, автоматизація, прийняття рішень, оцінка обстановки, ступень небезпеки ситуації, прийняття рішень умовах ризику та невизначеності, теорія нечітких множин.

### Вступ

**Постановка задачі.** В основі практичного механізму концепції управління безпекою польотів лежить цілеспрямований пошук факторів, що викликають настання авіаційних подій, з метою захисту від їх впливу. Виявлення небезпечних факторів може бути реалізовано в формі регулярного контролю, збору, обробки та накопичення інформації про фактори, що викликали авіаційні інциденти, які в підсумку не призвели до настання важких наслідків [1, 2].

Незважаючи на те, що для більшості аварійних факторів застосовується концепція "людина – машина – навколишнє середовище", значна кількість авіаційних подій та інцидентів пояснюється помилками фахівців служби руху, тобто людським фактором. У свою чергу, такі помилки найчастіше є наслідком недоліків у самій системі обслуговування повітряного руху (недоліки в організації роботи диспетчерських змін, конструктивні недоліки обладнання, недостатній рівень професійної підготовки та недосконалість нормативних документів, недостатня якість інформації для сприйняття) [3]. У зв'язку з цим необхідно виявити початкову ланку ланцюга, що може в майбутньому призвести до авіаційного події чи інциденту.

Необхідність розвитку та удосконалення компонентів процесу безпосереднього управління повітряним рухом (УПР) з використанням автоматизованих систем викликана вимогою підтримки показників їх ефективного функціонування в умовах постійної потреби використання повітряного простору

при обмеженнях за обсягом і якістю виробництва аеронавігаційних послуг. Слід також враховувати різноманіття оперативних ситуацій в польоті, що вимагають максимального використання наявних ресурсів. Також важливим є забезпечення належного рівня безпеки польотів в періоди відхилення стану автоматизованої системи управління повітряним рухом (АС УПР) від планованого або функціонування з гранично допустимими показниками. Такі умови визначають параметри інформаційного середовища, що становить відомості для особи, яка приймає рішення (ОПР) - диспетчера УПР (оператора АС УПР), можливості якого, в свою чергу, зумовлені наявними техніко-методологічного засобами.

При прийнятті рішень ОПР в проблемних ситуаціях, що характеризуються високою динамічністю, складністю, невизначеністю і слабкою структурованістю необхідна висока ступінь інтелектуалізації управлінських рішень, що неможливо без впровадження та розвитку СППР у складі АС УПР [4, 5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних досліджень в галузі автоматизації управління складними організаційно-технічними системами, в тому числі систем управління повітряним рухом [6, 7], свідчить про те, що для систем підтримки прийняття рішень, які реалізовані в автоматизованих системах управління повітряним рухом, до теперішнього часу остаточно невирішеними є проблеми формалізації завдань оцінки ступеню небезпеки ситуації обстановки (СО) в умовах ризику та при наявності невизначеності інформації [8, 9].

Фактор складності і невизначеності інформації, використовуваної для прийняття рішення в різних ситуаціях функціональної діяльності операторів АС УПР, вказує на актуальність досліджень процесів прийняття рішень.

Це, в першу чергу, стосується проблеми адекватної оцінки ОПР загальної обстановки, що складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР, а також її складових – кожної поточної ситуації обстановки [4, 6–8].

Методи опису та аналізу наявної в завданні невизначеності істотно впливають на ефективність пошуку оптимальних рішень. В даний час кількісні методи прийняття рішень (максимізація очікуваної корисності, мінімаксна теорія, методи максимальної правдоподібності, теорія ігор, і інші) допомагають вибирати найкращі з множини можливих рішень лише в умовах одного конкретного виду невизначеності або в умовах повної визначеності [9, 10]. Велика частина існуючих методів для полегшення кількісного дослідження, в рамках конкретних задач прийняття рішень, базується на край спрощених моделях дійсності і мають жорсткі обмеження, що зменшує цінність результатів досліджень і часто призводить до невірних рішень на практиці.

Найбільш поширеним аксіоматичним підходом до оцінки функції корисності є підхід Неймана-Моргенштерна [11], при якому з аксіом переваги на множині альтернатив з відомими ймовірностями результатів виводиться функція корисності. Розвитком цього підходу є запропонована Севіджем система аксіом [12], в якій ймовірності разом з функцією корисності виводяться з системи переваг.

Спроби застосування будь-якого конкретного математичного апарату (інтервального аналізу, статистичних методів, теорії ігор, детермінованих моделей і т.д.) для прийняття рішень в умовах невизначеності дозволяє адекватно відобразити в моделі лише окремі види даних і призводить до безповоротної втрати інформації інших типів. Так, наприклад, при наявності детермінованих моделей не враховується накопичена статистика про імовірнісні розподіли для деяких параметрів, і проводиться заміна цих розподілів відповідними середніми значеннями.

Крім того, в цьому випадку проявляється гострий дефіцит в інформації конкретного типу (наприклад, у функціях розподілу ймовірностей).

Наявність в системі одночасно різних видів невизначеності робить необхідним використання для прийняття рішень теорії нечітких множин, яка дозволяє адекватно враховувати наявні види невизначеності. Застосування нечітких множин дозволяє провести також узгодження різних нечітких рішень при наявності нечітких цілей, обмежень, коефіцієнтів, початкових і граничних умов. Теорія нечітких множин дає можливість проводити обчислення не з одним точковим значенням, а з характеристичною функцією і дозволяє отримувати в результаті обчислень нечітку величину, для якої з максимуму значення функції може бути отримана точкова оцінка [13, 14].

**Мета і завдання даного дослідження.** В існуючих методах розпізнавання ситуацій, що склада-

ються в зоні відповідальності АС УПР недостатньо вирішені питання щодо виявлення ступеня небезпеки ситуацій обстановки, які складаються, в першу чергу, у повітряному просторі, що в підсумку може призводити до виникнення потенційно конфліктних ситуацій, льотних пригод та авіаційних катастроф. З метою удосконалення ситуаційного аналізу обстановки для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень оператором АС УПР слід удосконалити вирішення таких часткових завдань:

- розробити апарат формалізації знань про завдання виявлення позаштатних ситуацій в повітряному просторі з урахуванням ступеня небезпеки ситуації що складається;

- визначити фактори, що найбільш суттєво впливають на ступень складності обстановки;

- провести експертизу для формування множини небезпечних факторів, які треба виявити;

- оцінити ступінь небезпеки ситуацій, що складаються в межах зони відповідальності органу управління АС УПР.

Таким чином в результаті даного дослідження необхідно розробити метод оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки, що дозволяє обирати елементарні властивості та ознаки для подальшої обробки, з урахуванням динамічності, складності, невизначеності і розмитості вихідних даних та при їх слабкій структурованості. В підсумку це має сприяти підвищенню обґрунтованості рішень ОПР в автоматизованих системах управління повітряним рухом.

## Основна частина

В АСУ реального часу, як правило, неможливо виділити елементарні властивості і ознаки, які однозначно визначають ступінь небезпеки ситуації. У цьому випадку доцільно порівнювати кожну пару ситуацій, використовуючи метод парних порівнянь [15-17].

Суть цього підходу полягає в попарному зіставленні факторів, що впливають на ситуацію, за спеціальною шкалою. Для систем з двійковими структурами до дослідження факторів підходять як до "кванту дії, яку задумано", що істотно спрощує аналіз [17].

Результати попарних порівнянь представляють у вигляді матриці  $X = x_{ij}$ , де  $x_{ij}$  означає відношення ваг відповідних факторів. Тому обов'язково повинна виконуватися умова антисиметричності, тобто  $x_{ij} = 1/x_{ji}$ .

Таким чином, для оцінки ступеня небезпеки СО пропонується порівнювати кожну пару факторів методом прямої розстановки.

Виникає завдання формування з наявної множини визначеної множини небезпечних факторів –

$$M = \{m_j\}, j = \overline{1, k}, \text{ де } m_j - \text{ елемент множини чинників, які необхідно враховувати для своєчасного реагування ОПР при зміні СО. Для формування множини небезпечних факторів, які треба виявити, доцільне проведення експертизи. Її результати доцільно представляти у вигляді нечітких відносин}$$

переваг [16, 17]. Тобто використовується схема експертизи, в якій експерти висловлюють свої судження про важливість елементів у вигляді нечітких бінарних відносин нестрогої переваги елемента  $m_{j^*}$  до елемента  $m_{j^{**}}$ , ( $j^*, j^{**} = \overline{1, k}$ ). В свою чергу обробка результатів експертизи дозволяє перейти до бінарних відношень строгої переваги та до ядра нечіткого відношення строгої переваги, аргументи функції приналежності якого трактуються як рівні недетермінованих елементів множини. При порівнянні елементів експерт має вказати сумарну інтенсивність переваги, що припадає на обидва елемента та розподіляється між ними, та яка зазвичай дорівнює одиниці.

Якщо  $M$  є універсальна (звичайна) множина елементів, то суб'єктивна думка кожного  $l$ -го експерту,  $l = \overline{1, L}$  являє собою функцію приналежності виду  $\mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}(m', m'')$ ,  $m', m'' \in M$  нечіткої підмножини  $\tilde{R}_\geq$  бінарних відносин нестрогої переваги.

Відповідно до [15], нечітким відношенням  $\tilde{R}(m', m'')$  на звичайній множині  $M$  називають нечітку підмножину прямого декартового добутку розмірності  $M \times M$ , який характеризується функцією приналежності:  $\mu_{\tilde{R}} : M \times M \rightarrow [0, 1]$ , а значення  $\mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'')$  приймається як суб'єктивна міра відносини  $(m', m'') \in \tilde{R}$ . Кожен  $l$ -й експерт керується тим, що значення функції приналежності  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'')$  для кожної пари порівнюваних елементів означає ступінь виконання переваги: "елемент  $m'$  не гірше" елемента  $m''$ ". Виходячи з того, що нечітке відношення нестрогої переваги володіє властивістю рефлексивності, то справедливо ствердження  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 1$ . Якщо  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 0$ , то це означає, що або  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') > 0$ , тобто елемент  $m''$  "не гірше" елемента  $m'$ , або  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') = 0$ , тобто елемент  $m''$  і  $m'$  не можна порівнювати між собою. При попарному порівнянні експерти мають враховувати виконання умови нормування, з чого слідує, що  $\mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m')$ . Кожен експерт має суб'єктивне судження про нечітке бінарне відношення нестрогої переваги елементів множини, яке представляється функцією приналежності:

$$\mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)} = \left\| \mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}(m', m'') \right\|, m', m'' \in \tilde{R}, l = \overline{1, L}. \quad (1)$$

З урахуванням встановлених ваг експертів  $K_l$ ,  $l = \overline{1, L}$ , матриці  $\mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}$  усереднюються як

$$\mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') = \frac{\sum_{l=1}^L K_l \mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}(m', m'')}{\sum_{l=1}^L K_l}. \quad (2)$$

Процедура обробки результатів експертизи полягає в наступному. Матриця значень функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестро-

гої переваги  $\left\| \mu_{\tilde{R}_\geq}^{(1)}(m', m'') \right\|$  для співвідношення

$$\mu_{\tilde{R}_\geq} = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') - \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m'), \\ \text{якщо } \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') \geq \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m'); \\ 0, \text{ якщо } \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') < \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m') \end{cases} \quad (3)$$

має перетворитися в матрицю  $\mu_{\tilde{R}_\geq} = \left\| \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') \right\|$ , що включає значення функції приналежності нечіткого бінарного відношення строгої переваги.

Формування множини переважно доцільних елементів  $M_f \subset M$  пов'язано з необхідністю звуження множини  $M$ , що стає можливим при визначенні міри недетермінованості його елементів. Елемент  $m^{(q)} \in M$  є недетермінованим по відношенню строгої переваги, якщо серед інших елементів множини  $M$  не існує жодного такого  $m \in M$ , який був би строго переважним  $m^{(q)}$ , а підмножина недетермінованих елементів  $\{m^{(q)}\}$  складає ядро нечіткого відношення строгої переваги на  $M$ , тобто:

$$M_{\tilde{R}_\geq} = \left\{ m^{(q)} / \exists m \in M : m \succ m^{(q)}; \forall m, m^{(q)} \in M \right\}. \quad (4)$$

Ядро множини має функцію приналежності, яка з урахуванням (4), визначається як:

$$\mu_{M_{\tilde{R}_\geq}}(m) = \min_{m' \in M} (1 - \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'')), \forall m', m'' \in M. \quad (5)$$

Значимість компонент функції приналежності ядра нечіткого відношення строгої переваги дозволяє впорядкувати елементи множини за рівнями недетермінованості.

Отримані за результатами обробки (5) значення компонент функції приналежності ядра нечіткого відношення строгої переваги  $\mu_{M_{\tilde{R}_\geq}}(m)$  на універсальній множині  $M$  дозволяють упорядкувати елементи множини  $\{m_j\}$ ,  $j = \overline{1, k}$  за рівнями їх недетермінованості. З множини  $M$  виділяють підмножину  $M^* \in M$  до якої входять найбільш небезпечні фактори, що впливають на ситуацію обстановки. Якщо  $\mu_{M_{\tilde{R}_\geq}}(m) \geq 0,5$ , то множина чинників має вигляд:

$$M^{*(\alpha)} = \{ m_j^{(\alpha)} / \mu_{M_{\tilde{R}_\geq}} \geq \alpha : m_j^{(\alpha)} \in M_{\tilde{R}_\geq}, j = \overline{1, k} \}.$$

В практичному аспекті для АС УПР множина чинників, що впливають на ступінь безпеки ситуації обстановки, наприклад може мати такий вигляд:

$M = \{ \text{горизонтальний політ; політ по траєкторіях змінного профілю (набір висоти або зниження); відхилення повітряного судна (ПС) від маршруту польоту (або встановленої схеми); зближення повітряних суден; перетин зайнятого попутного / зустрічного ешелону із застосуванням поздовжнього і / або бокового ешелонування; польоти в особливих умовах; виникнення особливих випадків в польоті; політ на запасний аеродром}.$

В результаті проведення експертизи отримано значення функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрогої і строгої переваги, що на-

ведені в табл. 1. Згідно з виразом (5)  $\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m)$  для прикладу, що розглядається буде мати такий вигляд:

$\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) = \|$  1/горизонтальний політ; 0,8/політ по траєкторіях змінного профілю (набір висоти або зниження); 0,8/відхилення повітряного судна (ПС) від маршруту польоту (або встановленої схеми); 0,6/зближення повітряних суден; 0,4/перетин зайнятого попутного / зустрічного ешелону із застосуванням поздовжнього і / або бокового ешелонування; 0,4/польоти в особливих умовах; 0,3/виникнення особливих випадків в польоті; 0,3/політ на запасний аеродром  $\|$ .

Матрицю для строгої переваги параметрів для такої ситуації наведено в табл. 2.

Для випадку, коли рівень недетермінованості параметрів встановлено на рівні  $\alpha > 0,3$ , звужена множина небезпечних факторів, що впливають на ступінь небезпеки ситуації обстановки, буде мати наступний вигляд, а елементи будуть розташовуватися в порядку зменшення їх важливості:

$\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) = \|$  1/горизонтальний політ; 0,8/політ по траєкторіях змінного профілю (набір висоти або зниження); 0,8/відхилення повітряного судна (ПС) від маршруту польоту (або встановленої схеми); 0,6/зближення повітряних суден; 0,4/перетин зайнятого попутного / зустрічного ешелону із застосуванням поздовжнього і / або бокового ешелонування; 0,4/польоти в особливих умовах  $\|$ .

Таблиця 1 – Функції приналежності нечіткого відношення нестрокої переваги небезпечних факторів в АС УПР

$\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) =$	$\alpha_1$	1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_2$	0,4	1	0,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_3$	0,3	0,3	1	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_4$	0,4	0,6	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_5$	0,4	0,3	0,4	0,3	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_6$	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_7$	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	1	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_8$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_9$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_{10}$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	$\alpha_{15}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1	0,5
	$\alpha_{16}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	1

Таблиця 2 – Функції приналежності нечіткого відношення строгої переваги параметрів (приклад)

$\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) =$	$\alpha_1$	0	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_2$	0	0	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_3$	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_4$	0	0,2	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_5$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_6$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_7$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
	$\alpha_{14}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,8
	$\alpha_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таким чином, зі сформованої таким способом множини факторів, що впливають на ступінь небезпеки ситуації обстановки, з'являється можливість виявити сукупність факторів, які найбільш суттєво впливають на результати оцінювання обстановки. Це в підсумку дозволяє ОПР за необхідності сконцентруватися на отриманні додаткової інформації саме по сукупності даних чинників, та дозволяє в першу чергу враховувати саме їх значення при підготовці прийняття рішень по оцінці обстановки.

**Висновки**

В результаті проведеного дослідження для розв'язання поставленого завдання щодо формалізації знань про ступень небезпеки обстановки, в якості базового обрано апарат теорії нечітких множин, а саме застосовано метод обробки результатів експертизи, що дозволяє перейти до бінарних відношень

строкої переваги та до ядра нечіткого відношення строгої переваги. Аргументи функції приналежності якого трактуються як рівні недетермінованих елементів множини. При порівнянні елементів експертним шляхом задається сумарна інтенсивність переваги, що припадає на обидва елемента попарних порівнянь для недетермінованих значень ознак ситуації обстановки. Наведені процедури експертного відбору та обробки нечітких даних дозволяють в підсумку отримати кінцеву множину найбільш суттєвих чинників, що найбільш суттєво впливають на ступень складності обстановки. Це в підсумку дозволяє ОПР першочергово враховувати значення саме цих чинників при підготовці прийняття рішень по управлінню ПР.

Подальшим етапом дослідження є розробка методів подання інформаційних моделей, що враховують складність обстановки в зоні відповідальності органу управління АСУ УПР.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті: затв. наказом Державної авіаційної служби України від 25.11.2005 р. №895. – К.: Державна авіаційна служба України, 2005. – 20 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов / Doc. ICAO 9859-AN 474. – Монреаль: ICAO, 2013. – 300 с.
3. Аналіз стану безпеки польотів-2017. – К.: Державна авіаційна служба України, 2017. – 32 с.

4. Шмелева Т. Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.
5. Алдокин И.П. Теория принятия решений / И.П. Алдокин, И.В. Бубенко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 156 с.
6. Павленко М. А. Розподіл часу оцінки повітряної обстановки особою, що приймає рішення, в диспетчерській службі єдиної системи управління повітряним рухом / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, Ю. І. Полонський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 8. – С. 37-39.
7. Шмелева Т. Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.
8. Сікірда Ю. В. Оцінювання впливу організаційних факторів на безпеку польотів при управлінні повітряним рухом / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда, Д.О.Ткаченко // Збірник наукових праць ХУПС. – 2017. – №. 3(52). – С. 39-44.
9. Reason J. Managing the risks of organizational accidents. – Routledge. 2016. – 252 p.
10. Тимофеев С. Ю. Методика расчета потенциальных конфликтных ситуаций в автоматизированной системе планирования воздушного движения <https://naukovedenie.ru/pdf/104TVN214.pdf>.
11. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1995. – 480 с.
12. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.
13. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
14. Walter Bich. Evolution of the 'Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement' / Walter Bich, Maurice G. Cox, Peter M. Harris. // Metrologia. – 2006. – № 43. – P. 161-166.
15. Ярушек В.Е., Прохоров В.П., Судаков Б.Н., Мишин А.В. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления. – Харьков: ХВУ, 1993. – 446 с.
16. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М., С.-Пб., К., 2003. – 863 с.
17. Bellman R. Decision-making in a fuzzy environment / R. Bellman, L.Zadeh // Management science. - 1970. - V.17, № 4. – P. 141-164.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет “ХАГ”, Київ  
Received (Надійшла) 31.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

**Процедура процесса оценки степени опасности ситуаций обстановки  
для систем поддержки принятия решений АСУ воздушным движением**

М. А. Павленко, С. Г. Шило, И. А. Борозенець, О. Н. Дмитриев

В работе предложено аппарат формализации знаний по оценке степени опасности ситуации обстановки для систем поддержки принятия решений в автоматизированных системах управления воздушным движением, с учетом современных достижений разработки и внедрения систем поддержки принятия решений в сложных организационно-технических системах. Совершенствование ситуационного анализа обстановки для управления процессом информационной поддержки принятия решений оператором автоматизированных систем управления воздушным движением предусматривает повышение уровня автоматизации и интеллектуализации ряда задач к которым относятся оценка степени опасности ситуации обстановки, которая складывается в зоне ответственности органа управления; для решения поставленной задачи по формализации знаний о степени опасности обстановки, в качестве базового выбран аппарат теории нечетких множеств, а именно применен метод обработки результатов экспертизы, позволяет перейти к бинарным отношений строгой преимущества и к ядру нечеткого отношения строгой преимущества; проведена экспертиза для формирования множества опасных факторов, которые нужно обнаружить. Результаты данного исследования позволят лицу, принимающему решение в первую очередь учитывать значение определенных факторов, которые наиболее существенно влияют на степень сложности обстановки при подготовке принятия решений по управлению воздушным движением.

**Ключевые слова:** управление воздушным движением, автоматизация, принятие решений, оценка обстановки, степень опасности ситуации, принятия решений условиях риска и неопределенности, теория нечетких множеств.

**The procedure of the process of assessing the degree of the hazards of the situation of the setting  
for systems to support the acceptance of ac solutions of the air movement management**

M. Pavlenko, S. Shilo, I. Borosenets, O. Dmitriev

The paper proposed an apparatus for formalizing knowledge of assessing the degree of danger of a situation for a decision support system in automated air traffic control systems, taking into account the current advances in the development and implementation of decision support systems in complex organizational and technical systems. Improving the situational analysis of the situation to control the process of information support for decision-making by the operator of automated air traffic control systems provides for increasing the level of automation and intellectualization of a number of tasks which include assessing the degree of danger of the situation of the situation that develops in the area of responsibility of the management body; to solve the task of formalizing knowledge of the degree of danger of the situation, the apparatus of the theory of fuzzy sets was chosen as the base, namely, the method of processing the results of the examination was used, it allows to go over to binary relations of strict advantage and to the core of fuzzy relation of strict advantage; expertise was carried out to form a variety of hazards that need to be detected. The results of this study will allow the decision maker to primarily take into account the importance of certain factors that most significantly influence the degree of complexity of the situation when preparing decision-making on air traffic control.

**Keywords:** air traffic control, automation, decision-making, assessment of the situation, degree of danger of the situation, decision-making, conditions of risk and uncertainty, theory of fuzzy sets.

К. Ю. Сурков

Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## ДЕКОМПОЗИЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ В АДАПТИВНІЙ ТРЕНАЖЕРНІЙ СИСТЕМІ

Застосування адаптивних навчальних систем є напрямом вдосконалення навчальної діяльності диспетчерів управління повітряним рухом, зокрема на тренажерах. Доведено, що адаптивне навчання, яке включає штучний інтелект та гнучкі механізми формування індивідуально-адаптованих вправ, підвищує ефективність навчання порівняно з традиційним навчанням. Крім того, застосування адаптивного навчання дозволяє заощадити на витратах на професійну підготовку авіадиспетчерів за рахунок скорочення часу її проведення без зниження її ефективності. Процес адаптації складається з трьох етапів: вилучення інформації про користувача, обробка інформації для ініціалізації та оновлення моделі користувача і використання моделі користувача для забезпечення адаптації. Однією з головних проблем існуючих досліджень в сфері інтелектуальних навчальних систем є те, що в них не в повній мірі досліджено питання формування індивідуальних стратегій діяльності авіадиспетчерів на рівні моделей і алгоритмів для забезпечення ефективного зворотного зв'язку на протязі всіх етапів їх професійної підготовки. В існуючих тренажерних системах обслуговування повітряного руху не реалізовано завдання корекції навчальної діяльності. У статті розглянуті можливості формування адаптивного характеру і напрямку навчання в вигляді індивідуальних стратегій діяльності за допомогою структурованої множини режимів навчання, типових помилок за відповідними критеріями оцінки та окремих дій. Подальшими напрямками дослідження можна вважати визначення вагових коефіцієнтів важливості кожної помилки за відповідним критерієм оцінки та вагові коефіцієнти складності окремих дій. Розробка механізмів спостереження та аналізу сукупності помилок та їх причин.

**Ключові слова:** авіадиспетчер, адаптивні навчальні системи, індивідуалізація навчання, критерії оцінювання.

### Вступ

За останні роки у світовому масштабі спостерігається зростання інтенсивності повітряного руху. Підвищується вірогідність припущення помилок з боку диспетчерів управління повітряним рухом (УПР), не зважаючи на застосування ними сучасних методів контролю, регулювання і обслуговування повітряного руху та використання новітніх засобів автоматизації УПР. Забезпечення належного рівня безпеки та ефективності польотів висуває високі вимоги до рівня підготовки авіадиспетчерів. Теоретична і практична професійна підготовка на диспетчерських тренажерах є найважливішим компонентом базової підготовки диспетчерів УПР, в ході якої формується, підтримується та вдосконалюється система професійних знань, навичок і вмінь авіадиспетчерів.

Застосування адаптивних навчальних систем (АНС) є напрямом вдосконалення навчальної діяльності диспетчерів УПР, зокрема на тренажерах. Доведено, що адаптивне навчання, яке включає штучний інтелект та гнучкі механізми формування індивідуально-адаптованих вправ, підвищує ефективність навчання на 36%, порівняно з традиційним навчанням [1-4]. Крім того, застосування адаптивного навчання дозволить заощадити на витратах на професійну підготовку авіадиспетчерів за рахунок скорочення часу її проведення без зниження її ефективності. Дослідження в сфері адаптивного навчання проводились такими вченими, як Л.С. Байдич, О.В. Бевза, П.Л. Брусиловський, О.М. Гайтан, Р.П. Графов, А.С. Довбиш, О.В. Кравченко, О.С. Меньяйленко, Ж.М. Плакасова, А.В. Топчієв, В.А. Чулюков, П.І. Федорук, M. Driscoll, P. Karampiperis, Lora Aroyo, Riichiro Mizoguchi, Steven Oxman, William Wong, A.C. Graesser, M. Conley, D. Merrill, M. Elson-Cook, K. Van Lehn,

R.A. Sottolare, A.S. Patil, J.R. Anderson, M.T. Chi, P. Durlach, C.A. Farrington, A. Jordan, D. Merrill та ін. В цих дослідженнях визначаються такі складові АНС, як модель предметної області (модель контенту), модель користувача та модель процесу корекції діяльності (навчальна модель), що визначає механізми формування індивідуальних стратегій навчання. Так, P. Ardimento, N. Boffoli, V.N. Convertini, G. Visaggio [5] визначають середовище адаптивного електронного навчання як засіб створення досвіду навчання одночасно як для користувачів, так і для інструкторів, залежно від конфігурації безлічі елементів у певний період з метою підвищення ефективності навчання, значення яких вимірюються на підставі задалегідь визначених критеріїв. Процес адаптації складається з трьох етапів: вилучення інформації про користувача, обробка інформації для ініціалізації та оновлення моделі користувача і використання моделі користувача для забезпечення адаптації.

Дослідженням в області адаптивного навчання авіаційних операторів присвячені роботи С.М. Неділько, С.П. Борсука, І.І. Верещагіна, О.В. Ізвалова, М.А. Павленко, О.І. Тимочко, Г.С. Степанова, В.Г. Чернова, Ю.В. Чинченко та ін. Так, в дослідженні Ю.В. Борсука [6] подано адаптивні алгоритми навчання для авіаційних операторів, з використанням яких можуть корегуватися параметри роботи для кожного користувача залежно від його навчальних результатів шляхом поступового підвищення складності. Таким чином інформація про користувача впливає на роботу підсистем тренажера. М.А. Павленко, О.І. Тимочко, Г.С. Степанов [7] розглядають принципи побудови тренажерних систем підготовки операторів автоматизованих систем управління з використанням інтелектуальних інформаційних технологій. Автори вважають, що після визначення рівня

підготовки, за результатами вхідного контролю, та формування стратегії навчання відбувається процес ситуаційного адаптивного формування середовища навчання оператора в процесі тренажерної підготовки. В дослідженні О.В. Ізвалова [8] для впровадження індивідуально-орієнтованого підходу використовується поняття складності УПР, при цьому складна навчальна ситуація повинна відповідати поточному рівню розвитку умінь та навичок диспетчера УПР. В дослідженні Ю.В. Чинченко [9] адаптивність розглядається як можливість гнучкого налаштування системи до конкретних умов. Подано загальні індивідуальні стратегії професійної підготовки, які уявляють собою сукупність рекомендацій щодо форм, засобів, стандартів та типових професійних задач у кризових ситуаціях, які вирішує диспетчер УПР під час виконання тренувальних вправ.

### Основна частина

Однією з головних проблем існуючих досліджень в сфері інтелектуальних навчальних систем є те, що в них не в повній мірі досліджено питання формування індивідуальних стратегій діяльності (ІСД) авіадиспетчерів на рівні моделей і алгоритмів для забезпечення ефективного зворотного зв'язку на протязі всіх етапів їх професійної підготовки. В існуючих тренажерних системах обслуговування повітряного руху (ОПР) не реалізовано завдання корекції навчальної діяльності. Інформація, отримана системою під час роботи користувача, не впливає на роботу користувача в системі, не працює повноцінно зворотний зв'язок, не регулюється робота системи згідно з індивідуальними характеристиками користувача. Це призводить до неможливості формування адаптаційних процесів. Обсяг, зміст та складність тренувальних вправ повинні варіюватися, спи-

раючись на результати виконання вправ авіадиспетчерами, враховуючи їх індивідуальні особливості. Застосування індивідуального підходу до практичної підготовки авіадиспетчерів на тренажерах УПР, а саме формування та використання індивідуальних стратегій діяльності диспетчерів, дозволить підвищити її якість та забезпечить підтримку на потрібному рівні професійних знань, навичок та вмінь авіадиспетчерів.

Формування ІСД базується на визначенні помилок авіадиспетчерів при виконанні тренажерних вправ. Тому розглянемо існуючу систему оцінювання знань, навичок і вмінь на диспетчерських тренажерах, зокрема, проаналізуємо діючі нормативи оцінок та параметри, що підлягають оцінці, а також визначимо сукупність критеріїв оцінки, на яких ґрунтується визначення типових помилок авіадиспетчерів.

В Україні перевірка практичних навиків з обслуговування повітряного руху (ОПР) авіадиспетчерів здійснюється на робочих місцях (об'єктах ОПР/секторах органу) та диспетчерських тренажерах Украероруху і Льотній академії Національного авіаційного університету (ЛІА НАУ). Оцінка рівня підготовки авіадиспетчера, в залежності від призначення та особи, яка оцінюється, здійснюється: екзамінаторами/експертами Украероруху, керівними працівниками ОПР, відповідними диспетчерами-інструкторами. Оцінювання практичних навиків з ОПР проводиться за п'ятибальною шкалою. За результатами перевірки оформлюється Протокол перевірки практичних навиків з ОПР. Контроль рівня підготовленості курсантів-авіадиспетчерів в ТЦ ОПР ЛІА НАУ виконується за типовими технологічними операціями та нормативами, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Нормативи оцінок технологічних одиниць діяльності авіадиспетчерів

Технологічні операції / оцінка	Задачі № 2,3			Задачі № 4,5,6		
	«5»	«4»	«3»	«5»	«4»	«3»
1. Прийом чергування та підготовка робочого місця.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
2. Знання фактичної та прогнозованої погоди у зоні відповідальності.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
3. Дотримання правил радіозв'язку та фразеології радіообміну	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
4. Координація дій з органами ОПР та іншими службами.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
5. Ведення радіолокаційного контролю.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
6. Ведення процедурного контролю.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
7. Оперативність і правильність прийняття рішень при УПР.	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
8. Виконання пультових операцій	1-2 заув.	3 заув.	4 заув.	-	1 заув.	2 заув.
9. Дії диспетчера при ОПР у особливих умовах польоту	*	*	*	-	1 заув.	2 заув.
10. Дії диспетчера при ОПР у особливих випадках в польоті	*	*	*	-	1 заув.	2 заув.

\*- технологічна операція на даних задачах не оцінюється

Оцінка «2» ставиться за технологічну операцію: на задачах №2 та 3: більше 4-х зауважень; на задачах №4, 5, 6: більше 2-х зауважень. Загальна оцінка за вправу ставиться: при отриманні оцінки «2» по одній з технологічних операцій; при грубих порушеннях правил польотів і диспетчерського ОПР.

Всі задачі, окрім першої (ознайомлювальної) та другої (безконфліктне ОПР), пов'язані з вирішенням потенційно-конфліктних ситуацій у повітряному русі. Задачі 4, 5 і 6 передбачають комплексне ОПР з

наявністю конфліктів та аварійних ситуацій. Вправа, що відповідає 3-й задачі передбачає інтенсивність повітряного руху 12-14 ПС/год. з одночасним перебуванням на зв'язку до 4 ПС; перехід від простих метеоумов до складних; випуск більш швидкого ПС за менш швидким в одному напрямку. Характер повітряного руху: ПС, що вилітають, ПС, що прибувають та ПС, що виконують тренувальні польоти.

В якості критеріїв оцінки дій авіадиспетчерів для визначення ІСД в рамках адаптивної тренажер-

ної підготовки авіадиспетчерів застосовуються [10]:

1. *Критерій оцінки «Швидкість реагування на проблемну ситуацію (ТІ)»* – оцінюється витримування диспетчером вимог щодо виконання відповідних технологічних операцій (ТО) в межах проміжку часу, що є в нього на прийняття рішення, для успішного вирішення проблемної ситуації (зокрема, ПКС).

2. *Критерій оцінки «Оптимальність обраної стратегії управління для вирішення проблемної ситуації (ОМ)»*, із забезпеченням: безпеки польотів; економічності повітряного руху; ефективності взаємодії.

3. *Критерій оцінки «Безпомилковість виконання технологічних операцій(СО)»* – оцінюється правильність та доцільність виконання диспетчером певної ТО у складі відповідної процедури щодо вирішення проблемної ситуації згідно робочої інструкції, враховуючи поточну обстановку під час УПР, діючи обмеження на виконання польотів, доповіді, отриманих від екіпажу ПС, диспетчерів суміжної зони відповідальності, тощо.

4. *Критерій оцінки «Результативність вирішення проблемної ситуації за показником забезпечення безпеки польотів (RS)»* – оцінюються фактичні результати вирішення проблемної ситуації авіадиспетчером за показником забезпечення безпеки польотів (наприклад, рішення ПКС/конфліктних ситуацій (КС) з різними наслідками).

Помилки за останнім критерієм є визначальною для нормативної оцінки: відноситься до категорії «критичних» помилок, та по суті є наслідком грубих порушення правил польотів та УПР (зокрема, правил та норм ешелонування ПС). До порушення безпечно ешелонування ПС можуть призвести помилки у своєчасності реагування на ПКС, якість прийнятого авіадиспетчером рішення та безпомилковість його реалізації, на яких і ґрунтуються відповідні ІСД.

Помилки за вищенаведеними критеріями розглядаються нами, для прикладу, з позиції рішення авіадиспетчером ПКС/КС. Характерні потенційно-небезпечні або небезпечні проблемні ситуації за участю двох або більше ПС, можливо класифікувати:

- *потенційно-конфліктна ситуація (ПКС)* – це таке взаємне розташування ПС та взаємозв'язок траєкторій їх польоту, яке через деякий час обов'язково призведе до конфліктної ситуації без втручання авіадиспетчера, тобто до порушення інтервалів між ПС;

- *конфліктна ситуація (КС)* – це зближення ПС на інтервали менше за нормативні, коли вже має місце порушення інтервалів ешелонування між ПС, але ще відсутнє небезпечне зближення ПС;

- *небезпечне зближення ПС (НЗ)* – це незаплановане завданням на політ зближення ПС між собою на інтервали менше половини від встановлених відповідними правилами ешелонування ПС.

В основі вказаних вище умов лежать такі мінімуми ешелонування:

- у вертикальній площині між суміжними рівнями польоту: 1000ф. до FL290 включно (у повітряному просторі (ПП) без зменшеного інтервалу вертикального інтервалу між ПС (RVSM)) / до FL410 вкл. (у ПП з RVSM); 2000ф. вище FL290 (у ПП без RVSM) / вище FL410;

- в горизонтальній площині: 10 NM (18.5 KM) у ПП СТА та 5 NM (9.3 KM) у ПП ТМА.

Під успішним вирішенням ПКС мається на увазі не лише недоведення потенційно-конфліктної ситуації до конфліктної, при якій відбувається фактичне порушення встановлених мінімальних інтервалів між ПС, але і є безпечним за наслідками у випадку успішного вирішення поточної ПКС без ускладнення повітряної обстановки, тобто без створення вторинної або групової ПКС/КС.

При оцінюванні швидкості реагування диспетчерів УПР в контексті конфліктних ситуацій і запобігання зіткненням між ПС, можна розглядати часові інтервали, на протязі яких спостерігаються певні типові події: спрацювання функції середньострокового виявлення конфлікту (MTCD), отримання авіадиспетчером сповіщення від функції короткострокового сповіщення про конфлікт (STCA) в режимах «Prediction» та «Violation», надання пілоту ПС рекомендації від бортової системи попередження зіткнень повітряних суден у повітрі про вирішення загрози зіткнення (TCAS RA). Однак спрацювання функції STCA, тем більше MTCD, не може виступати однозначним показником наявності ПКС/КС і виступати мірою несвоєчасності або оперативності дій авіадиспетчера з причини можливої появи хибних та зайвих попереджень. Крім того, треба мати на увазі, що STCA не є засобом підтримки управління, а виступає лише допоміжним інструментом для авіадиспетчера. Тому до складу елементів діяльності (компонентів вправи), з використанням яких здійснюється формування ІСД, входять такі, як виникнення випадкових похибок, хибних сповіщень або відмов функції STCA або взагалі робота авіадиспетчера при її повній деактивації. Це необхідно для того, щоб навчити авіадиспетчера не покладатися лише на наземні засоби автоматизації визначення конфліктів, а самому вірно аналізувати повітряну обстановку та адекватно реагувати на згенеровані сповіщення STCA.

Отже, в якості часового параметру оперативності реагування авіадиспетчером на ПКС доцільно застосовувати такий показник, як «час до точки максимального зближення ПС» (ТСПА), а лінійним параметром, що характеризує ступінь своєчасності реакції авіадиспетчера на ПКС/КС між ПС, виступає універсальний показник – «фактор ешелонування ПС» (SF). ТСПА – це значення часу, що виступає основним параметром для надання сповіщень пілоту системою TCAS та визначає тип сигналу: ТА (Traffic advisory) або RA (Resolution advisory). З метою визначення ступеню серйозності(небезпечності) ПКС/КС (за нормативами Євроконтролю) застосовується така формула [11]:

$$SF = \max \left( \frac{H_{sep}}{H_{min}}, \frac{V_{sep}}{V_{min}} \right), \quad (1)$$

де SF – максимальний коефіцієнт пропорційності горизонтальних та вертикальних дистанцій між ПС,  $H_{sep}$  та  $V_{sep}$  – горизонтальна та вертикальна дистанція між ПС відповідно, та – відповідні мінімуми ешелонування ПС.



Застосування саме фактору ешелонування для визначення своєчасності дій авіадиспетчера у відповідь на ПКС/КС дозволяє більш точно диференціювати помилки за цим критерієм. У загальному випадку: при  $SF \geq 1$  – безпечне ешелонування забезпечено; при  $SF < 1$  – має місце порушення нормативних інтервалів між ПС. За точку відліку приймається Point of Minimum Separation (POMS) – точка мінімальної відстані між ПС при їх зближенні у часових рамках існування конфлікту.

Критерій оцінки «швидкість реагування на проблемну ситуацію авіадиспетчером» є комплексним критерієм, оскільки охоплює собою такі сторони швидкодії авіадиспетчера, як оперативність, так і своєчасність виконання відповідних операцій. Помилки за цим критерієм, що розглядаються в контексті забезпечення ешелонування диспетчером районного диспетчерського центру (РДЦ), можна класифікувати наступним чином:

*Перша група.* Передтактичні та тактичні помилки в реагуванні на ПКС. Характеристика: Відсутність реакції з боку диспетчера радіолокаційного контролю (РЛК) на ПКС, при умові отримання вірної польотної інформації, до настання факту порушення безпечних інтервалів між ПС та/або до моменту спрацювання функції STCA. При цьому треба враховувати такі важливі фактори:

- дійсно мали місце потенційно-конфліктні траєкторії польоту ПС або факт надання екіпажу ПС вказівок/дозволів, що призводили до утворення ПКС;

- були відсутні ситуація раптової зміни траєкторії польоту ПС у вертикальній площині та ефект «levelbust», тобто ситуації, коли авіадиспетчер вимушений вже мати справу з фактом порушення нормативних інтервалів між ПС. У таких випадках, припущення авіадиспетчером передтактичної і тактичної помилок не враховується.

До першої групи помилок відносяться такі класи помилок:

1.1 Передтактичні помилки в виявленні ПКС фіксуються у випадку відсутності реакції авіадиспетчера при  $TCPA > 4 \text{ mins}$ .

1.2 Тактичні помилки в ранньому реагуванні на ПКС визначаються за умови відсутності відповідних дій авіадиспетчера.

1.3 Тактичні помилки у пізньому реагуванні на ПКС визначаються за умови:

$$TCPA \geq 2 \text{ min } s \text{ AND } (SF > 1). \quad (2)$$

Друга група. Тактичні помилки, пов'язані з виникненням КС. Характеристика: Відсутність реакції з боку диспетчера радіолокаційного контролю (РЛК) на ПКС, при умові отримання вірної польотної інформації, що призвело до порушення безпечних інтервалів між ПС, тобто у загальному випадку  $SF < 1$ . До 2-ї групи помилок відносяться такі класи помилок:

2.1 Тактичні помилки в реагуванні авіадиспетчером на КС при незначному порушенні інтервалів між ПС мають місце при:

$$0,8 \leq SF < 1. \quad (3)$$

2.2 Тактичні помилки в реагуванні авіадиспетчером на КС при суттєвому порушенні інтервалів між ПС відповідають виконанню умови:

$$0,5 \leq SF < 0,8. \quad (4)$$

*Третя група.* Тактичні помилки, пов'язані з виникненням НЗ. Характеристика: помилки в ситуації небезпечного зближення ПС до моменту, коли екіпаж ПС звітує про виконання маневру, викликаного попередженням TCAS в режимі RA. До третьої групи помилок відносяться такі класи помилок:

3.1 Тактичні помилки в реагуванні авіадиспетчером на НЗ при значному порушенні інтервалів між ПС з запасом часу до потенційної TCAS RA. Авіадиспетчер надав вказівку для розходження пізно, але – у пілота ще є час виконати маневр для розходження:

$$(0,2 \leq SF < 0,5) \text{ AND } (T_{\text{react}} \leq t_{\text{col}} - t_{\text{RA}} - \Delta t), \quad (5)$$

де  $T_{\text{react}}$  – фактичний час реакції авіадиспетчера на ПКС (надання вказівки для розходження);  $t_{\text{col}}$  – розрахунковий час зіткнення ПС;  $t_{\text{RA}}$  – поріг спрацювання TCAS в режимі надання пілоту рекомендації щодо виконання маневру для розходження ПС ( $t_{\text{RA}}=35 \text{ сек.}$ );  $t$  – запас часу на виконання дій пілотом ПС до спрацювання TCAS RA.

3.2 Тактичні помилки в реагуванні авіадиспетчером на НЗ при значному порушенні інтервалів між ПС безпосередньо перед TCAS RA. Надав вказівку для розходження дуже пізно – часовий проміжок від диспетчерської вказівки до TCAS RA є достатнім для початку виконання маневру ПС для розходження, але не достатнім для його завершення:

$$0,2 \leq SF < 0,5. \quad (6)$$

Фіксація помилок у несвоєчасному виявленні проблем (конфліктів) у повітряному русі за ступенем небезпечності передбачає визначення етапу їх припущення у часовому вимірі за розвитком проблемної ситуації з ПС. Рівень та характер загроз визначаються, по-перше, етапом розвитку проблемної ситуації, на якому диспетчер відреагував на неї, по-друге, контекстом, у якому відбулася подія. Тому серед базових характеристик типових помилок, окрім груп і класів помилок, фіксуються типи конфліктів та обставини, у яких авіадиспетчер припустив помилку в швидкості в реагуванні на ПКС. Це дає змогу більш точно формувати ІСД для корегування відповідних груп навичок авіадиспетчерів. Приклад таких помилок наведений у табл. 2 і 3.

Професійне навчання авіадиспетчерів в контексті формування навичок, зокрема щодо дій з вирішення ПКС, ґрунтується на таких загальних різновидах характеру навчальної діяльності:

1) *формування і закріплення* (відпрацювання навичок в ідентичних або дуже схожих ситуаціях);

2) *поглиблення* (відпрацювання навичок в нових умовах повітряної обстановки та нестандартних ситуаціях);

3) *ускладнення* (введення в навчальну вправу ускладнюючих елементів: випадкових помилок, відказів; високого рівня навантаження та його динамічної зміни тощо);

Таблиця 2 – Типові помилки у швидкості реагування на ПКС/КС диспетчером РДЦ за типами ПКС

№	Помилки за типом ПКС/КС
1	Часова помилка в реагуванні на наявність ПКС/КС при попутному горизонтальному польоті конфліктуючих ПС на одному рівні (різниця в швидкостях польоту між ними може привести/привела до конфлікту).
2	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації, коли конфліктуючі ПС слідували на курсах, що перетинаються, в горизонтальному польоті.
3	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС при слідуванні хоча б одного з ПС в змінному профілі польоту за траєкторіями, що перетинаються на попутному курсі на одному і тому ж маршруті польоту: 3.1) в наборі висоти; 3.2) в зниженні.
4	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації, коли хоча б одне з конфліктуючих ПС слідувало на курсах, що перетинаються, зі зміною рівня польоту ПС: 4.1) в наборі висоти; 4.2) в зниженні.
5	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації, коли хоча б одне з конфліктуючих ПС виконувало політ на зустрічному курсі з перетином зайнятого ешелону польоту: 5.1) в наборі висоти; 5.2) в зниженні.
6	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації, коли конфліктуючі ПС виконували політ на зустрічному курсі в горизонтальному польоті на одному рівні (у випадку порушення порядку ешелонування одним із ПС).

Таблиця 3 – Типові помилки у швидкості реагування на ПКС/КС диспетчером РДЦ за обставинами розвитку ПКС/КС

№	Помилки за обставинами припущення
1	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації відхилення ПС від заданої траєкторії польоту з вини пілота, який не вніс необхідних змін до поточного плану польоту ПС або внаслідок несправності бортового устаткування при: 1.1) бічному відхиленні ПС від траси; 1.2) невитримуванні швидкісного режиму; 1.3) невитримуванні розрахункового часу прольоту наступної контрольної точки.
2	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС в ситуації незапланованої зміни параметрів польоту ПС внаслідок помилки під час зв'язку з пілотом ПС при: 2.1) наданні дозволу або вказівки не тому ПС, якому передбачалося; 2.2) отриманні вірного підтвердження своєї вказівки від пілота не того ПС, якому призначалася вказівка; 2.3) відсутності корегування або невірному виправленні підтвердження з помилкою з боку екіпажа ПС.
3	Часова помилка в реагуванні на ПКС/КС між ПС, що затверджені до польотів з RVSM та ПС, що немає такого допуску: 3.1) диспетчер надав дозвіл на вхід у ПП RVSM цивільному ПС, що не затверджене до польотів з RVSM з витримуванням мінімуму RVSM (1000ф); 3.2) диспетчер надав дозвіл державному ПС на зайняття рівня з RVSM, що не мало відповідного затвердження.
4	Часова помилка в реагуванні на КС, надавши вказівку на зміну рівня польоту ПС занадто пізно, що призвело до «levelbust» (несанкціонованому вертикальному відхиленню більш ніж на 300 футів (в ПП з RVSM 200 футів) від дозволеного рівня польоту ПС), або коли ПС, що набирало висоту або знижувалося, не вдалося вирівнятися точно на заданому рівні.
5	Часова помилка в реагуванні на створений конфлікт в суміжній зоні відповідальності при: 5.1) направленні двох чи декількох ПС, що виконували політ на одному рівні, в одну точку виходу без зміни ешелону; 5.2) призначенні невірної точки виходу ПС з сектору, наданням вказівки без повторної перевірки запланованого маршруту та направленням ПС за незапланованим маршрутом.

4) розширення (інтегрування часткового навичку до комплексного навичку).

При цьому необхідно враховувати новизну навичку, що формується.

Оскільки рішення ПКС авіадиспетчером передбачає вибір найбільш раціонального методу, то і до вправ, пов'язаних з вирішенням конфліктів повинні включатися завдання двох рівнів, спрямованих на відпрацювання:

1) навичку вибору оптимального способу і шляху вирішення завдань з вирішення ПКС у штатних умовах;

2) навичку вибору оптимального способу і шляху вирішення завдань з вирішення ПКС в умовах невизначеності.

В основі процедури корекції навчальної діяльності на тренажерах лежать окремі навчальні дії, з яких формуються *індивідуальні стратегії діяльності*. Після проведення вхідного або поточного конт-

ролю, оцінювання та аналізу типових помилок, система, у загальному випадку, може сформувати та рекомендувати такі базові навчальні дії:

1) опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушені в ході виконання навчального завдання;

2) повторне виконання вправи, в якій були зроблені помилки;

3) виконання нової вправи з ситуаціями при вирішенні яких були зроблені помилки.

Вхідна вправа є комплексною, що включає в себе всі можливі типи ПКС/КС. Корекція здійснюється в контексті помилок, зроблених за певним типом ПКС, починаючи від режиму «Відновлення» (здійснюється формування та закріплення навичок) і завершуючи виконанням вправи в режимі «Вдосконалення» (табл. 4). В режимах «Підвищення», «Допрацювання» та «Підтримання» поступово реалізуються механізми формування, закріплення і по-

глиблення набутих навичок. Режим «Вдосконалення» пов'язаний з введенням до ІСД складних ПКС та найбільш ускладнюючих елементів діяльності (імітація відмов, помилок тощо) на фоні підвищеного навантаження та його різких коливань. Режим стає доступним лише при безпомилковому вирішенні «простих» ПКС відповідного типу, тобто ПКС

між паровою ПС або групових ПКС низької складності ідентифікації та вирішення. Коли всі ПКС опрацьовано, пройдено режим «Вдосконалення», здійснюється перехід до виконання вправи з різними типами ПКС, але вже для формування комплексного навичку з вирішення ПКС, таким чином здійснюється «розширення» навичку.

Таблиця 4 – Структура адаптивної тренажерної підготовки авіадиспетчерів на прикладі відпрацювання завдань з вирішення ПКС

Режим	Етап/ Результат тренажу	Критерії оцінки, за якими були зроблені помилки	Приклади окремих дій* (нумерація згідно переліку)
Відновлення/ Refresher (R)	<b>1 етап</b> > 4 помилок / грубі порушення з позиції БП. «2 <sup>5</sup> », 1R <sub>2</sub> <sup>5</sup>	(TI)	1, 2, 3 + 10... (1R <sub>2</sub> <sup>5</sup> (TI))
		(OM)	1, 2, 3 + 16... (1R <sub>2</sub> <sup>5</sup> (OM))
		(CO)	1, 2, 3... (1R <sub>2</sub> <sup>5</sup> (CO))
	<b>2 етап</b> > 2 помилок / грубі порушення з позиції БП. «2 <sup>3</sup> », 2R <sub>2</sub> <sup>3</sup>	(TI)	1, 2, 3 + 10... (2R <sub>2</sub> <sup>3</sup> (TI))
		(OM)	1, 2, 3 + 16... (2R <sub>2</sub> <sup>3</sup> (OM))
		(CO)	1, 2, 3... (2R <sub>2</sub> <sup>3</sup> (CO))
Підвищення/ Advance (A)	<b>1 етап</b> 4 помилки «3 <sup>4</sup> », 1A <sub>3</sub> <sup>4</sup>	(TI)	4, 5 + 10, 11... (1A <sub>3</sub> <sup>4</sup> (TI))
		(OM)	4, 5 + 17... (1A <sub>3</sub> <sup>4</sup> (OM))
		(CO)	4, 5... (1A <sub>3</sub> <sup>4</sup> (CO))
	<b>2 етап</b> 2 помилки «3 <sup>2</sup> », 2A <sub>3</sub> <sup>2</sup>	(TI)	4, 5 + 10, 11... (2A <sub>3</sub> <sup>2</sup> (TI))
		(OM)	4, 5 + 17... (2A <sub>3</sub> <sup>2</sup> (OM))
		(CO)	4, 5... (2A <sub>3</sub> <sup>2</sup> (CO))
Доопра- цюв./Finalizatio n (F)	<b>1 етап</b> 3 помилки «4 <sup>3</sup> », 1F <sub>4</sub> <sup>3</sup>	(TI)	4, 5, 6 + 11, 12... (1F <sub>4</sub> <sup>3</sup> (TI))
		(OM)	4, 5, 6 + 17... (1F <sub>4</sub> <sup>3</sup> (OM))
		(CO)	4, 5, 6... (1F <sub>4</sub> <sup>3</sup> (CO))
	<b>2 етап</b> 1 помилка «4 <sup>1</sup> », 2F <sub>4</sub> <sup>1</sup>	(TI)	4, 5, 6 + 11, 12... (2F <sub>4</sub> <sup>1</sup> (TI))
		(OM)	4, 5, 6 + 17... (2F <sub>4</sub> <sup>1</sup> (OM))
		(CO)	4, 5, 6... (2F <sub>4</sub> <sup>1</sup> (CO))
**	<b>1 етап</b> 1-2 помилки, «5 <sup>1-2</sup> », 1M <sub>5</sub> <sup>1-2</sup>	(TI)	4, 5, 6, 7 + 11, 12, 13... (1M <sub>5</sub> <sup>1-2</sup> (TI))
		(OM)	4, 5, 6, 7 + 17... (1M <sub>5</sub> <sup>1-2</sup> (OM))
		(CO)	4, 5, 6, 7... (1M <sub>5</sub> <sup>1-2</sup> (CO))
***	<b>2 етап</b> , Без помилок, «5 <sup>0</sup> », 2I <sub>5</sub> <sup>0</sup>	(TI)	4, 5, 6, 7, 8, 9 + 11, 12, 13, 14, 15... (2I <sub>5</sub> <sup>0</sup> (TI))
		(OM)	4, 5, 6, 7, 8, 9 + 17... (2I <sub>5</sub> <sup>0</sup> (OM))
		(CO)	4, 5, 6, 7, 8, 9 + 18, 19, 20... (2I <sub>5</sub> <sup>0</sup> (CO))

(TI) - критерій швидкості реагування; (OM) - критерій оптимальності; (CO) - критерій безпомилковості.

\* Перелік окремих дій наведений для прикладу та не є вичерпним. Крім того, на 2-му етапі тренажу поданий перелік стосовно конфліктного УПР доповнюється елементами діяльності, що мають відношення до роботи авіадиспетчера при виникненні аварійних ситуацій на борту ПС.

\*\* Підтримання / Maintaining (M).

\*\*\* Вдосконалення / Improvement (I).

До окремих дій, тобто варіативних компонент, з яких формуються ІСД з вирішення авіадиспетчером ПКС в тренажерній системі, відносяться: 1. За всіма критеріями (універсальна група):

- опрацювання пунктів нормативних документів, що стосуються забезпечення норм ешелонування ПС.

- повторний перегляд льотно-технічних характеристик (ЛТХ) ПС (зокрема, горизонтальних, вертикальних швидкостей набору/зниження) та їх обмежень.

Повторне виконання тієї ж самої вправи: умови існування та параметри ПКС, при вирішенні яких були зроблені помилки, залишаються без змін.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, при вирішенні яких були зроблені помилки, але зі зміненими параметрами існування таких ситуацій: час, місце, повітряні судна: їх позивні, ЛТХ, допуск до польотів у ПП з RVSM, маршрути польоту тощо.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, при вирішенні яких були зроблені помилки, але з генеруванням незначних незапланованих змін у планах польоту ПС в ході виконання польоту, які не призведуть до руйнування «запланованих» ПКС.

- виконання нової вправи зі зміненими зовнішніми умовами виникнення та розвитку ідентичних ПКС, при вирішенні яких були зроблені помилки: введення складних метеоумов або їх швидких змін, обмежень на використання повітряного простору, підвищеної інтенсивності повітряного руху, інших ускладнюючих факторів.

- виконання нової вправи з груповими ПКС, у складі яких мають місце ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, при чому всі ПС, що «задіяні» у ПКС, мають приблизно однакові ЛТХ.

- виконання нової вправи з груповими ПКС, у складі яких мають місце ПКС того типу, в ході іс-

нування яких були зроблені помилки, за участю одночасно декількох ПС з різними ЛТХ.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, в умовах «пікового» навантаження (різкий перехід від низької інтенсивності до високої і навпаки з характерними ПКС).

#### 2. За критерієм своєчасності:

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, із заздалегідь деактивованою функцією STCA.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, на вході чи на виході ПС із зони відповідальності авіадиспетчера.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з генеруванням «хибних» сповіщень функції STCA у випадкові моменти часу.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з неспрацюванням функції STCA при існуванні реальних ПКС або короткостроковим зникненням сповіщень у довільні моменти часу.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з генеруванням несподіваних маневрів ПС у вертикальній або горизонтальній площині.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з генеруванням нестійкої роботи системи спостереження повітряного руху, перешкод та/або засвічень на індикаторі.

#### 3. За критерієм оптимальності:

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, при чому умови існування та вирішення таких ПКС передбачають їх вирішення чітко визначеним способом.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, при чому обов'язковою умовою вирішення таких ПКС є вибір оптимального методу їх вирішення (діючі

умови та обмеження повітряної обстановки надають таку можливість).

#### 4. За критерієм безпомилковості:

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з імітуванням суттєвих відхилень польоту ПС від плану польоту та умов диспетчерського дозволу.

- виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з генеруванням випадкових помилок з боку пілотів ПС, суміжних органів тощо, пов'язаних з правилами радіообміну та застосуванням фразеології радіообміну.

Виконання нової вправи з ПКС того типу, в ході існування яких були зроблені помилки, з імітуванням «засміченості» зв'язку.

Для запобігання виникнення ефекту інтерференції навичок або їх негативного переносу (при заміщенні «старих» навичок новими) та для більш свідомого формування нових навичок, застосовується загальний підхід до формування ІСД в режимі «Відновлення», а саме: виконання нової вправи з ПКС, що передбачають застосування нових навичок їх вирішення, з обов'язковим коментуванням (поясненням) авіадиспетчером своїх дій.

При формуванні корекційної вправи розглянуті дії можуть комбінуватися в залежності від зроблених авіадиспетчером помилок за певним критерієм оцінки та більше, ніж за одним критерієм оцінки.

### Висновки

Таким чином, структурована множина режимів навчання, типових помилок за відповідними критеріями оцінки та окремих дій формує адаптований напрям і характер навчання у вигляді ІСД. Подальшими напрямками дослідження вважаємо визначення вагових коефіцієнтів важливості кожної помилки за відповідним критерієм оцінки та вагові коефіцієнти складності окремих дій. Сукупність помилок та їх причин, варіативні елементи діяльності з відповідними вагами складатимуть основу моделі вибору ІСД за відповідними критеріями оцінки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wickens, C.D., Hutchins, S., Carolan, T., Cumming, J. Effectiveness of Part-Task Training and Increasing-Difficulty Training Strategies: A Meta-Analysis Approach, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, July 2012. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Christopher\\_Wickens/publication/236926003\\_Effectiveness\\_of\\_Part-Task\\_Training\\_and\\_Increasing-Difficulty\\_Training\\_Strategies\\_A\\_Meta-Analysis\\_Approach/links/570515c408ae74a08e27108f/Effectiveness-of-Part-Task-Training-and-Increasing-Difficulty-Training-Strategies-A-Meta-Analysis-Approach.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christopher_Wickens/publication/236926003_Effectiveness_of_Part-Task_Training_and_Increasing-Difficulty_Training_Strategies_A_Meta-Analysis_Approach/links/570515c408ae74a08e27108f/Effectiveness-of-Part-Task-Training-and-Increasing-Difficulty-Training-Strategies-A-Meta-Analysis-Approach.pdf) (accessed 03.05.2018).
2. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
3. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности. – 2018. – № 2(4). – С. 12-18. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
4. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
5. Ardimento, P., Boffoli, N., Convertini, V.N., Visaggio, G. Decision table for adaptive e-learning systems, Education in a Technological World: Communicating Current and Emerging Research and Technological Efforts, Publisher: Formatex Research Center, Editors: A. Mendez-Vilas, December 2011. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Pasquale\\_Ardimento/publication/257903517\\_Decision\\_table\\_for\\_adaptive\\_e-learning\\_systems/links/0deec526109b7827b0000000/Decision-table-for-adaptive-e-learning-systems.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pasquale_Ardimento/publication/257903517_Decision_table_for_adaptive_e-learning_systems/links/0deec526109b7827b0000000/Decision-table-for-adaptive-e-learning-systems.pdf) (accessed 03.05.2018).

6. Борсук, С. П. Адаптивне навчання операторів на функціональному тренажері [Текст] : автореф. дис. канд. тех. наук : 05.07.14 / Борсук Сергій Павлович; Нац. авіац. ун-т. - К., 2011. - 23 с.
7. Принципы построения перспективных тренажерных систем подготовки операторов АСУ динамическими объектами [Электронный ресурс] / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Г.С. Степанов, В. Г. Чернов // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2014. - № 1. - С. 112-117. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2014\\_1\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2014_1_24). - 03 травня 2018.
8. Извалов, А. В. Разработка алгоритмов автоматической генерации упражнения на диспетчерском тренажере для развития требуемых навыков [Текст] / А.В. Извалов, В.Н. Неделько, С.Н. Неделько. // Наукові праці академії. – Вип. XII. – Кіровоград, 2007. – С. 274-282.
9. Чинченко, Ю. В. Модели і алгоритми автоматизованого управління рівнем готовності авіадиспетчерів до дій в кризових ситуаціях [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Чинченко Юрій Володимирович ; Національний транспортний ун-т. - К., 2004. - 20 с.
10. Математические основы эргономических исследований : монография / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, Н. Г. Кучук, Д. Н. Обидин, М.А. Павленко, А.В. Петров, В.Н. Руденко, О.И. Тимочко. – Кропивницький : КЛА НАУ, 2016. – 248 с.
11. Model-based performance evaluation of STCA operations: Interimreport (Phase 2). – PASS/WA2/WP9/137/D, ver. 1.1, February 2010. – 79 p.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет "ХАІ", Київ  
Received (Надійшла) 31.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

### **Декомпозиция деятельности диспетчера управления воздушным движением в адаптивной тренажерной системе**

К. Ю. Сурков

Применение адаптивных обучающих систем является направлением совершенствования учебной деятельности диспетчеров управления воздушным движением, в частности на тренажерах. Доказано, что адаптивное обучение, которое включает искусственный интеллект и гибкие механизмы формирования индивидуально-адаптированных упражнений, повышает эффективность обучения по сравнению с традиционным обучением. Кроме того, применение адаптивного обучения позволяет сэкономить на расходах на профессиональную подготовку авиадиспетчеров за счет сокращения времени ее проведения без снижения ее эффективности. Процесс адаптации состоит из трех этапов: извлечение информации о пользователе, обработка информации для инициализации и обновления модели пользователя и использования модели пользователя для обеспечения адаптации. Одной из главных проблем существующих исследований в области интеллектуальных обучающих систем является то, что в них не в полной мере исследованы вопросы формирования индивидуальных стратегий деятельности авиадиспетчеров на уровне моделей и алгоритмов для обеспечения эффективной обратной связи на протяжении всех этапов их профессиональной подготовки. В существующих тренажерных системах обслуживания воздушного движения не реализована задача коррекции учебной деятельности. В статье рассмотрены возможности формирования адаптивного характера и направления обучения в виде индивидуальных стратегий деятельности с помощью структурированной множества режимов обучения, типичных ошибок по соответствующим критериям оценки и отдельных действий. Дальнейшими направлениями исследования можно считать определение весовых коэффициентов важности каждой ошибки по соответствующему критерию оценки и весовые коэффициенты сложности отдельных действий. Разработка механизмов наблюдения и анализа совокупности ошибок и их причин.

**Ключевые слова:** авиадиспетчер, адаптивные обучающие системы, индивидуализация обучения, критерии оценивания.

### **Decomposition of the activity of the air traffic control manager in the adaptive training system**

K. Surkov

The use of adaptive learning systems is a direction for improving the training activities of air traffic control controllers, in particular on simulators. It is proved that adaptive learning, which includes artificial intelligence and flexible mechanisms for the formation of individually-adapted exercises, increases the effectiveness of learning compared with traditional training. In addition, the use of adaptive learning can save on the cost of training air traffic controllers by reducing the time spent without reducing its effectiveness. The process of adaptation consists of three phases: extracting user information, processing information for initialization, and updating the user model and using the user model for adaptation. One of the main problems of existing research in the field of intellectual educational systems is that they do not fully investigate the issue of the formation of individual strategies for air traffic controllers at the level of models and algorithms to provide effective feedback throughout all stages of their professional training. In the existing aeronautical training systems, the task of correction of educational activity is not realized. In the article the possibilities of forming an adaptive character and direction of study in the form of individual strategies of activity are examined with the help of structured set of study modes, typical errors according to the relevant criteria of evaluation and individual actions. Further research directions can be considered determination of weight coefficients of the importance of each error according to the relevant criterion of evaluation and weighting factors of the complexity of individual actions. Development of mechanisms for observing and analyzing the set of errors and their causes.

**Keywords:** air traffic controller, adaptive learning systems, individualization of training, assessment criteria.

Г. В. Худов<sup>1</sup>, Г. В. Місюк<sup>1</sup>, О. О. Олексенко<sup>1</sup>, Р. Ю. Райков<sup>2</sup>, О. О. Безклубенко<sup>1</sup>, В. Ю. Добрев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Військова частина А1451, Україна

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИМИ ЗАСОБАМИ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

**Предметом** вивчення в статті є шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Метою** є аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Завдання:** аналіз основних тенденцій розвитку малорозмірних повітряних об'єктів щодо зменшення їх радіолокаційної помітності, основних льотно-технічних характеристик малорозмірних повітряних об'єктів, тенденцій розвитку радіолокаційних систем контролю повітряного простору, основних методів зниження ефективної поверхні розсіювання, методів виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, визначення особливостей радіолокаційного виявлення малорозмірних повітряних об'єктів. Використовуваними **методами** є: методи аналізу і синтезу складних інформаційних систем, методи радіолокації, методи імітаційно-статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Встановлено, що при вирішенні завдання контролю повітряного простору виникає невідповідність між вимогами до ефективності вирішення завдань радіолокаційного контролю, а саме, виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, та можливостями сучасних засобів ведення радіолокаційного контролю повітряного простору. Встановлено, що використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів приводить до збільшення потрібної кількості радіолокаційних станцій, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля. Визначені альтернативні шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Висновки.** Напрямок подальших досліджень є використання сучасних радіолокаційних технологій, що потребують розробки та впровадження.

**Ключові слова:** контроль повітряного простору, малорозмірний повітряний об'єкт, радіолокаційна станція, радіолокаційний контроль, безпілотний літальний апарат, ефективність виявлення, зона виявлення, ефективна поверхня розсіювання.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У теперішній час завдання контролю повітряного простору України покладені на органи організації повітряного руху у зонах своєї відповідальності та підрозділи радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України, що залучаються до виконання завдань контролю за використанням повітряного простору України [1–3].

Контроль за дотриманням порядку використання повітряного простору України всіма повітряними суднами здійснюється на основі даних радіолокаційного та диспетчерського контролю [2]. Радіолокаційний контроль (РЛК) полягає у безперервному стеженні обслуговування радіолокаційних станцій (РЛС) за польотами повітряних суден та визначенні їх належності засобами державного розпізнавання. РЛК здійснюється в зонах виявлення чергових РЛС, а також додаткових РЛС, що включаються для контролю та виконання інших завдань [2]. Функції РЛК покладається виключно на РТВ ПС [3].

В сучасних умовах вирішення завдань РЛК з необхідними показниками ефективності ускладняється появою малорозмірних повітряних об'єктів (ПО). Таким чином, при вирішенні завдання контролю повітряного простору виникає невідповідність між вимогами до ефективності вирішення завдань РЛК, а саме, виявлення малорозмірних ПО, та можливостями сучасних засобів ведення РЛК повітряного простору.

**Мета статті** – провести аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами контролю повітряного простору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інформаційна модель системи спостереження повітряного простору запропонована в [2, 3]. В роботах [2, 3] розглянуто основні інформаційні потоки взаємодії функції контролю повітряного простору з операційним середовищем та основні і додаткові функції під час обміну даними повітряного контролю. Контроль повітряного простору визначається як спосіб своєчасного виявлення ПО та визначення його місцеположення і своєчасне надання цієї інформації користувачам системи контролю повітряного простору [3].

В роботі [3] визначаються такі категорії контролю повітряного простору:

1. Незалежне некооперативне спостереження:
  - первинні системи спостереження.
2. Незалежне кооперативне спостереження:
  - вторинні системи спостереження;
  - мультилатерація (MLAT).
3. Залежне кооперативне спостереження:
  - ADS-C;
  - ADS-B.

### Основна частина

Основні тенденції розвитку малорозмірних ПО на сучасному етапі обумовлені впровадженням сучасних технологій та полягають у такому [4, 5]:

- покращення льотно-тактичних характеристик ПО;
- вдосконалення бортового радіоелектронного обладнання та вогневих засобів ураження;
- впровадження безпілотного управління та новітніх інформаційних технологій;
- зменшення радіолокаційної помітності.

Малорозмірним ПО притаманні специфічні льотно-технічні характеристики, а саме [5]:

- малі ефективні поверхні розсіяння (ЕПР);
- широкий діапазон швидкостей руху;
- здійснення скритих польотів на середніх, малих та гранично малих висотах з використанням рельєфу місцевості.

Указані особливості значно ускладнюють задачу виявлення малорозмірних ПО.

При створенні перспективних малорозмірних ПО значна увага приділяється зменшенню їх радіолокаційної помітності, оскільки це зменшує імовірність виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами та підвищує можливості таких ПО щодо успішного подолання системи протиповітряної оборони [5, 6].

Зменшення радіолокаційної помітності малорозмірних ПО нерозривно пов'язане зі зниженням їх ЕПР. Основними методами зниження ЕПР є зменшення розмірів, надання об'єктам спеціальних маловідбивальних форм, застосування систем активного маскування, радіопоглинаючих покриттів та композитних матеріалів.

Зниження значень ЕПР в перших малорозмірних ПО (винищувач F-117 Night Hawk, стратегічний бомбардувальник B-2 Spirit), які створювались в рамках технології Stealth, досягалося за рахунок форми планера.

Напрями відбиття сигналів від поверхонь цих літаків сконцентровані у декількох вузьких секто-

рах, а не розподілені рівномірно, як у випадку звичайних літаків [7]. Зниження значень ЕПР в сучасних малопомітних винищувачах п'ятого покоління (МиГ-29, МиГ-21, Су-47) в основному забезпечується за рахунок застосування систем активного маскування та радіопоглинаючих матеріалів і покриттів [7, 8].

Середні значення моностатичної ЕПР для літаків, виконаних з використанням технології Stealth, наведено в табл. 1.

Іншим напрямком розвитку малорозмірних ПО щодо зменшення їх радіолокаційної помітності є створення безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

У теперішній час на озброєнні, наприклад, армії Російської Федерації знаходяться БПЛА типу "Орлан-10", "Застава", "Гранат", "Леер", "Форпост", "Тахікон", "ZALA" та інші [5].

При цьому, на прикладі БПЛА, особливостями радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО є:

- мала дальність виявлення;
- знаходження БПЛА в зоні засвіток від місцевих предметів, що вимагає включення апаратури захисту від пасивних завад, що, в свою чергу, зменшує дальність виявлення;
- відсутність оповіщення про дії БПЛА від інших підрозділів внаслідок того, що БПЛА, як правило, діють в зоні лише одного підрозділу.

Зменшення ЕПР ПО приводить до зменшення потенціальної дальності їх виявлення. Ця залежність може бути оцінена за виразом (1):

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt[4]{\sigma_2/\sigma_1}, \quad (1)$$

де  $D_1$  – дальність виявлення ПО з ЕПР  $\sigma_1$ ;  $D_2$  – дальність виявлення ПО з ЕПР  $\sigma_2$ .

Значення ЕПР малорозмірних ПО, як радіолокаційних цілей, наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Середні значення моностатичної ЕПР ПО для різних діапазонів довжин хвиль

Назва ПО	T-50	F-117A	B-2A	AGM-86	F-22	UAV RQ-1
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=3$ см	0,2	0,1	0,07	0,09	0,01	0,005
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=10$ см	0,7	0,5	0,1	0,6	0,07	0,01
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=180$ см	2,5	2	0,66	1,3	0,46	0,3

Таблиця 2 – Узагальнені характеристики малорозмірних БПЛА

Розмах крила, м	1,5 - 7	Зменшення зони виявлення (відносно МиГ-29)
Висота польоту, м	300 - 6000	
Швидкість польоту, км/год	65 - 170	
ЕПР ( $\lambda=3$ см), м <sup>2</sup>	0,005 - 0,2	0,2 - 0,5
ЕПР ( $\lambda=10$ см), м <sup>2</sup>	0,01 - 0,7	0,2 - 0,7
ЕПР ( $\lambda=180$ см), м <sup>2</sup>	0,3 - 2,5	0,5 - 0,8

З аналізу табл. 2 видно, що найбільш суттєве зменшення зони виявлення РЛС спостерігається в сантиметровому діапазоні, а найменше – в метровому діапазоні. Це зумовлено особливостями відбиття

радіохвиль від малорозмірних ПО в метровому діапазоні.

Таким чином, основними тенденціями розвитку сучасних малорозмірних повітряних об'єктів щодо



зменшення їх радіолокаційної помітності є такі:

- зменшення геометричних розмірів, що обумовлює зниження ЕПР;
- реалізація можливості зменшення швидкості польоту, що обумовлює режекцію ПО в системах селекції рухомих цілей разом з відбиттями від місцевих предметів;
- використання технологій Stealth, що обумовлює зниження значення моностатичної ЕПР;
- використання композитних матеріалів, що обумовлює зниження ЕПР до величин  $(0,005-0,1) \text{ м}^2$ ;
- застосування малопотужних економічних двигунів, що робить політ БПЛА практично безшумним;
- зменшення вартості розробки та експлуатації БПЛА у порівнянні з вартістю сучасних пілотованих засобів, що виконують аналогічні функції.

Це приводить до погіршення ефективності виявлення малорозмірних ПО в оглядових РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України, що обумовлюється малими значеннями ЕПР ПО  $(0,005-0,3) \text{ м}^2$ .

Створення і підтримка суцільного радіолокаційного поля (РЛП) на малих, середніх та великих висотах залишається важливим завданням РТВ ПС ЗС України [9]. Від якості РЛП, що створюється, залежить успішність виконання завдань з ведення радіолокаційного контролю повітряного простору противника. У теперішній час виконання цього завдання ускладнюється внаслідок зменшення радіолокаційної помітності сучасних малорозмірних ПО.

РЛК повітряного простору ведеться за допомогою засобів радіолокації, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України.

Основними РЛС є 5Н84А та модернізована РЛС 5Н84МА, РЛС П-18 та її модифікації РЛС П-18МУ, РЛС П-18МА, РЛС П-18 "Малахіт".

За результатами аналізу тактико-технічних характеристик (ТТХ) засобів радіолокації радіотехнічних підрозділів ПС ЗС України [10] впливає, що вони були розраховані на виявлення повітряних цілей типу винишувача МиГ-21 (МиГ-29). Тому при виявленні сучасних та перспективних малопомітних та малорозмірних ПО спостерігається погіршення можливостей РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ. Експериментальних даних про відбивні властивості малорозмірних ПО не існує, тому використовуються тільки розрахункові значення ЕПР БПЛА.

Зменшення розмірів зон виявлення окремих РЛС приводить до порушення суцільності РЛП і утворенню розривів, які можуть досягати до 80% від потрібного розміру суцільного РЛП.

Розрахуємо можливість виявлення малорозмірних ПО сучасними РЛС типу "Малахіт" (П-18МА) та РЛС 35Д6 (19Ж6). Розрахунок зони виявлення означених цілей будемо проводити в припущенні розташування РЛС на ідеальних позиціях. Вертикальний переріз зони виявлення у загальному вигляді описується виразом (2) [9]:

$$r(\epsilon) = r_0 F_0(\epsilon) F_3(\epsilon), \quad (2)$$

де  $r_0$  – максимальна дальність виявлення цілі РЛС у вільному просторі;  $F_0(\epsilon)$  – діаграма спрямованості антени у вільному просторі;  $F_3(\epsilon)$  – інтерференційний множник Землі.

Форми та розміри зон виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) та наведені на рис. 1, 2, а РЛС 35Д6 (19Ж6) – на рис. 3.

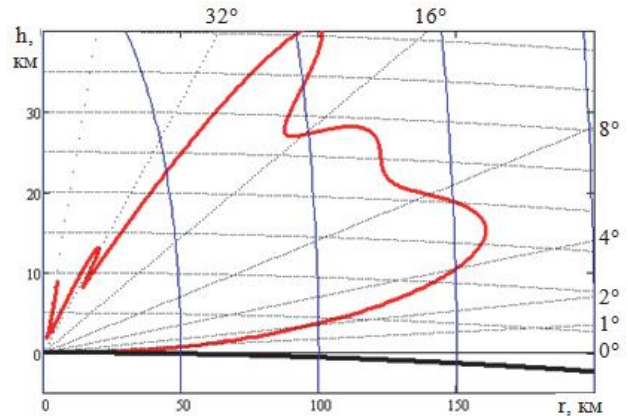


Рис. 1. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) при роботі зі штатною антеною

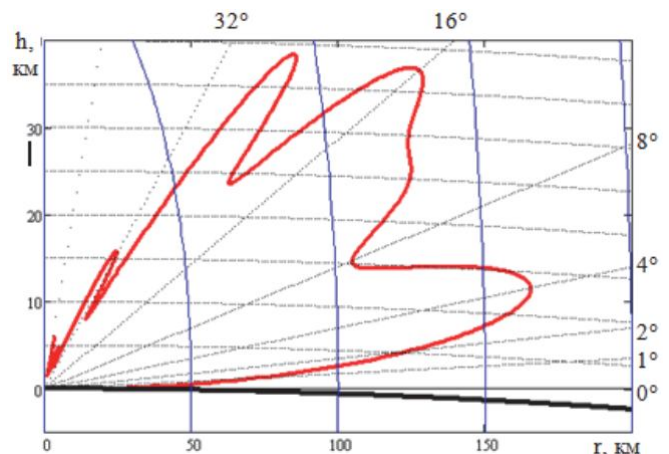


Рис. 2. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) при піднятті антени на дві секції

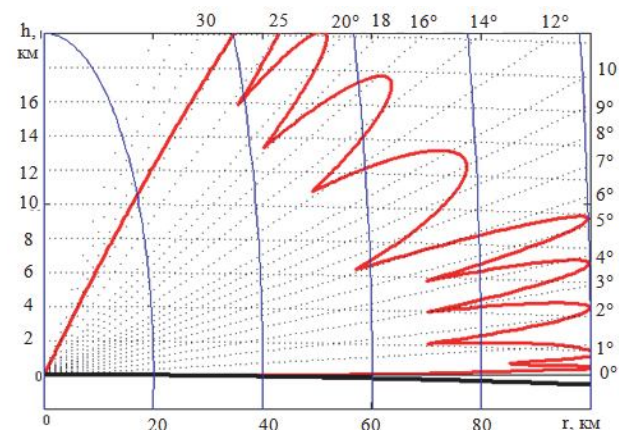


Рис. 3. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірного ПО РЛС 35Д6 (19Ж6) в черговому режимі



Проведені розрахунки дозволили визначити, що сучасні РЛС, які знаходяться на озброєнні частин та підрозділів РТВ, можуть забезпечити виявлення БПЛА типу "Орлан-10": на висотах від 100 до 500 м – на дальностях 15...30 км, на висотах більше 500 м – на дальностях 50...60 км, на висотах більше 1000 м – на дальностях 70...90 км.

Отже, радіолокаційне виявлення БПЛА може здійснюватися так само як і радіолокаційне виявлення аеродинамічних цілей типу "крилата ракета".

Система РЛК повітряного простору повинна забезпечити вирішення таких задач [11]:

- безперервність контролю повітряного простору;
- забезпечення поточною інформацією про повітряну обстановку органів державного та військового управління у мирний та воєнний час;
- своєчасне попередження про повітряний напад;
- забезпечення видачі радіолокаційної інформації з необхідною дискретністю, мінімальним часом запізнювання [12];
- інформаційну підтримку бойових дій усіх видів авіації [13];
- забезпечення контролю порядку перетинання державного кордону;
- забезпечення безпеки польотів авіації, управління повітряним рухом, радіолокаційне забезпечення польотів та перельотів авіації, запобігання конфліктних ситуацій у повітрі та ін.

Для вирішення покладених завдань просторові показники бойових можливостей системи контролю повітряного простору повинні у повній мірі забезпечувати виявлення та супроводження ПО в усьому діапазоні можливих висот та швидкостей їх польоту. Водночас, існуюча система контролю повітряного простору не здатна в повній мірі забезпечити вирішення покладених завдань при застосуванні нових типів малорозмірних ПО.

Традиційними (відомими) організаційними та ехнічними шляхами підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малопомітних та малорозмірних цілей є [14]:

- підвищення енергетичного потенціалу та покращення тактико-технічних характеристик РЛС;
- ущільнення розташування РЛС на небезпечних напрямках (створення смуг виявлення маловисотних та малорозмірних цілей);
- одночасне використання РЛС різних діапазонів частот та інші.

Використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля (РЛП).

Досвід проведення контролю повітряного простору радіолокаційними засобами показав, що дальності радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО при різних значеннях ЕПР та в залежності від діапазону засобів радіолокації складають від сотень

метрів (для ЕПР 0,01 м<sup>2</sup>) до 20 км (для ЕПР 0,1 м<sup>2</sup>), що значно ускладнює роботу оператора по їх своєчасному виявленню.

Вирішення невідповідності між тенденціями зменшення радіолокаційної помітності малорозмірних повітряних об'єктів та можливостями існуючих РЛС щодо їх виявлення потребує розробки нових альтернативних та нетрадиційних шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

Враховуючи недоліки традиційних методів, розглянемо альтернативні (нетрадиційні) шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО, в яких запропоновано використання нових інформаційних технологій:

Для підвищення ефективності радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО можливо використання нових інформаційних технологій:

- послідовно-паралельний електронний огляд зони по куту місця та двомірне електронне сканування діаграми спрямованості антен;
- активні, напівактивні та пасивні на передачу фазовані антени решітки;
- цифровий синтез зондуєчих сигналів з різними параметрами: несучою частотою, видом модуляції, шириною смуги, тривалістю, частотою посилок імпульсів;
- цифрове діаграмоутворення фазованої антенної решітки на прийом;
- автоматичний аналіз заводої обстановки та адаптивний вибір засобів та режимів захисту від завад;
- автоматична топографічна прив'язка та орієнтування РЛС по інформації космічних навігаційних систем;
- комплексування РЛС з засобами вторинної радіолокації;
- можливість нарощування РЛС до активно-пасивного комплексу.

Використання наведених вище інформаційних технологій підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості, потужності та технологічної складності РЛС.

Альтернативними шляхами підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО є:

- використання багатопозиційних систем;
- використання енергій сторонніх джерел випромінювання;
- використання властивості збільшення ЕПР при резонансному відбитті електромагнітних хвиль від ПО;
- використання властивостей збільшення бістатичної ЕПР вторинного випромінювання у порівнянні з ЕПР зворотного вторинного випромінювання.

Основні переваги використання багатопозиційних радіолокаційних систем у порівнянні з однопозиційними РЛС наступні:

- підвищення живучості системи за рахунок просторового рознесення приймальних і передавальних позицій;

- можливість формування і динамічного керування необхідною зоною огляду;
- можливість підвищення точності вимірювання просторових координат повітряних об'єктів за рахунок використання далекомірних методів;
- підвищення надійності за рахунок надлишкового числа приймальних і передавальних позицій та інші.

В багатопозиційних системах, що працюють за принципом активної локації, у якості елементів системи використовується типові РЛС. Це вимагає збільшення потрібної кількості РЛС та вартості багатопозиційної системи.

Особливостями багатопозиційних радіолокаційних систем є використання просторово-часових методів обробки сигналів, які приймаються одночасно в просторово-рознесених точках прийому. При цьому використовуються як активні, так і пасивні методи прийому. В даних системах забезпечуються мінімальні енергетичні витрати на функціонування системи. В якості передавача в рознесених радіолокаційних системах, які працюють в полі підсвічування сторонніх передавачів в різних діапазонах довжин хвиль, використовується передавач, що не входить до складу такої системи (зовнішній передавач):

- передавач сигналу стандарту LTE (Long-Term Evolution) – бездротової високошвидкісної системи передачі даних для мобільних телефонів та інших терміналів;
- передавач сигналу супутників, що знаходяться на геостационарній орбіті;
- передавач сигналу стандарту DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) ефірного цифрового телебачення;
- передавач сигналу технології Wi-Fi стандарту IEEE 802.

Для підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО може бути використана властивість бістатичної ЕПР ПО при рознесеному прийомі сигналів від сторонніх джерел випромінювання. При цьому встановлено:

- при значеннях бістатичних кутів менше  $136^{\circ}$ , значення бістатичної ЕПР не перевищує, а в деяких випадках менше на 2–5 дБ, значень моностатичної

ЕПР, що приводить к погіршенню можливостей РЛС по виявленню ПО;

- при значеннях бістатичних кутів близьких до  $180^{\circ}$  значення бістатичної ЕПР значно перевищує значення моностатичної ЕПР (до 30 дБ), що покращує можливості РЛС по виявленню малорозмірних ПО;

– порізанисть діаграми бістатичного розсіювання менше за порізанисть діаграми моностатичного розсіювання, що зменшує мерехтіння (шум) об'єкту та зменшує його вплив на похибки вимірювання координат об'єкту;

- для об'єктів, які виконанні за технологією Stealth, спостерігається збільшення значень бістатичної ЕПР у порівнянні з моностатичною ЕПР.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Проведено аналіз тенденцій розвитку малорозмірних ПО та показано, що однією із тенденцій є зменшення їх радіолокаційної помітності. Малі значення ЕПР ( $0,005 \dots 0,3 \text{ м}^2$ ) перспективних малорозмірних ПО обумовлюють погіршення ефективності їх виявлення оглядовими РЛС, які знаходяться на озброєнні РТС ПС ЗС України.

Проведено аналіз основних ТТХ РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України, та їх можливостей щодо виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

Проведено аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами контролю повітряного простору.

Встановлено, що використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля. Тому напрямком подальших досліджень є використання сучасних радіолокаційних технологій, що потребують розробки та впровадження.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Свид І.В. Синтез структури інформаційного забезпечення споживачів інформаційними системами спостереження повітряного / І. В. Свид, А. І. Обод // Збірник наукових праць ХУПС. — Х.: ХУПС, 2015. — Вип. 2 (43). — С. 67–70.
2. Обод І. І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І. І. Обод, О. О. Стрельницький, В. А. Андрусевич. — Х.: ХНУРЕ, 2015, — 270 с.
3. Обод І. І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І. І. Обод, О. П. Черних, В. В. Заволодько, О. Ю. Ткаченко // Системи обробки інформації. — 2016. — Вип. 5 (142). — С. 35–37.
4. Романченко І.С. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І. С. Романченко, О. М. Загорка, С. Г. Бутенко, О. В. Дейнега. — Житомир: Полісся, 2011. — 344 с.
5. Чепурний В.А. Аналіз тенденцій розвитку та застосування розвідувальних безпілотних літальних апаратів в сучасних мережецентричних та гібридних війнах / В. А. Чепурний, М. В. Бардаков, Г. В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2015. — Вип. 4. — С. 24–28.
6. Ковалевський С.М. Перспективи розвитку засобів повітряного нападу як об'єктів радіолокаційного виявлення / С.М. Ковалевський, Г. В. Худов, В. І. Боровий // Системи озброєння та військова техніка. — 2014. — №4(40). — С. 31–35.
7. Масалов С.А. Физические основы диапазонных технологий типа "Стелс" / С. А. Масалов, А. В. Рыжак, О. И. Сухаревский, В. М. Шкиль. — Санкт-Петербург: ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999. — 163 с.
8. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов. Снежинск: РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003. — 232 с.

9. Сухаревський О. І. Оцінювання параметрів зон виявлення безпілотного літального апарату "Орлан-10" радіолокаційними засобами самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ" / О. І. Сухаревський, В.О. Василець, І. Є. Ряполов // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — Вип. 4 (48). — С. 13–18.
10. Вишневський С. Д. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативно-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів / С. Д. Вишневський, Л. В. Бейліс, В. Й. Климченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2017. — Вип. 2 (27). — С. 92–98.
11. Белавін О.В. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О. В. Белавін, В. І. Клімченко, Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко // Наука і оборона. — 2015. — № 1. — С. 48-53.
12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
13. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденцій розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
14. Бочкарев А.М. Радиолокация малозаметных летательных аппаратов / А. М. Бочкарев, М. Н. Долгов // Зарубежная радиоэлектроника. — 1989. — №2. — С.3–17.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет "ХАГ", Київ  
Received (Надійшла) 31.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

#### Анализ существующих путей повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационных средств контроля воздушного пространства

Г. В. Худов, Г. В. Місюк, О. О. Олексенко, Р. Ю. Райков, А. А. Безклубенко, В. Ю. Добрев

**Предметом** изучения в статье есть пути повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Целью** является анализ существующих путей повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Задачи:** анализ основных тенденций развития малоразмерных воздушных объектов по уменьшению их радиолокационной заметности, основных летно-технических характеристик малоразмерных воздушных объектов, тенденций развития радиолокационных систем контроля воздушного пространства, основных методов снижения эффективной поверхности рассеяния, методов выявления малоразмерных воздушных объектов, определения особенностей радиолокационного обнаружения малоразмерных объектов. Используются **методами** являются: методы анализа и синтеза сложных информационных систем, методы радиолокации, методы имитационно-статистического моделирования. Получены следующие **результаты**. Установлено, что при решении задачи контроля воздушного пространства возникает несоответствие между требованиями к эффективности решения задач радиолокационного контроля, а именно, выявление малоразмерных воздушных объектов, и возможностями современных средств ведения радиолокационного контроля воздушного пространства. Установлено, что использование традиционных методов повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов приводит к увеличению необходимого количества радиолокационных станций, увеличению потребляемой мощности и, как следствие, к увеличению стоимости создания и содержания очередного радиолокационного поля. Определены альтернативные пути повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Выводы.** Направлением дальнейших исследований является использование современных радиолокационных технологий, требующих разработки и внедрения.

**Ключевые слова:** контроль воздушного пространства, малоразмерный воздушный объект, радиолокационная станция, радиолокационный контроль, беспилотный летательный аппарат, эффективность обнаружения, зона обнаружения, эффективная поверхность рассеяния.

#### Analysis of existing ways to improve the efficiency of determining malog-sized air objects of radiolocation air space controls

H. Khudov, G. Misiyuk, O. Oleksenko, R. Raikov, O. Bezklubenko, V. Dobrev

The **subject matter** of the article is ways to increase the efficiency of detecting small airborne objects with radar airspace control devices. The **goal** is to analyze the existing ways to improve the detection of small airborne objects by airborne radar controls. The **tasks** are: analysis of the main trends in the development of small airborne objects to reduce their radar visibility, the main flight technical characteristics of small airborne objects, trends in the development of radiolocation control systems for airspace, the main methods for reducing the effective dispersion surface, methods for detecting small airborne objects, features of the radar detection of small airborne objects. The **methods** used are: methods of analysis and synthesis of complex information systems, methods of radar, methods of simulation and statistical modeling. The following **results** were obtained. It has been established that when solving the problem of airspace control there is a discrepancy between the requirements for the efficiency of solving radar control problems, namely, the identification of small-sized air objects, and the capabilities of modern means of conducting airborne radar control. It has been established that the use of traditional methods to increase the efficiency of detecting small airborne objects leads to an increase in the required number of radar stations, an increase in power consumption and, consequently, an increase in the cost of creating and maintaining the next radar field. Identified alternative ways to improve the detection of small airborne objects with radar airspace control devices. **Conclusions.** The direction of further research is the use of modern radar technologies that require the development and implementation.

**Keywords:** airspace control, small-sized airborne object, radar, radar control, unmanned aerial vehicle, detection efficiency, detection area, effective scattering surface.

## АЛГОРИТМ ПЕРЕВІРКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПОНЕНТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Метою даної роботи** є розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів ФОС спеціального призначення для фізичної науково-дослідної моделі. Це дозволить скоротити витрати часу та ресурсів, як на процес перевірки працездатності апаратної реалізації компонентів ФОС спеціального призначення так і їх проектування. Стаття присвячена питанню розробки алгоритму перевірки працездатності компонента функціонально-орієнтованої системи, який базується на програмних модулях пакета Quartus II, програмних компонентах для мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO та мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Для проведення перевірки процесу перетворення в запропонованому компоненті ФОС спеціального призначення використано фізичну науково-дослідну модель. В якості предмету перевірки для дослідження процесу перетворення в компоненті ФОС спеціального призначення запропоновано образно-знакову модель багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора, що відрізняється зменшеним об'ємом пам'яті не менш ніж в два рази за рахунок використання одних і тих же значень коригуючих констант. Результати та висновок. Розроблений алгоритм дозволяє підвищити ефективність процесу проектування обчислювачів спеціального призначення наступним чином: дозволяє довести працездатність його апаратної реалізації, є універсальним для перевірки працездатності процесу перетворення різноманітних двійково-кодових комбінацій, а також дозволяє прискорити процедуру проектування обчислювачів спеціального призначення та/або їх компонентів, зменшити матеріальні та енерго-часові витрати при апаратній реалізації розроблюваних моделей обчислювачів спеціального призначення.

**Ключові слова:** перевірка працездатності, перетворення, двійково-кодові комбінації, обчислювач спеціального призначення, функціонально-орієнтовані системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Розвиток функціонально-орієнтованих систем (ФОС) пов'язаний з постійним їх ускладненням через необхідність розширення функціональних можливостей. Це досягається як шляхом підвищення ступеня інтеграції компонентів, так і застосуванням нових архітектурних варіантів реалізації компонентів ФОС.

На відміну від програм, помилки в яких виправляються порівняно просто, дефекти в інтегральних схемах (конструктивні і виробничі) не можуть бути усунені. Для вирішення задачі забезпечення коректності компонентів ФОС на етапі розробки застосовують різноманітні засоби функціональної верифікації, як одного з основних методів забезпечення функціональної надійності [1].

В основі перевірки працездатності на етапі проектування лежить комплекс заходів, спрямований на забезпечення коректності моделі системи, що розробляється, в першу чергу, це виявлення та виправлення помилок проектування.

Обчислювальні перетворення двійково-кодових операндів різних систем числення в реальному масштабі часу широко використовуються в компонентах ФОС, що знаходять широке застосування в ресурсозберігаючих технологічних комплексах, робототехніці, гіроскопічних платформах, радарних установках, космічній техніці тощо.

В ФОС спеціального призначення використовується множина перетворювачів і обчислювачів,

перевагою яких є малі апаратні витрати та висока надійність при виготовленні в єдиному кристалі.

**Аналіз публікацій і досліджень.** Питаннями обчислювальних перетворень двійково-кодових комбінацій займається велике коло науковців, таких як В. Б. Байков, О. Я. Белецкий, В. І. Корнейчук, П. П. Орнадский, К. Г. Самофалов, В. Б. Смолова, В. П. Тарасенко та ін., де отримана [1-8] велика кількість результатів, що стосуються алгоритмічної організації компонентів ФОС спеціального призначення.

Проте питання проведення процедури перевірки працездатності процесів перетворення у високоефективних моделях компонентів ФОС спеціального призначення при обмеженні енерго-часових витрат та обчислювальної потужності вирішені недостатньо.

Прикладом компонента ФОС спеціального призначення є модель таблично-логічного співпроцесора, що виконує формування вихідного коду для чотирьох функцій.

Тому необхідним є проведення перевірки працездатності апаратної реалізації моделі багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора, що забезпечить зменшення матеріальних та енерго-часових витрат при проектуванні та виготовленні компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення.

Отже, розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення є науковою та актуальною задачею.

**Метою даної роботи** є розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів ФОС спеціального призначення для фізичної науково-дослідної моделі [9]. Це дозволить скоротити витрати часу та ресурсів, як на процес перевірки працездатності апаратної реалізації компонентів ФОС спеціального призначення так і їх проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити узагальнений алгоритм процедури перевірки працездатності апаратної реалізації визначеного компоненту функціонально-орієнтованих систем.

### Виклад основного матеріалу

Перевірка працездатності застосовується для об'єкта проектування на відповідність всім функціональним вимогам, сформульованим у специфікаціях. При цьому в якості такого об'єкта, як правило, виступають логічні моделі, написані на одній із застосовуваних при проектуванні мов опису апаратного забезпечення (HDL-мови).

При перевірці працездатності компонентів ФОС найчастіше застосовується динамічна верифікація на основі тестових систем.

Тестова система імітує оточення, де надалі функціонуватиме пристрій, що підлягає перевірці. До основних задач, виконуваних тестовою системою, відносять: генерацію вхідних послідовностей, перевірку правильності вихідних послідовностей та порівняння їх з еталонними значеннями.

Перевірка працездатності компонентів ФОС дозволяє проводити тестування на ранніх стадіях розробки без очікування специфікацій всієї системи в цілому. При цьому важливим є визначення способу перевірки правильності результатів симуляції.

Тому сьогодні перевагу віддають застосуванню тестових систем на основі еталонних програмних моделей. В цьому випадку окремо від тестової системи розробляється програмна модель проектного пристрою, що володіє тією ж функціональністю, але описана на більш абстрактному рівні.

Для проведення перевірки процесу перетворення в запропонованому компоненті ФОС спеціального призначення використано фізичну науково-дослідну модель [9]. У ній для перевірки працездатності компонента ФОС спеціального призначення та візуалізації процедури перетворення двійково-кодкових комбінацій, використані наступні дослідні платформи:

- U8EP3C з FPGA Cyclon III, за допомогою якої імітується апаратна реалізація процедури відтворення значення відповідної функції, як сума по mod 2 вхідної двійково-кової комбінації та відповідного коду корегуючої константи;
- Arduino UNO, де генеруються вхідні інформаційні та управляючі кодові комбінації;
- мікрокомп'ютер Raspberry Pi використовується для проведення процедури верифікації, в якому формується результат перетворення цієї ж відповідної функції за допомогою програмного методу та їх значення порівнюються;
- монітор для візуалізації результату.

В якості предмету перевірки для дослідження процесу перетворення в компоненті функціонально-орієнтованих систем спеціального призначення запропоновано образно-знакову модель багатofункціонального таблично-логічного співпроцесору [2], що відрізняється зменшеним об'ємом пам'яті не менш ніж в два рази за рахунок використання одних і тих же значень коригуючих констант.

Особливість даної моделі полягає в можливості роботи в декількох режимах в залежності від управляючого сигналу, що надходить на керуючі входи пристрою, відповідно здійснюється перетворення для чотирьох функцій та навпаки.

Алгоритм виконання перевірки працездатності передбачає виконання наступних кроків:

- створення проекту в програмному пакеті Quartus II із зазначенням мікросхеми або сімейства мікросхем, які будуть використані;
- створення вихідного файлу проекту на мові програмування VHDL або Verilog HDL,
- створення програмних файлів для процесорного ядра;
- синтез проекту за допомогою модуля Analysis & Synthesis;
- завантаження списку входів і виходів, для яких потрібно виконати симуляцію;
- виконання функціонального моделювання проекту за допомогою симулятора ModelSim;
- виконання розміщення та трасування проекту за допомогою модуля трасування Fitter;
- проведення аналізу часових затримок проекту за допомогою програми аналізатора часових затримок Timing Analyzer;
- виконання моделювання проекту з врахуванням часових затримок за допомогою симулятора;
- покращення часових характеристик проекту за допомогою повторного фізичного синтезу, використання фіксованих логічних блоків, налаштувань Settings у відповідному редакторі призначень;
- створення файлу для програмування мікросхеми, що реалізує перетворення в компоненті КІС спеціального призначення;
- програмування FPGA-мікросхеми Cyclon III дослідної платформи U8EP3C за допомогою утиліти програматора Programmer та обладнання Altera;
- відладка проекту за допомогою вбудованого логічного генератора SignalTap II Logic Analyzer та генератора контрольних точок SignalProbe;
- створення програми для генерації тестових комбінацій, з урахуванням необхідної черговості подання керуючих сигналів;
- програмування мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO;
- програмування мікрокомп'ютера Raspberry Pi для проведення порівняння, в якому з вхідних кодкових комбінацій, паралельно з фізичною моделлю, формується код відповідної функції програмним методом, після чого результати виводяться на екран монітора;
- підключення відповідних входів і виходів тестових плат Arduino UNO, U8EP3C, мікрокомп'ютера Raspberry Pi;

– проведення моделювання для перевірки працездатності запропонованої реалізації компонента функціонально-орієнтованої системи за допомогою фізичної науково-дослідної моделі.

Після виконання цих кроків фізична науково-дослідна модель [9] працюватиме за алгоритмом зображеним на рис. 1.

Це дозволить перевірити коректність роботи компонента функціонально-орієнтованої системи на всіх етапах виконання перетворення. Також перевагою такого моделювання є можливість порівняння результатів перетворень виконаних різними методами між собою, а також з еталонними даними.

Отже виконуються основні задачі тестової системи, а саме: генерація вхідних послідовностей, перевірка правильності вихідних послідовностей та порівняння їх з еталонними значеннями.

## Висновки

Розроблено алгоритм перевірки працездатності процесу перетворення кодів в компоненті функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення, який базується на програмних модулях пакета Quartus II, програмних компонентах для мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO та мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Перевага алгоритму полягає в тому, що він є універсальним для моделювання та перевірки адекватності процедури перетворення двійково-кодових комбінацій, це дозволяє прискорити процедуру проектування та зменшити ймовірність появи помилок апаратної реалізації розроблених моделей компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукашенко В. А. Систематизація методів, моделей сопроцесорів для високошвидкісних, прецизійних мікропроцесорних проблемно-орієнтованих систем / В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, В. М. Співак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1. – С. 164–169.
2. Пат. на винахід І11459 Україна, МПК (2016.01) G 06F 5/00,

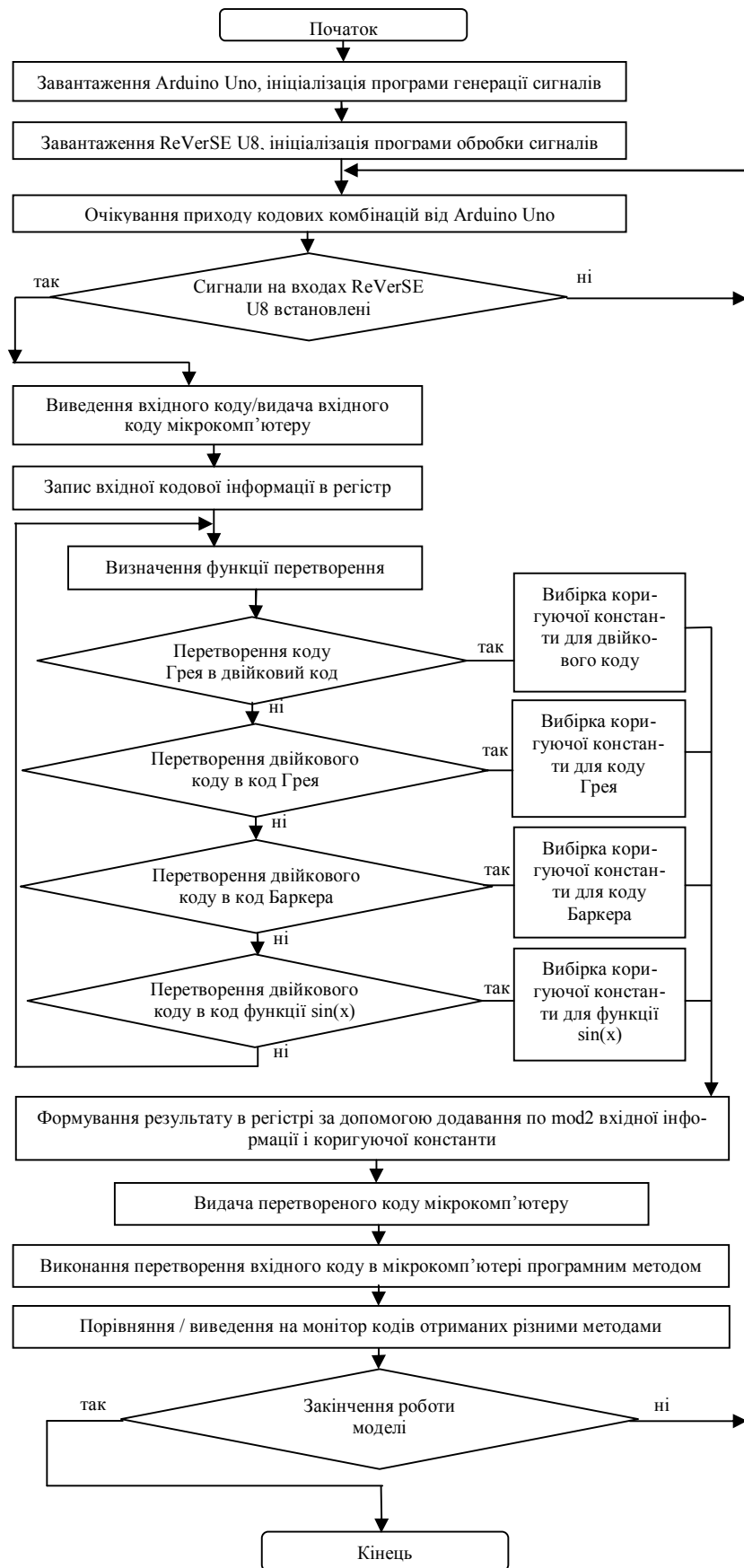


Рис. 1. Алгоритм роботи фізичної науково-дослідної моделі при виконанні перевірки працездатності запропонованого компонента функціонально-орієнтованої системи

- G 06F 7/00, G 06F 9/00, H 03K 19/00. Багатофункціональний таблично-логічний співпроцесор / В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко; заявник та власник В. М. Лукашенко. - № а 2015 09351; заявл. 28.09.2015.; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
3. Удосконалення спеціалізованого гібридного багатофункціонального сопроцесора / В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко та ін. // Вісник Сумського державного університету. – 2012. – № 1. – С. 138–144.
  4. Азаров О. Д. Високопродуктивні АЦП із ваговою надлишковістю зі змінними тривалостями тактів порозрядного кодування : монографія / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 154 с.
  5. Макаров В. В. Совмещение ввода и обработки операндов при вычислении некоторых функций / В. В. Макаров, В. В. Жабина // Комп'ютерні системи та компоненти. Науковий вісник Чернівецького університету. – 2009. – Вип. 446. – С. 6–10.
  6. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
  7. Гурин Е. И. Построение вычислительных блоков на основе программируемых логических интегральных схем со специализированными сопроцессорами / Е. И. Гурин, И. В. Огнев // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 65–71.
  8. Яковлев Ю. С. Применение ПЛИС для создания высокопроизводительных вычислительных систем и их компонентов / Ю. С. Яковлев, Е. В. Елисеева // Математичні машини і системи. – 2014. – № 1. – С. 22–35.
  9. Фізична науково-дослідна модель верифікації спеціалізованого багатофункціонального обчислювача на базі єдиного шифратора / І. А. Зубко, С. Ф. Аксьонов, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, С. А. Міценко, Т. Ю. Уткіна, В. М. Лукашенко // «Найновітє научни постижения – 2018» : материалы XVI Межд. научна практична конференция : (15-22 март 2018 г., София, Болгария). – София : «Бял ГРАД-БГ ООД», 2018. – Vol. 4. – С. 16–22.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можаяев,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

Received (Надійшла) 11.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

#### Алгоритм проверки работоспособности компонента функционально-ориентированной системы специального назначения

И. А. Зубко

Целью данной работы является разработка алгоритма проверки работоспособности компонентов ФОС специального назначения для физической научно-исследовательской модели. Это позволит сократить затраты времени и ресурсов, как на процесс проверки работоспособности аппаратной реализации компонентов ФОС специального назначения так и их проектирования. Статья посвящена вопросу разработки алгоритма проверки работоспособности компонента функционально-ориентированной системы, который базируется на программных модулях пакета Quartus II, программных компонентах для микроконтроллера AVR тестовой платы Arduino UNO и микрокомпьютера Raspberry Pi. Для проведения проверки процесса преобразования в предложенном компоненте ФОС специального назначения использовано физическую научно-исследовательскую модель. В качестве предмета проверки для исследования процесса преобразования в компоненте ФОС специального назначения предложено образно-знаковую модель функционального таблично-логического сопроцессора, отличается уменьшенным объемом памяти не менее чем в два раза за счет использования одних и тех же значений корректирующих констант. Результаты и заключение. Разработанный алгоритм позволяет повысить эффективность процесса проектирования вычислителей специального назначения следующим образом: позволяет доказать работоспособность его аппаратной реализации, есть универсальным для проверки работоспособности процесса преобразования разнообразных двоично-кодовых комбинаций, а также позволяет ускорить процедуру проектирования вычислителей специального назначения и/или их компонентов, уменьшить материальные и энерго-часовые затраты при аппаратной реализации разрабатываемых моделей вычислителей специального назначения.

**Ключевые слова:** проверка работоспособности, преобразования, двоично-кодовые комбинации, вычислитель специального назначения, функционально-ориентированные системы.

#### The algorithm for testing the functionality of a component of a function-oriented special purpose system

I. Zubko

The purpose of this work is to develop an algorithm for testing the performance of components of the FOS special purpose for the physical research model. This will reduce the cost of time and resources, as well as on the process of checking the performance of the hardware implementation of components of the FOS special purpose and their design. The article is devoted to the development of an algorithm for testing the functionality of a functional-oriented system component, which is based on the software modules of the Quartus II package, software components for the AVR microcontroller of the Arduino UNO test board and the Raspberry Pi microcomputer. A physical research model has been used to verify the conversion process in the proposed component of the FOS of a special purpose. As a subject of verification for the study of the conversion process in the component of the FOS special purpose proposed a figurative sign model of a multi-functional table-logic coprocessor, which has a reduced memory capacity at least twice, due to the use of the same values of corrective constants Results and conclusion. The developed algorithm makes it possible to increase the efficiency of the design process of special purpose computers as follows: it allows you to prove the operability of its hardware implementation, is universal for checking the operability of the conversion process of various binary-code combinations, and also allows you to speed up the design process of special purpose computers and / or their components, reduce material and energy-hourly costs in hardware implementation of the developed models special purpose calculators.

**Keywords:** health check, transformations, dual-code combinations, special purpose calculator, function-oriented systems.

І. М. Коржов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## ЗАГАЛЬНЕ ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДИСКРИМІНАЦІЇ

Проблема підвищення ефективності інформаційних систем контролю технічного стану промислових об'єктів з динамічними властивостями невід'ємно пов'язано зі збільшенням об'ємів вимірювальної інформації, що характеризує типові еталонні варіанти динамічних порушень. **Мета статті:** навести загальне формулювання задачі функціональної діагностики для моделей параметричної дискримінації. **Результати.** Розглянута загальна задача функціональної діагностики для моделей параметричної дискримінації за інформативними параметрами – показниками автокогерентності. Сформульована в загальному виді задача вибору дискримінантної функції для цілей контролю та діагностування промислових об'єктів з точки зору статистичних ризиків контролю та діагностики. Перевірені сформульовані положення при контролі технічного стану типового вібраційного промислового об'єкту – екструдера. Отримані результати можуть бути застосовані для подальшого дослідження впливу об'єму навчаючої вибірки на середній ризик контролю та діагностики з синтезом математичної моделі середнього ризику та аналізом ефектів мінімізації середнього ризику, а також оптимізації простору інформативних ознак за критерієм максимуму достовірності контролю та діагностики. **Висновок.** Проведене дослідження вібросигналів типового промислового об'єкту – екструдера, показало, що для контролю технічного стану вібраційних об'єктів можливо використовувати лінійну вирішувальну (дискримінантну) функцію типу 2 або 3. Кінцевий вибір функції буде залежити від результатів оцінювання коваріаційної матриці.

**Ключеві слова:** діагностика, контроль, автокогерентність, достовірність, вірогідність, дискримінантні функції, статистичний ризик.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Проблема підвищення ефективності інформаційних систем контролю (далі – ІСК) технічного стану промислових об'єктів з динамічними властивостями невід'ємно пов'язано зі збільшенням об'ємів вимірювальної інформації, що характеризує типові еталонні варіанти динамічних порушень [1, 2].

Навчання ІСК, що призначені для контролю та ідентифікації таких станів – це задача оцінювання в умовах обмеженого об'єму вимірювань, параметрів, що характеризують динаміку обладнання при тестових змінах технічного стану, умовно адекватних порушенням, відповідних ненормативним робочим режимів [2]. Невизначеність такого оцінювання пов'язана не тільки з обмеженістю об'єму  $N_a$  навчаючої множини  $\{x_1^{(k)}, \dots, x_{N_a}^{(k)}\}$  результатів вимірювань показника автокогерентності  $X_{(N_a \ll \infty)}$ , коли об'єкт знаходиться в стані з номером « $k$ ».

Невизначеність включає, також складову, що залежить від неоднорідності умов навчаючого експерименту, через неможливість забезпечення строгої ідентичності технічних властивостей і характеристик для  $N_b$  обмеженої множини ( $N_b \ll \infty$ ) функціонально однакових промислових об'єктів [2, 3], що підвергають випробуванню.

Складові невизначеності, що пов'язані з обмеженістю об'єму  $N_a$  вимірювань і обмеженістю числа  $N_b$  об'єктів можуть бути об'єднані, але основним об'ємом навчаючої вибірки вважається  $N_b$ . Саме обмеженість цього об'єму впливає на зміщення (систематичні похибки) параметрів контролю, а об'єм  $N_a$  впливає на спроможність (випадкові похибки) в оцінюванні параметру контролю [2, 4]. Об'єм

$N_a$  – це число багатократних вимірювань, збільшення яких знижує дисперсію випадкових похибок в  $N_a$  разів [2] і технічно, в метрологічному експерименті легко здійснимий. Збільшити об'єм  $N_b$  – технічно важко, а іноді і не можливо, що призводить до появи негативної методичної складової в достовірності діагностики, зменшуючи останню.

**Аналіз літератури.** Проблема зниження ризиків (підвищення ефективності) контролю технічного стану промислових об'єктів в умовах апіорної невизначеності властивостей об'єктів технічної контролю завжди була предметом ймовірно-статистичного аналізу процедур перетворення первинної вимірювальної інформації у вторинні логічні рішення. При цьому, ступінь і глибина вивчення проблеми пов'язувалася зі складністю математичної моделі процедури такого дискримінантного перетворення [3, 4]. Найкраще вивчена проблема для простих (лінійних) процедур, реалізованих у вигляді параметричних лінійних дискримінантних функцій [3, 5, 6].

**Мета статті.** В цій статті наведено загальне формулювання задачі функціональної діагностики для моделей параметричної дискримінації.

### Загальне формулювання задачі функціональної діагностики з використанням показників автокогерентності

Розглянемо множину розмірності  $p$  показників автокогерентності [7, 8] як векторну величину

$$\bar{x} = (x_1, \dots, x_p). \quad (1)$$

Нехай  $m$  – кількість станів технічного об'єкту, що діагностується, для яких відома множина  $\{P_1, \dots, P_m\}$  апіорних ймовірностей, причому



$$\sum_{k=1}^m P_k = 1. \quad (2)$$

Нехай  $(x_1, \dots, x_p)$  – сукупність результатів вимірювання значення  $p$  величин, що контролюються, та утворюють вектор  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_p)$ , і що залежать від того яке зі станів має місце бути. Нехай  $f(\bar{x}|S_k)$  – умовне розподілення вектору  $\bar{x}$ , що відповідає стану  $S_k$ . Також наявні: набір рішень  $\gamma_1, \dots, \gamma_m$ , правило вибору рішень  $\gamma(\bar{x})$ , що приписує кожному можливому результату  $\bar{x}$  одне з рішень, матриця втрат  $\prod_{jk}$ , що враховують наслідки вибору рішення  $\gamma_j$  при дійсному стані  $S_k$ . Задано також критерій якості  $R_0$  правила вибору рішення [9]. У рамках теорії перевірки статистичних гіпотез [9, 10, 11] набір рішень представляє собою ряд логічних тверджень про вигляді стану  $S$ , тобто про те, яка з гіпотез,  $h_1 : S \in S_1, \dots, h_m : S \in S_m$ , істинна.

Одна з гіпотез множини  $\{S_1, \dots, S_m\}$  може бути нульовою, а інші тоді, утворюють складну альтернативну гіпотезу. Дискримінація одного зі станів  $\{S_1, \dots, S_m\}$  зводиться, таким чином, до параметричного тестування вектору вимірних значень  $\bar{x}$  за допомогою критеріальної статистики

$$R_0 = F \left[ \left\{ f(\bar{x}|S_k) \right\}, \prod_{jk} \{P_1, \dots, P_m\} | \bar{x} \right] \quad (3)$$

при заданому  $\gamma(\bar{x})$ .

Це значить, що простір всіх можливих вибірок значень випадкового вектору контрольованих параметрів величини  $\bar{x}$  повинно бути розділено на  $m$  непересічних областей, з котрих одна – це область прийняття рішень, а інші – це критична область  $\bar{\omega}$ .

При такому тестуванні можливі помилки першого та другого роду, ймовірності яких:

$$\begin{aligned} \alpha &= P \left[ \gamma_j | \bar{x} \in \omega; S \in S_k \right], k \neq j; \\ \beta &= P \left[ \gamma_k | \bar{x} \in \omega; S \notin S_k \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Слід зазначити, що правило вибору рішення  $\gamma(\bar{x})$  задається до початку тестування.

Теоретичною основою розглянутої загальної моделі прийняття рішень є байєсівська теорія рішень [12], що складає основу дискримінаційного аналізу [13, 14]. У рамках такого аналізу добре розроблені моделі параметричної дискримінації для об'єктів контролю з двома ( $m = 2$ ) станами  $S_1, S_2$ . Критеріальною статистикою тут є відношення правдоподібності [9]:

$$l(\bar{x}) = w(\bar{x}|S_2) / w(\bar{x}|S_1), m = 2, \quad (5)$$

що реалізується, часто, у формі дискримінантної (розділяючої) функції [9, 12, 14]:

$$g(\bar{x}) = \ln [l(\bar{x})]. \quad (6)$$

Рішення  $\gamma_1$  або  $\gamma_2$  обирають виходячи з правил вибору:

$$\gamma(\bar{x}) = \begin{cases} \gamma_1, & \text{якщо } l(\bar{x}) \geq 1 \text{ (або } g(\bar{x}) \geq 0); \\ \gamma_2, & \text{якщо } l(\bar{x}) < 1 \text{ (або } g(\bar{x}) < 0). \end{cases} \quad (7)$$

Функції типу (5) та (6) широко застосовують для синтезу алгоритмів оптимального контролю та діагностики [15]. Ці функції достатньо добре досліджені в умовах апіорної невизначеності, що обумовлені обмеженням на об'єм навчальних вибірок, однак, практично не досліджено вплив обмеженості навчальних вибірок на помилки дискримінації для випадків, коли число можливих станів більше двох ( $m > 2$ ).

Спроби рішення такої задачі здійснені лише при обмежені на ймовірність помилки першого роду  $\alpha$  і представляють собою моделі тестування на значущість [16], з апіорі невідомою ймовірністю помилки другого роду  $\beta$ . Практично, всі існуючі моделі дискримінації розроблені для випадків, коли багатомірна щільність  $f(\bar{x}|S_k), k = \overline{1, m}$  є невідродженим  $p$ -мірним нормальним розподіленням з однаковими або різними по класам  $S_1, \dots, S_m$  коваріаційними матрицями [17].

Оскільки будь-яка з розділяючих функцій, (5) та (6), використовує функції правдоподібності і оскільки для параметричної дискримінації оцінюється рівень (кількісне значення) контрольованої величини  $Y$ , має сенс використовувати для такого оцінювання метод максимального правдоподібності, широко застосованого для знаходження точених оцінок [18] і застосовувані у рамках байєсівської теорії прийняття рішень.

Правило вибору рішень, в цьому випадку, базується на критерії максимальної правдоподібності:

$$\gamma(\bar{x}) = \gamma_j, \text{ якщо } w(\bar{x}|S_j) = \sup \{ w(\bar{x}|S_i), i = \overline{1, m} \}. \quad (8)$$

Критерієм якості при такому підході до отримання оцінок є мінімум середнього ризику [9], що відповідає мінімуму ймовірності помилки прийняття рішення  $P_{ош}$  або, що теж саме, – максимуму достовірності

$$P_{Д} = 1 - P_{ош}. \quad (9)$$

При цьому, складові вектору  $\bar{x}$  – це результати вимірювання значень вхідних величин  $x_1, \dots, x_p$ .

Мінімізація середнього ризику  $P_{ош}$  при двохсторонній (альтернативній) класифікації станів  $S_j, j = \overline{1, p}$ , потребує апіорного вибору однієї з 7 моделей параметричної дискримінації (табл. 1).

Таблиця 1 – Види нормативних параметричних вирішувальних функцій

№	Назва вирішувальної функції	Математична модель вирішувальної функції $g(\bar{x})$	Відомі числові характеристики
1	Лінійний дискримінант Фішера	$[\bar{x} - 0.5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})](\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(j)} = 0; j = \overline{0, 1}; D_{(j)} = 1; j = \overline{0, 1}$
2	Лінійна з незалежними інформативними ознаками	$[\bar{x} - 0.5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})] \times D^{-1}(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(j)} = 0; j = \overline{0, 1}; D_{(0)} = D_{(1)}$
3	Лінійна з залежними інформативними ознаками	$[\bar{x} - 0.5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})] \times \Sigma^{-1}(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(0)} = \Sigma_{(1)}$
4	Лінійна з незалежними блоками дисперсійних матриць	$\sum_{i=1}^k [\bar{x} - 0.5(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})] D_i^{-1}(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(j)} = 0; j = \overline{0, 1}; D_1 \neq \dots \neq D_k$
5	Кусочно-лінійна	$\max_{i=1, M} \left\{ \bar{x}' \mu_{i(0)} - 0.5 \mu_{i(0)}' \mu_{i(0)} \right\} - \max_{i=1, M} \left\{ \bar{x}' \mu_{i(1)} - 0.5 \mu_{i(1)}' \mu_{i(1)} \right\}$	$D_{(j)} = 1; j = \overline{0, 1}; \Sigma_{(j)} = 0; j = \overline{0, 1};$ $\mu_{(0)} = (\mu_{1(0)}, \dots, \mu_{M(0)});$ $\mu_{(1)} = (\mu_{1(1)}, \dots, \mu_{M(1)})$
6	Квадратична з незалежними інформативними ознаками	$(\bar{x} - \mu_{(1)})' D_{(1)} (\bar{x} - \mu_{(1)}) - (\bar{x} - \mu_{(0)})' \times D_{(0)} (\bar{x} - \mu_{(0)}) + \ln( D_{(1)} ) - n( D_{(0)} )$	$\Sigma_{(0)} = \Sigma_{(1)};$ $D_{(0)} \neq D_{(1)}$
7	Квадратична з залежними інформативними ознаками	$(\bar{x} - \mu_{(1)})' \Sigma_{(1)} (\bar{x} - \mu_{(1)}) - (\bar{x} - \mu_{(0)})' \times \Sigma_{(0)} (\bar{x} - \mu_{(0)}) + \ln( D_{(1)} ) - n( D_{(0)} )$	$\Sigma_{(0)} \neq \Sigma_{(1)}$

Як видно з табл. 1, усі моделі вирішувальних функцій є параметричні, а тип моделі обумовлено властивостями числових характеристик 2 порядку (дисперсійних  $D_{(j)}$  та коваріаційних  $\Sigma_{(j)}$  матриць).

### Застосування сформульованих положень при контролі технічного стану промислового об'єкту

Оскільки інформативними параметрами є показники автокогерентності то для вибору моделі дискримінації були розраховані показники автокогерентності вібраційних сигналів екструдера, як типового промислового об'єкту, а потім одержані оцінки дисперсійних та коваріаційних матриць для цих сигналів.

За допомогою нормативних тестів (критерій Бартлетта) було перевірено гіпотезу щодо однаковості, незалежно від номеру стану  $S_1, S_2, S_3$ , дисперсійних матриць для кожного з показників автокогерентності [7, 8].

В табл. 2 наведені значення показників автокогерентності для вібросигналів для  $m = 3$  станів і  $p = 5$  параметрів автокогерентності ( $N_a = 5 \cdot 10^4, N_b = 5$ ). В табл. 3 наведені оцінки середніх і дисперсій показників автокогерентності. Оцінки дисперсій для показників  $X_1, \dots, X_5$  з табл. 3 були протестовані на справедливості нульової гіпотези  $H_0$ : «дисперсія за діагностованим станом – однакові», для рівня значимості  $\alpha = 0.05$ .

Таблиця 2 – Значення показників автокогерентності для вібросигналів

Стан	Показник автокогерентності				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$S_1$	-1.201E-06	0.18787	0.01411	0.17376	0.18787
	2.69921E-05	0.13338	0.00305	0.13036	0.13341
	-1.62344E-05	0.16719	0.00261	0.16457	0.16718
	1.47554E-05	0.23577	0.02429	0.21149	0.23578
	7.21647E-06	0.21178	0.01592	0.19587	0.21179
$S_2$	-1.67254E-05	0.20255	0.0084	0.19414	0.20254
	-1.6343E-05	0.14001	0.00027	0.13972	0.13999
	3.18601E-05	0.21091	0.01287	0.19807	0.21094
	-2.7555E-05	0.1956	0.00327	0.1923	0.19557
	-2.62362E-07	0.19482	0.01825	0.17658	0.19482
$S_3$	1.31124E-05	0.30719	0.01208	0.29512	0.30721
	-8.36627E-07	0.2658	0.01585	0.24995	0.2658
	-6.62393E-07	0.30629	0.01645	0.28984	0.30629
	-4.83666E-06	0.24584	0.01558	0.23026	0.24584
	-4.70327E-06	0.26585	0.01488	0.25097	0.26585

Таблиця 3 – Оцінки середніх і дисперсій показників автокогерентності для вібросигналів

Стан	Числові характеристики	Показник автокогерентності				
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$S_1$	Середнє	6,30571E-06	0,187198	0,011996	0,17521	0,187206
	Дисперсія	2,6614E-10	0,001565	8,48E-05	0,000967	0,001565
$S_2$	Середнє	-5,8051E-06	0,188778	0,008612	0,180162	0,188772
	Дисперсія	5,38187E-10	0,000785	5,23E-05	0,000578	0,000786
$S_3$	Середнє	4,1469E-07	0,278194	0,014968	0,263228	0,278198
	Дисперсія	5,4432E-11	0,000746	2,92E-06	0,000785	0,000746

Для табл. 3 використовувався модифікований критерій Бартлета ( $n_1 = \dots = n_k = N_{\sigma} = 5$ ):

$$T^* = \frac{M}{\left( \left( \frac{k+1}{(c-1)^2} \right)^2 / \left( \frac{k+1}{(c-1)^2} (2-c) + c \right) - M \right)}, \quad (10)$$

де  $k$  – кількість вибірок,  $k = 3$ ;  $M$  – коефіцієнт, що дорівнює:

$$M = (N - k) \ln(s_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(s_i^2), \quad (11)$$

$c$  – коефіцієнт, що дорівнює

$$c = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k} \right), \quad (12)$$

$N$  – коефіцієнт, що дорівнює

$$N = \sum_{i=1}^k n_i, \quad (13)$$

$s_p^2$  – сумарна оцінка дисперсії, що дорівнює

$$s_p^2 = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2, \quad (14)$$

$s_i^2$  – оцінка дисперсії  $i$ -ої вибірки,  $n_i$  – об'єм  $i$ -ої вибірки.

Результати перевірки за критерієм Бартлета наведені в табл. 4. Для всіх  $X_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$  була доведена справедливості нульової гіпотези, що дозволило

обрати для подальших досліджень лінійну дискримінаційну функцію №3 з табл. 1.

Таблиця 4 – Результати використання критерію Бартлета для вібросигналів

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$N$	15				
$n_i$	5				
$k$	3				
$M$	4,405789555	0,727205	8,236472	0,262868	0,725534
$c$	1,111111111				
$T^*$	1,989827	0,3251	3,76007	0,117366	0,324352
Критичне значення	4,671457				

З табл. 4 видно, що для усіх показників автокогерентності критеріально  $T$ -статистика не перевищує критичне значення 4,671457, що вказує на справедливості нульової гіпотези  $H_0$ : «дисперсія за діагностованим станом – однакові».

### Висновки

Сформульована в загальному вигляді задача функціональної діагностики для моделей параметричної дискримінації з використанням інформативних параметрів – показників автокогерентності. Проведене дослідження вібросигналів типового промислового об'єкту – екструдера, показує, що для контролю технічного стану вібраційних об'єктів можливо використовувати лінійну вирішувальну (дискримінаційну) функцію типу 2 або 3 табл. 1. Кінцевий вибір функції буде залежити від результатів оцінювання коваріаційної матриці.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щапов П.Ф. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів : Монографія / П.Ф. Щапов, Р.П. Мигущенко, О.Ю. Кропачек – Х: НТУ «ХП», 2015. – 260 с.
2. Щапов П.Ф. Методи підвищення вірогідності контролю та діагностики стохастичних параметрів об'єктів різної фізичної природи: дис. докт. техн. наук: 05.11.13 / Щапов Павло Федорович. – Харків, 2009. – 368 с.
3. Раудис Ш. Ограниченность выборки в задачах классификации / Ш. Раудис // Статистические проблемы управления. – Вильнюс. – 1976. – Вып. 18. – С. 1–185.
4. Мигущенко Р. П. Исследование влияния ограниченности априорной информации на вид и размер достоверности диагностики / Р. П. Мигущенко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ, 2014. – № 6. – С. 201–204.
1. 3. Уткин Л. В. Модель классификации на основе неполной информации о признаках в виде их средних значений / Л. В. Уткин, Ю. А. Жук, И. А. Селиховкин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 3. – С. 71–81.
5. Щапов П. Ф. Синтез информационной модели процедуры альтернативной функциональной диагностики / П. Ф. Щапов, Р. П. Мигущенко // Приборы и методы измерений. – Минск. – 2014. – Вып. 2. – С. 94–100.
6. Щапов П. Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределённости : монография / П. Ф. Щапов, О. Г. Аврунин. – Х. : ХНАДУ, 2011. – 191 с.
7. Щапов П.Ф. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів : Монографія / П.Ф. Щапов, Р.П. Мигущенко, О.Ю. Кропачек – Х: НТУ «ХП», 2015. – 260 с.
8. Коржов І.М. Аналіз моделей функції когерентності спектральної нестационарності випадкових сигналів / І.М. Коржов // Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати = Bulletin

- of the National Technical University «KhPI». Series: Hydraulic machines and hydraulic units: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – № 46 (1322) 2018. – С. 30-34
9. Щапов П.Ф. Дослідження кореляційних моделей спектральної нестационарності випадкових сигналів / П.Ф. Щапов, Р.П. Мигущенко, О.Ю. Кропачек, І.М. Коржов // Метрологія та прилади. – 2018. - №5 (73). – С. 11-14
  10. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3-х кн. Кн. вторая. / Б.Р. Левин – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с.
  11. Айвазян С.А. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
  12. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер; пер. с англ. А.С. Мониной – М.: Мир, 1975. – 648 с.
  13. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П.Харт; пер. с англ. под ред. В.Л. Стефанюк. – М.: Мир, 1976. – 512 с.
  14. Зыбов В.Н. Моделирование функции преобразования первичного преобразователя в задачах многофакторных измерений [Текст] / В.Н. Зыбов // Измерительная техника. – 2006. - № 4. – С. 26-31.
  15. Кенделл М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кенделл, А. Стьюарт; пер. с англ. Э.Л. Прессман – М.: Наука, 1976. – 736 с.
  16. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / [под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича]. – М.: машиностроение, Т.8: Эксплуатация и ремонт. – 1990. – 320с.: ил.
  17. Большевцев А.Д. Оценка качества контроля многопараметрических объектов [Текст] / А.Д. Большевцев, В.А. Добрыден и др. // Метрологічне забезпечення в галузі електричних, магнітних та радіовимірювань: III міжнарод. науч.-тех. конф., 10-12 октября 2000г. Том. 2 – Х.: ХНДІМ. – 2000. – С. 128-130.
  18. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / [под ред. В.С. Королюка]. – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с.
  19. Кисиль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: [навч. посібник] / І.С. Кисиль – Івано-Франківськ: Видавництво „Факел”, 2000. – 400 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 18.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

### Общая формулировка задачи функциональной диагностики для моделей параметрической дискриминации

I. M. Korzhov

Проблема повышения эффективности информационных систем контроля технического состояния промышленных объектов с динамическими свойствами неотъемлемо связано с увеличением объемов измерительной информации, характеризующей типичные эталонные варианты динамических нарушений. Цель статьи: навести общая формулировка задачи функциональной диагностики для моделей параметрической дискриминации. Результаты. Рассмотрена общая задача функциональной диагностики для моделей параметрической дискриминации по информативными параметрами - показателями автокогерентности. Сформулирована в общем виде задача выбора дискриминантной функции для целей контроля и диагностирования промышленных объектов с точки зрения статистических рисков контроля и диагностики. Проверенные сформулированы положения при контроле технического состояния типичного вибрационного промышленного объекта - экструдера. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего исследования влияния объема обучающей выборки на средний риск контроля и диагностики с синтезом математической модели среднего риска и анализом эффектов минимизации среднего риска, а также оптимизации пространства информативных признаков по критерию максимума достоверности контроля и диагностики. Вывод. Проведенное исследование вибросигналов типичного промышленного объекта - экструдера, показало, что для контроля состояния вибрационных объектов можно использовать линейную решаемые (дискриминантный) функцию типа 2 или 3. Конечный выбор функции будет зависеть от результатов оценки ковариационной матрицы.

**Ключевые слова:** диагностика, контроль, автокогерентность, достоверность, вероятность, дискриминантные функции, статистический риск.

### General formulation of functional diagnostic problems for models of parametric discrimination

I. Korzhov

The problem of improving the efficiency of information systems for monitoring the technical condition of industrial objects with dynamic properties is inextricably linked with an increase in volumes of measurement information that characterizes standard reference variants of dynamic disturbances. The purpose of the article: to give a general formulation of the problem of functional diagnostics for models of parametric discrimination. Results The general task of functional diagnostics for parametric discrimination models according to informative parameters - indicators of auto-coherence is considered. The problem of selecting a discriminant function for the purpose of controlling and diagnosing industrial objects in terms of statistical control risks and diagnostics is formulated in the general form. Verified formulated positions in the control of the technical state of a typical vibration industrial object - extruder. The obtained results can be applied for further study of the influence of the volume of the study sample on the average risk of control and diagnosis with the synthesis of the mathematical model of the average risk and the analysis of the effects of minimizing the average risk, as well as optimization of the space of informative features on the criterion of maximum reliability of control and diagnosis. Conclusion. A vibration analysis of a typical industrial object - an extruder - was carried out, indicating that it is possible to use a linear solving (discriminant) function of type 2 or 3 to control the technical state of vibrational objects. The final choice of a function will depend on the results of the evaluation of the covariance matrix.

**Keywords:** diagnosis, control, autocorrelation, reliability, probability, discriminatory functions, statistical risk.

О. В. Денисенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

**Предметом вивчення** в статті є новий підхід визначення параметрів руху транспортних засобів і особливості сучасної організації моніторингу транспортних потоків (ТП) на таких регульованих перехрестях. **Метою** є розробка нового способу, що дозволяє підвищити рівень якості та комплексної оцінки визначення елементів циклу світлофорного регулювання (СР) в умовах зміни параметрів руху ТП в зоні перехрестя. **Завдання дослідження:** аналіз існуючих підходів моніторингу ТП на регульованих перехрестях; розробка нового способу, що дозволяє отримати більш повну інформацію для контролю та ефективного визначення оптимальних значень часу дії елементів циклу СР; розробка способу, що відповідає вимогам універсальних адаптивних систем, що дозволяють ефективно реагувати на зміни умов руху ТП на перехресті. **Результати.** Розкрито деякі особливості сучасної організації моніторингу ТП на локальних об'єктах, а також проаналізовано їх основні переваги та недоліки. Представлений новий спосіб визначення елементів циклу СР в умовах динамічного зміни параметрів руху ТП і адаптивного реагування системи на дорожню ситуацію. Наведено варіант спрощеної структури пристрою для реалізації запропонованого способу і ефективної обробки вихідної інформації, показана достовірність, і працездатність алгоритмів, закладених в спосіб. **Висновки.** Ефективне визначення параметрів руху ТП в зоні перехрестя по кожній смузі руху протягом світлофорного циклу дає можливість отримати більш повний комплекс інформації для контролю і подальшого оперативного управління рухом на перехресті. Показано шляхи розширення функціональних можливостей запропонованого способу за рахунок одночасного визначення додаткових параметрів стану ТП на перехресті і критеріїв оцінки якості НГ. Гнучка технологія і комплексна оцінка режимів СР дозволяє в реальному масштабі часу здійснювати як параметричну адаптацію, так і структурну адаптацію за рахунок реорганізації схем управління руху.

**Ключові слова:** регульоване перехрестя, транспортний потік, транспортний засіб, пристрій розгортки, лазерний промінь, світлофорний цикл.

### Вступ

Зростання автомобільного парку і відповідно інтенсивності руху, неминуче ведуть до різкого збільшення кількості об'єктів світлофорного регулювання. Тому вдосконалення методики проектування і регулювання таких перетинів представляє безперечний практичний інтерес. Проте, на даний час вирішення практичних завдань в області регулювання світлофорних об'єктів в Україні і світі має лаву об'єктивних труднощів, пов'язаних з відсутністю нових технологій, здатних в динаміці реагувати на всілякі зміни умов руху ТП на регульованих перехрестях.

Для забезпечення високого рівня заходів керування та організації руху на регульованих перехрестях потрібні відомості, які характеризують у реальному масштабі часу не тільки параметри ТП, але й дають можливість отримати критеріальні оцінки якості роботи перехрестя.

Однією з головних задач таких технічних засобів є визначення цілого ряду параметрів ТП, що може бути забезпечено наявністю у комплексі діагностування надійних багатофункціональних детекторів режимів руху ТП магістралей та перехресть, які дозволяють одночасно визначити габаритні параметри ТЗ, моменти їх проїзду контрольованих зон (КЗ) та перехрестя в цілому, швидкість, тип і напрямки руху ТЗ, їх інтенсивності по кожній смузі, інтервали руху між ТЗ, їх затримки та склад ТП.

Серед відомих методів дослідження параметрів ТП визначають натурні спостереження, імітаційне

моделювання руху, відеоспостереження за рухомим складом ТП та ін. Усі ці методи об'єднують мета отримання точних даних про параметри ТП для ефективного управління рухом ТЗ. Також проводяться перспективні дослідження по використанню різноманітних оптичних, радіоелектронних та ультразвукових детекторів ТЗ для визначення різноманітних параметрів ТП [1, 2]. Крім того, активно розвиваються системи моніторингу перехресть, які використовують при розробці агрегатних систем та засобів управління ДР в системах інформаційного забезпечення завантаження перехресть ВДМ, а також для підвищення ефективності управління рухом транспорту на регульованих перехрестях. Ось чому задача розробки та удосконалення сучасних детекторів ТЗ і систем моніторингу перехресть є важливою і актуальною.

**Аналіз публікацій.** Знайомство з публікаціями показує існування великої кількості приладів, у тому числі детекторів транспорту для визначення параметрів ТП на підступах до перехрестя, серед яких перевагу віддають методам і засобам з застосуванням оптичного (зокрема лазерного) випромінювання. Наприклад, у [1] в якості приймача сигналу запропоновано оптико-електричний детектор транспорту на основі растрів. Вихідними сигналами цього детектору є числові значення швидкості руху, габаритних характеристик (висота, довжина) та інші основні характеристики ТП з використанням автомобіль-маркеру. Недолік даного пристрою полягає в складності обробки відеосигналу як оптичного образу ТЗ. Крім того необхідно постійно проводити калібров-

ку, тобто корегувати поправочний коефіцієнт) і нормувати амплітуди відбитого сигналу, що призводить до додаткових витрат часу.

Відомі також способи і пристрої для визначення швидкості і типу ТЗ з використанням відеокамер, які встановлюються в пристрої контролю у складі вітчизняних і зарубіжних приладів ("Арена", "Крис-1", "Візор", "Сокіл", "TruCam" і ін.) [2].

Практика експлуатації таких систем показує, що вони мають ряд недоліків, серед яких: складність спеціального програмного забезпечення для обробки відеоданих; необхідність значного підсвічування контрольованої зони у нічний час; тривалий час обробки інформації і передачі її у темпі, сумісному зі швидкістю зміни умов руху на ВДМ; відсутність можливості визначення всіх необхідних параметрів руху ТП одночасно по всіх смугах руху перехрестя та можливості повної автоматизації прийняття рішень в реальному масштабі часу.

Функціонування таких систем представляє собою складний технологічний ланцюг, тому доцільно шукати інший варіант створення універсальної адаптивної системи, яка в умовах можливих обмежень забезпечувала б ефективний моніторинг об'єкту [3].

Серед відомих технічних рішень, які б найкращим чином відповідали вказаним вище вимогам, можна відзначити спосіб визначення параметрів транспортних потоків у зоні перехрестя, у відповідності з яким у просторовій зоні перехрестя відбувається покрокове сканування конусним вузько спрямованим лазерним променем інфрачервоного діапазону всіх підходів і виходів цього перехрестя [4].

Цей спосіб дає можливість у реальному часі вимірювати одночасно по усіх смугах руху цілого комплексу параметрів для подальшого визначення елементів циклу СР: швидкості і напрямку руху ТЗ у зоні перехрестя, інтервали руху та габарити ТЗ, інтенсивності ТП по кожній смузі. Недоліком цього способу і пристрою, що його реалізує, є обмежені функціональні можливості - він не дозволяють визначити такі важливі параметри руху ТП на перехресті як: черги ТЗ, що накопичуються на червоному сигналі світлофору, тип ТЗ, коефіцієнти приведення до легкового автомобілю, потоки насичення, фазові коефіцієнти і т.д. Все це вкрай обмежує можливості отримати найбільш повний комплекс інформації для контролю і подальшого оперативного точного визначення часу елементів циклу регулювання та управління рухом на перехресті в оптимальному режимі. Нарешті цей спосіб не дозволяє одночасно у процесі виміру застосовувати різні критерії оцінки ефективності управління регульованих перехресть, а це знижує його функціональні можливості та перспективи використання.

**Мета і постановка задачі.** З метою підвищення ефективності визначення елементів циклу СР в ході дослідження необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати існуючі способи, методи та алгоритми моніторингу ТП на регульованих перехрестях;

- надати пропозицію такого способу, який дозволяє одержати більш повний комплекс інформації

для контролю і ефективного визначення оптимальних значень часу дії елементів циклу регулювання;

- запропонувати та розробити реалізацію такого способу, який би відповідав вимогам універсальної адаптивної системи, яка ефективно реагувала би на різноманітні зміни умов руху ТП на перехресті.

### Суть пропозиції

Для забезпечення високошвидкісного визначення параметрів руху окремих ТЗ і ТП по усіх смугах перехрестя запропоновано одночасне конусне покрокове сканування трьома вузько спрямованими лазерними променями всіх підходів і виходів перехрестя (рис. 1), що дає можливість сформувати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення набору необхідних параметрів ТП по кожній смузі руху в залежності від результатів сканування [5].

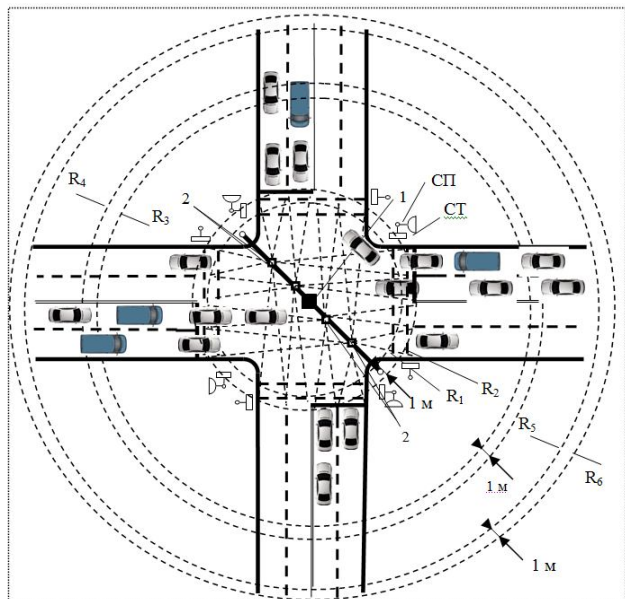


Рис. 1. Схема, яка розкриває основні відмінні особливості запропонованого способу

Розгортка лазерного променя здійснюється спеціальним блоком сканування 1, який розташовано над перехрестям на кронштейні в точці, яка відповідає геометричному центру перехрестя. У блоці сканування залежно від висоти його розташування одну з оптичних вісей розгортки підбирають так, щоб перший лазерний промінь окреслював конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя ( $R_1$ ) в зоні «стоп-ліній» його підходів.

Блоку сканування складається з оптичного відхиляючого пристрою (дискретного сканістора), який забезпечує відхилення вісі першого лазерного променя в необхідне друге положення при якому радіус кола ( $R_2$ ) на поверхні дороги зменшується на потрібну величину (наприклад, на 1 м). На кожному наступному періоді блок сканування змінює розгортку першого лазерного променя з однієї оптичної вісі на іншу та описує в зоні стоп-ліній на дорозі два концентричних кола з розбіжністю радіусів ( $R_1 - R_2 = 1$  м), що й формує вихідну межу КЗ.

Другий оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням на  $120^\circ$  по колу розгортки



(рис. 2) і формує вхідну межу першої КЗ. Цей промінь, як і перший, за допомогою відповідного дискретного сканістора  $S_2$  на кожному черговому періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола  $R_3$ ) на іншу (з радіусом  $R_4$ ) і формує два концентричних кола також з розбіжністю радіусів  $R_4 - R_3 = 1$  м.

Третій оптичний промінь лазерної розгортки має зміщення по відношенню до другого ще на  $120^\circ$  по колу розгортки і формує вхідну межу другої КЗ. Цей промінь, як і обидва інші, за допомогою дискретного сканістора  $S_3$  на кожному наступному періоді сканування змінює оптичну вісь розгортки (з радіусом кола  $R_5$ ) на іншу (з радіусом  $R_6$ ) і формує два концентричних кола з тією ж розбіжністю радіусів  $R_6 - R_5 = 1$  м.

Оптичні фотоприймачі 2 (ФПі) в ході розгортки лазерних променів  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  та  $\delta_3$  по одному з кіл на входах і виходах КЗ послідовно ловлять сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугам руху як на підходах, так і на виходах перехрестя. Часове і просторове рознесення лазерних променів дозволяє фіксувати одним ФПі всі сигнали сканування по відповідній смузі. Це підвищує швидкодію системи.

Реєстрацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при пересіченні одного з кіл (наприклад  $R_6$  або  $R_4$ ), при цьому завдяки періодичному скануванню зі змінною оптичною віссю лазерного променя (з радіуса  $R_3$  на  $R_4$  і навпаки та з  $R_5$  на  $R_6$ ) на дистанції 1 м визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, які щойно в'їхали в КЗ по кожній смузі руху під час періоду вимірювання. Радіус  $R_3$ , що формує вхідну межу першої КЗ, вибирають за умови, щоб відстань між  $R_3$  та  $R_1$  відповідала максимальному з можливих зупиночному шляху (ЗШ) різного типу ТЗ, що перетинають вхідну межу першої КЗ з максимально дозволеною швидкістю. Це дає змогу визначити швидкість ТЗ на вході в першу КЗ на момент зміни сигналу світлофору з зеленого на жовтий і по швидкості та типу ТЗ розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку прийняти рішення про завершення проміжного такту (ПТ):

$$l_{зш} = l_{рк} + l_{зш} = V \cdot t_{рк} + V^2 / (2g(\varphi + f \pm \lambda)), \quad (1)$$

де  $l_{рк}$  – шлях, що пройде ТЗ за час реакції водія  $t_{рк}$  на зміну сигналів світлофору;  $l_{зш}$  – гальмовий шлях;  $V$  - швидкість ТЗ на вході в КЗ;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\varphi$  - коефіцієнт подовжнього зчеплення колеса з поверхнею дороги;  $f$  - коефіцієнт кочення колеса;  $\lambda$  – величина подовжнього похилу.

Подвійне сканування першим променем в зоні стоп-ліній і по відповідним смугам на виході з перехрестя дає змогу визначити усі потрібні параметри ТЗ, які залишили КЗ по кожній зі смуг руху на зелений сигнал світлофору та повністю виїхали з зони перехрестя. Це дозволяє отримати точну інформацію про наявність ТЗ по окремим смугам в КЗ на момент зміни

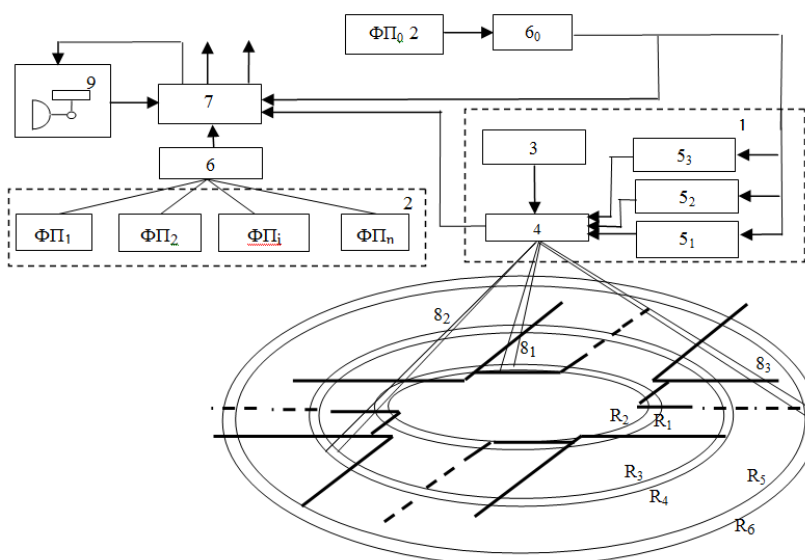


Рис. 2. Структурна схема пристрою, яка розкриває запропонований спосіб

зеленого сигналу світлофору на жовтий, та визначити кількість та тип ТЗ, що не встигли або не змогли лишити зону перехрестя на зелений сигнал, тобто не здійснили перетинання зони сканування ( $R_1$ ,  $R_2$ ) по смугам руху на виході з перехрестя. Таке може, наприклад, коли лівоповоротні ТЗ в зоні перехрестя очікують проїзду прямого зустрічного транспорту а правоповоротні ТЗ - завершення руху пішоходів.

Інформація про довжину, тип та кількість ТЗ в зоні перехрестя на момент початку дії ПТ дає можливість чітко визначити момент, коли всі ТЗ попередньої фази руху звільнять зону перехрестя для початку нової фази. Це пропонується зробити по моментах, коли останній ТЗ, що знаходився в зоні перехрестя, почне перетинати своїм переднім бампером одну з ліній сканування (наприклад,  $R_1$ ) по смугам руху на виході з перехрестя. Це гарантує, що останній ТЗ досяг або минув дальню конфліктну точку цього ПТ і при умові наявності інформації про його довжину практично вже залишив зону перехрестя. Момент перетинання переднім бампером ТЗ лінії сканування з радіусом  $R_1$  береться як кінець ПТ цієї фази, але за умови перевірки наявності на вході в першу КЗ нового ТЗ, зупиночний шлях якого перевищує довжину КЗ. Це можливо за умови, якщо на момент початку ПТ вхідний кордон першої КЗ буде перетинати ТЗ зі швидкістю, що перевищує дозволу (більше 50 км/год), а його тип і габарити будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному гальмуванні потрапить в зону перехрестя. В такому випадку кінець ПН визначається по моменту перетинання лінії сканування з радіусом  $R_1$  на виході з перехрестя переднім бампером цього ТЗ. Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх заднім бамперам при перетинанні одного з кіл (наприклад,  $R_5$ ). При цьому завдяки періодичному скануванню зі змінною оптичною віссю лазерного променя визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що справді в'їхали в другу КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань.

Радіус  $R_5$ , що формує вхідну межу другої КЗ, бажано вибирати за умови, щоб він перевищував

найбільш можливу чергу ТЗ, яка може скупчуватися у звичайних умовах по одній із смуг руху на червоний сигнал світлофору. Це дає можливість досить точно визначити кількість ТЗ  $m_j$  у черзі по кожній  $j$ -й смузі руху на підходах до перехрестя на момент зміни сигналу світлофору на зелений, або на момент початку руху перших у черзі ТЗ. Інформація про довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в другу КЗ дозволяє послідовно визначити реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобілю  $K_{ПРi}$  як відношення величини середнього значення часового інтервалу  $\bar{t}_{ei}$  пересування конкретного типу ТЗ кола з  $R_5$  спочатку переднім, а потім заднім бампером до величини середнього значення аналогічного часового інтервалу  $\bar{t}_{li}$  проїзду легкового автомобілю:

$$K_{ПРi} = \bar{t}_{ei} / \bar{t}_{li}. \quad (2)$$

Вимірювання такого комплексу параметрів в зоні перехрестя дозволяє також визначити склад та довжину черги ТЗ, що скупчуються перед стоп-лінією на червоний сигнал світлофора по кожній смузі руху як у фізичних, так і у приведених одиницях. Таким чином можна суттєво підвищити точність розрахунків і прогнозування, а потім за результатами сканування виходу КЗ першим променем визначити час роз'їзду  $T_j$  черг по кожній смузі на зелений сигнал і тривалість кожного основного такту (ОТ).

Тривалість ОТ  $T_{oi}$   $i$ -фази пропонується визначати за моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугам руху в даній фазі регулювання. Фіксація кінця ОТ здійснюється за моментом перетинання заднім бампером останнього в черзі ТЗ лінії сканування з радіусом  $R_1$  при умові, що на цей момент першу КЗ повністю залишать всі ТЗ. В іншому випадку кінець ОТ формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню. Тривалість циклу  $T_u$  СР за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних  $T_{ni}$  тактів всіх фаз

$$T_u = \sum_{i=1}^m T_{oi} + \sum_{i=1}^m T_{ni}. \quad (3)$$

Структурна схема пристрою для реалізації запропонованого способу має у своєму складі: блок сканування 1, лазерний випромінювач 3 вузько спрямованого променя та вузол розгортки 4, які формують трьолучове конусне покровове сканування зони перехрестя за допомогою оптичних відхиляючих пристроїв 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub>. Зміна положень кутів розгортки променів 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub> та 8<sub>3</sub> здійснюється в реперній точці на кожному періоді сканування сигналом, що поступає з реперного фотоприймача 2 (ФП<sub>0</sub>) на входи дискретних сканісторів 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub> та 5<sub>3</sub>.

Фотоприймачі 2, направлені на вхідні і вихідні смуги руху, уловлюють послідовно відбиті сигнали усіх лазерних променів з часовою затримкою на третину періоду сканування. Перетворювач 6 сигналу кожного ФП<sub>i</sub> відповідної смуги руху перетворює сигнали в імпульсно-цифрові коди, які вводяться в обчислювальний пристрій (ОП) 7, де далі визначаються всі необхідні параметри за будь-який час виміру (час тривалості ОТ, ПТ або циклу СР). Для цього сигнали

зміни елементів циклу СР з виходу світлофорного об'єкту 9 подаються на відповідний вхід ОП.

Сигнали з виходу реперного ФП<sub>0</sub> через перетворювача 6<sub>0</sub> подаються на відповідні входи дискретних сканісторів 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub> та ОП для визначення положення кожного променя за смугами руху відносно реперної точки. ОП на протязі циклу регулювання зберігає інформацію про тип, кількість і напрямки руху ТЗ, що знаходяться в КЗ або в зоні перехрестя на момент початку ОТ та ПТ. В ОП закладено алгоритм та константи для розрахунку ЗШ різного типу ТЗ, за якими визначається перспектива повного гальмування ТЗ до стоп-лінії,  $K_{ПРi}$  для попереднього розрахунку часу роз'їзду черг ТЗ. Після того, як останній ТЗ, що з початку ПТ знаходився в зоні перехрестя, перетне своїм переднім бампером лінію сканування  $R_2$  на виході з перехрестя, ОП видає сигнал завершення ПТ на світлофорний об'єкт 9. В разі відсутності ТЗ в зоні перехрестя на момент початку ПТ, обчислювальний пристрій формує сигнал завершення ПТ через мінімально обраний заздалегідь час. ОП також визначає моменти завершення ОТ для різних умов руху ТП на перехресті.

Таким чином, ефективне визначення реальних параметрів руху окремих видів ТЗ по усіх смугах руху на підході та в зоні перехрестя шляхом потрібного високошвидкісного сканування дає можливість одержати в реальному масштабі часу точні значення часу дії ОТ і ПТ та підвищити ефективність регулювання за рахунок оптимізації параметрів циклу СС для конкретних умов. Визначення часу дії ОТ і ПТ за поточними вимірами (а не приблизними розрахунками за середніми значеннями параметрів, як відбувається зараз), дає можливість скоротити такти, зменшити втрати часу в циклі регулювання та підвищити ефективну тривалість фаз регулювання.

Звернемо увагу на те, що це можливо лише у разі відсутності ТЗ в зоні перехрестя та на його підходах на момент початку ПТ. Зменшення ОТ можливо у разі відсутності ТЗ за дозволеними напрямками на протязі дії ОТ, або за відсутністю ТЗ по окремим напрямкам (як це здійснюється при управлінні з розщепленою фазою). Фіксація кінця дії ПТ по виходу з зони перехрестя останнього ТЗ, одночасно підвищує ефективність управління завдяки поліпшенню безпеки руху на регульованому перехресті.

## Висновки

Запропонований спосіб дає можливість одержати більш повний комплекс інформації для контролю і оперативного визначення оптимальних значень часу дії ОТ і ПТ, циклу регулювання та управління рухом, що сприятиме вирішенню проблеми підвищення ефективності функціонування і пропускної здатності регульованих перехрестя та транспортної мережі в цілому. Запропонований підхід до виміру комплексу параметрів руху ТП одночасно дозволяє здійснювати оцінку якості СР за такими критеріями як середні затримки ТЗ, ступінь насичення смуг руху, пропускна здатність перехрестя та в динаміці контролювати якість СР. Все це істотно розширює функціональні можливості відомого спо-



собу і його ефективність та дозволяє в динаміці (наприклад, при раптовій зміні умов руху на перехресті) здійснювати як параметричну адаптацію керу-

вання (оптимізацію елементів циклу), так і структурну або комбіновану адаптацію за рахунок структурної реорганізації схем керування рухом.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Плешенцев В.С. Диагностирование транспортных потоков федеральной автотрассы «Волга М-7»/В.С. Плешенцев, Е.В Дмитриева, Д.А Соцков // Организация и безопасность дорожного движения в больших городах: сборник статей 7-й межд. НПК. – Санкт-Петербург, 21-22 сентября 2006. – С 27-31.
2. Барский И.В. Комплекс регистрации изображения и скорости (КРИС-1)// Организация и безопасность дорожного движения в больших городах: сборник статей 7-й межд. НПК. – Санкт-Петербург, 21-22 сентября 2006. – С 157-159.
3. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Программный комплекс для мониторинга транспортных средств по видеозображению // Int. Conf. Graphicon 2006. – Novosibirsk Akademgorodok, Russia. – Режим доступа: <http://www.graphicon.ru>.
4. Пат. 71913 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення параметрів транспортних потоків у зоні перехрестя / Левтеров А.І., Денисенко О.В., Ярута А.М.; заявник і патентовласник ХНАДУ. – опубл. 25.07.2012, Бюл. №14/2012.
5. Пат. 112094 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення тривалості елементів та циклу світлофорної сигналізації / Денисенко О. В.; заявник і патентовласник ХНАДУ.- опубл. 25.07.16, Бюл. № 14/2016.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 11.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

**К вопросу повышения эффективности светофорного регулирования**

О. В. Денисенко

**Предметом** изучения в статье является новый подход определения параметров движения транспортных средств и особенности современной организации мониторинга транспортных потоков (ТП) на таких регулируемых пересечениях. **Целью** является разработка нового способа, позволяющего повысить уровень качества и комплексной оценки определения элементов цикла светофорного регулирования (СР) в условиях изменения параметров движения ТП в зоне перекрестка. **Задачи исследования:** анализ существующих подходов мониторинга ТП на регулируемых перекрестках; разработка нового способа, позволяющего получить более полную информацию для контроля и эффективного определения оптимальных значений времени действия элементов цикла СР; разработка способа, отвечающего требованиям универсальных адаптивных систем, позволяющих эффективно реагировать на изменение условий движения ТП на перекрестке. **Получены следующие результаты.** Раскрыты некоторые особенности современной организации мониторинга транспортных потоков (ТП) на локальных объектах, а также проанализированы их основные достоинства и недостатки. Представлен новый способ определения элементов цикла СР в условиях динамического изменения параметров движения ТП и адаптивного реагирования системы на дорожную ситуацию. Приведен вариант упрощенной структуры устройства для реализации предложенного способа и эффективной обработки исходной информации, показана реализуемость и работоспособность алгоритмов, заложенных в способ. **Выводы.** Эффективное определение параметров движения ТП в зоне перекрестка по каждой полосе движения в течение светофорного цикла дает возможность получить более полный комплекс информации для контроля и последующего оперативного управления движением на перекрестке. Показаны пути расширения функциональных возможностей предложенного способа за счет одновременного определения дополнительных параметров состояния ТП на перекрестке и критериев оценки качества СР. Гибкая технология и комплексная оценка режимов СР позволяет в реальном масштабе времени осуществлять как параметрическую адаптацию (оптимизацию элементов цикла), так и структурную адаптацию за счет реорганизации схем управления движением.

**Ключевые слова:** регулируемый перекресток, транспортный поток, транспортное средство, устройство развертки, луч лазера, цикл регулирования.

**Increase in effectiveness of definition of elements of a cycle of traffic light regulation.**

O. Denisenko

**Studying subject** in article is new approach of determination of parameters of the movement of vehicles and feature of the modern organization of monitoring of traffic flows on such adjustable traverses. **The purpose** is development of the new mode allowing to increase level of quality and complex assessment of definition of elements of cycle of traffic light regulation (TLR) in the conditions of change of parameters of the movement TF in intersection zone. **Research problems:** the analysis of the existing approaches of monitoring of TF at adjustable intersections; development of the new mode allowing to obtain fuller information for control and effective determination of optimum values of time of action of elements of the cycle TLR; development of the mode meeting the requirements of the multiple-purpose adaptive systems allowing to react effectively to changes of traffic conditions of TF on the intersection. **The following results are received.** Some features of the modern organization of monitoring of TF on local objects are revealed and also their main merits and demerits are analysed. The new mode of definition of elements of the cycle TLR in the conditions of dynamic change of parameters of the movement TF and adaptive response of system to road situation is presented. The option of the simplified structure of the device for realization of the offered mode and effective processing of initial information is given, the feasibility and operability of the algorithms put in mode is shown. **Conclusions.** Effective determination of parameters of the movement TF in intersection zone on each strip of the movement during traffic light cycle gives the chance to obtain fuller complex of information for control and the subsequent operational management of the movement at the intersection. Ways of expansion of functionality of the offered mode due to simultaneous determination of additional parameters of condition of TF at the intersection and criteria for evaluation of quality of TLR are shown. The flexible technology and complex assessment of the TLR modes allows to carry out in real time as parametrical adaptation (optimization of elements of cycle), and structural adaptation due to reorganization of schemes of steering of the movement.

**Keywords:** adjustable intersection, traffic flow, vehicle, sweep device, laser beam, control cycle.

# Математичні моделі та методи

UDC 004.432

doi: 10.26906/SUNZ.2018.6.058

A. Hafiak, E. Borodina, A. Diachenko-Bohun

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

## APPLICATION OF GENETIC PROGRAMMING TOOLS AS A MEANS OF SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS

**Purpose.** The article is devoted to the problem of practical application of genetic programming tools as a means of solving optimization problems and the use of genetic programming in various fields of activity. It is established that the evolution of genetic programming is directly related to the development of the genetic algorithm, it is also determined that with the passage of time a significant improvement in genetic programming has occurred. Since the advent of the genetic algorithm, many modifications and software implementations have appeared. This in turn led to the implementation of the genetic algorithm toolkit in software products, namely: specialized software, applications for mathematical and analytical packages, frameworks and libraries. The article reveals the significant impact of genetic programming in the areas of: quantum computing, electrical circuit design, etc. Not only advantages, but also disadvantages are considered, attention is also paid to methods of eliminating deficiencies by improving optimization methods and applying a genetic algorithm.

**Results.** The analysis of the main directions of the practical use of genetic programming is carried out and tasks that can be effectively solved using this toolkit are outlined. **Scientific novelty.** It was determined that the improvement of optimization methods and the expansion of the use of genetic algorithms, stimulates the appearance of such software products on the market, simplifies the structure of software tools, designs the interface for working with a specific commercial user community, simplifies the command language, which allows the use of genetic programming tools circle of users with different levels of training.

**Keywords:** artificial intelligence, genetic programming, instrumentation.

### Introduction

The rapid development of computer technology provides the development and use of increasingly complex economic and mathematical methods and models of research of real processes, allowing decision makers to better understand the subject areas they deal with and solve problems that previously seemed too complex. Genetic programming as an effective tool for solving optimization problems has not yet become massive [1–3]. Since the appearance and use of genetic algorithms, many of their modifications and program implementations have appeared, so the problem of analyzing the main areas of practical use of genetic programming is urgent [4–9].

### Main part

Genetic programming is a modern approach to the use of the principles of artificial intelligence in the creation of algorithms inspired by the evolution of biological species, whose purpose is to develop software that is adapted to find the best options for the accomplishment of tasks. Genetic programming as a set of fitness function instructions is one of the cases of genetic algorithms, where the "individual" is a computer program that will be genetically "mutated" [1, 6].

Genetic algorithm is a heuristic search algorithm used to solve optimization and modeling problems by sequencing, combining and variation of given parameters using mechanisms similar to biological evolution. The peculiarity of the genetic algorithm in the use of a separate operator "crossing", whose role is similar to the role of crossing in wildlife.

The method of coding the problem is characterized by the fact that its solution is presented as a vector of "chromosome". A certain number of initial vectors ("initial population") is randomly created in the first stage. They are evaluated using the "function of adaptation", in order to assign a certain value to each vector ("fitness"), which determines the possibility of survival of the organism represented by this vector.

At the second stage, the received values of adaptability are selected vectors allowed to "cross". To these vectors are used "genetic operators" (in most cases, "crossover" and "mutation" - mutation), ensuring the creation of the next "generation".

Individuals of the next generation are also evaluated, then breeding takes place, genetic operators are used, etc. This is how the "evolutionary process" is simulated, which extends several life cycles (generations) until the algorithm stopping criterion is satisfied [3, 9].

Genetic programming began in 1964 with the development of Niels Al Baricelli's genetic algorithms used to simulate evolution. In the 60s and early 70s, genetic algorithms have already proven themselves as methods for optimizing the calculation of linear problems. In 1971, Ingo Rechenberg, with a group of researchers, began solving complex engineering tasks with the help of evolutionary strategies. An important role in the development of genetic programming was played by John Holland, who is considered one of the founders of genetic algorithms. His book *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (1975) is the basic work in this area of research. In the 90s, genetic programming was mainly used for relatively simple

tasks, because it was characterized by high resource intensities for those computers. But recently, due to the improvement of genetic algorithms and the exponential increase in the capacity of central processors, genetic programming has been widely used and has yielded good results in the areas of quantum computing, the design of electro schemes, computer games, sorting and searching [1, 7, 8].

Genetic programming as a means of solving optimization problems has both advantages and disadvantages, but one of its main advantages is the ability to use in solving complex problems for which there are no methods of linear solution, but you can get an acceptable range of solutions.

The genetic algorithm is appropriate to use when:

- the range of permissible solutions is discrete;
- the existence of a set of local optimums is possible;
- the solution should be precise.

At the present stage, the implementation of the tools of genetic programming allowed to create a set of applied software products, which, depending on the degree of their autonomy and purpose, scope of use and complexity of the structure of the software, can be classified as follows. (fig. 1).

1. NeuroShell Trader - software that allows financial analysts to create market models, combining artificial intelligence and traditional financial analysis methods.

The tool aims to facilitate the process of constructing dynamic models of trend movements of stocks, futures, commodities, options, indexes, which provides the construction of financial forecasts with the flow of new data.

2. StrategyQuant - A powerful financial and analytical platform for developing trading systems with unlimited number of markets and time periods. It does not require direct programming and automatically tests generated strategies.

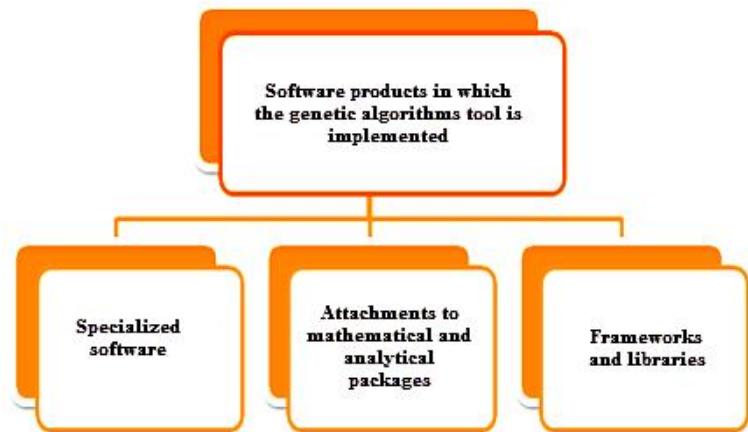


Fig. 1. Classification of software products, in which the tools of genetic algorithms are implemented

3. XL BIT (MS Excel Add-on) is a universal data optimization and forecasting tool that facilitates the process. image processing, scheduling, recognition of suspects, task management, Forex trading.

The features of the application are that in the work with the genetic algorithm you can use up to 100 populations, two types of scaling adaptability, three methods of cross-choice to choose from, the ability to adjust the levels of cross-breaks and mutations during the program and track the values of variables, and the number of optimized variables depends only on the speed of the computer and the amount of memory [2].

## Conclusions

Improving the methods of optimization and expansion of the use of genetic algorithms stimulates the appearance of similar software products on the market, allows you to simplify the structure of the software, to design an interface for interaction with a specific circle of users, to simplify the language of teams, which enables the use of genetic programming for a wide range of users with different levels of professional preparation.

Using the genetic algorithm to optimize the grunge streams of the industrial enterprise.

## REFERENCES

1. Genetic programming [Electronic resource] - Access mode: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Genetic\\_programming](https://uk.wikipedia.org/wiki/Genetic_programming).
2. Using the genetic algorithm for optimizing grunge streams industrial enterprise [Electronic resource] - Access mode: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntmb/1708/1/38.pdf>.
3. Use of genetic algorithms in economics mathematical modeling [Electronic resource] - Access mode: [http://www.economy.in.ua/pdf/2\\_2016/19.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/2_2016/19.pdf).
4. Kuchuk, H.A. Model of the process of evolution of the topological structure of a computer network of a control system for an object of critical application / H.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Yankovsky // Information processing systems: a collection of scientific papers. - H. : HU Sun, 2014. - Vol. 7 (123). - P. 93 -96.
5. Kovalenko A.A. The current stanza the development of computer systems ob'iorktiv critical zasosuvannya / A.A. Kovalenko, H.A. Kuchuk // Systems Management, Navigation and Communication: Zbirnik naukovih prats. - Poltava: PNTU, 2018. - № 1 (47). - P. 110-113. - DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
6. Kuchuk N.A. Recognition of human emotions using neural network technologies / N.A. Kuchuk, B.G. Saatsazov // Systems Management, Navigation and Link. Zbirnik naukovih Prats. - Poltava: PNTU, 2017. - № 4 (44). - P. 64-69.
7. Kalinina I.B. The use of genetic algorithms in optimization problems / I.B. Kalinina, O.I. Lisovichenko // Interdistrict Scientific and Technical Survey "Adaptive Systems of Automatic Control", 2015, No. 1 (26). - P. 48-61.
8. Ovchinnikova O. R. Using Genetic Algorithms in the Modeling of Migration Processes / O. R. Ovchinnikova // Social Problems of the Modern Period of Ukraine, 2013, Vip. 3 (101). - P. 458-465.
9. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms and Engineering design. – John Wiley & Sons. – 1997. – 352 p.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Генетичне програмування [Електр. ресурс] – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Генетичне\\_програмування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Генетичне_програмування)
2. Використання генетичного алгоритму для оптимізації грозових потоків промислового підприємства [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/1708/1/38.pdf>
3. Використання генетичних алгоритмів у економіко-математичному моделюванні [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.economy.in.ua/pdf/2\\_2016/19.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/2_2016/19.pdf)
4. Кучук, Г.А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: XV ВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 93 – 96.
5. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць. – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
6. Kuchuk N.A. Распознавание человеческих эмоций с использованием нейросетевых технологий / Н.А. Kuchuk, В.Г. Saatsazov // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава : ПНТУ, 2017. – № 4 (44). – С. 64-69.
7. Калініна І.В. Використання генетичних алгоритмів в задачах оптимізації / І.В. Калініна, О.І. Лісовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління», 2015, № 1(26). – С. 48-61.
8. Овчиннікова О. Р. Використання генетичних алгоритмів в моделюванні міграційних процесів / О. Р. Овчиннікова // Соц.-ек.проблеми сучас.періоду України, 2013, Вип. 3(101). – С. 458-465.
9. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms and Engineering design. – John Wiley & Sons. – 1997. – 352 p.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. О. В. Шефер,

Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, Полтава

Received (Надійшла) 22.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

#### Використання інструментарію генетичного програмування як засобу політичного вирішення оптимізаційних задач

А. М. Гафіяк, О. А. Бородіна, А.О. Дяченко-Богун

**Мета:** аналіз практичного застосування інструментарію генетичного програмування як засобу вирішення оптимізаційних задач і застосування генетичного програмування в різних сферах діяльності. Встановлено, що еволюція генетичного програмування безпосередньо пов'язана з розвитком генетичного алгоритму, також визначено, що із закінченням часу відбулося значне удосконалення генетичного програмування. З моменту появи застосування генетичного алгоритму з'явилося багато його модифікацій і програмних реалізацій. Це в свою чергу призвело до реалізації інструментарію генетичного алгоритму в програмних продуктах, а саме: спеціалізоване програмне забезпечення, додатки до математичних і аналітичних пакетам, фреймворки і бібліотеки. У статті розкрито значний вплив генетичного програмування в сферах: квантових обчислень, проектування електросхем і т.д. Розглянуті не тільки переваги, а й недоліки, також приділено увагу методам усунення недоліків за рахунок поліпшення методів оптимізації та застосування генетичного алгоритму. **Результати.** Здійснено аналіз основних напрямків практичного використання генетичного програмування і намічені завдання, які можна ефективно вирішувати за допомогою даного інструментарію. **Наукова новизна.** Визначено, що поліпшення методів оптимізації та розширення сфери використання генетичних алгоритмів, стимулює появу подібних програмних продуктів на ринку, дозволяє спростити структуру програмних засобів, спроектувати інтерфейс для роботи з комерційним конкретним колом користувачів, спростити мову команд, що надає можливість, використовувати засоби генетичного програмування широкому колу користувачів з різним рівнем професійної підготовки.

**Ключові слова:** штучний інтелект, генетичне програмування, інструментарій.

#### Использование инструментария генетического программирования как средства решения оптимизационных задач

А. М. Гафияк, Е. А. Бородина, А.О. Дяченко-Богун

**Цель:** анализ практического применения инструментария генетического программирования как средство решения оптимизационных задач и применение генетического программирования в разных сферах деятельности. Установлено, что эволюция генетического программирования напрямую связана с развитием генетического алгоритма, также определено, что с истечением времени произошло значительное усовершенствование генетического программирования. С момента появления применения генетического алгоритма появилось много его модификаций и программных реализаций. Это в свою очередь привело к реализации инструментария генетического алгоритма в программных продуктах, а именно: специализированное программное обеспечение, приложения к математическим и аналитическим пакетам, фреймворки и библиотеки. В статье раскрыто значительное влияние генетического программирования в сферах: квантовых вычислений, проектирование электросхем и т.д. Рассмотрены не только преимущества, но и недостатки, также уделено внимание методам устранения недостатков за счет улучшения методов оптимизации и применения генетического алгоритма. **Результаты.** Осуществлен анализ основных направлений практического использования генетического программирования и намечены задачи, которые можно эффективно решать с помощью данного инструментария. **Научная новизна.** Определено, что улучшение методов оптимизации и расширение сферы использования генетических алгоритмов, стимулирует появление подобных программных продуктов на рынке, позволяет упростить структуру программных средств, спроектировать интерфейс для работы с коммерческим конкретным кругом пользователей, упростить язык команд, что предоставляет возможность, использовать средства генетического программирования широкому кругу пользователей с разным уровнем профессиональной подготовки.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, генетическое программирование, инструментарий.

В. Ю. Дубницький<sup>1</sup>, А. М. Кобылин<sup>1</sup>, О. А. Кобылин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ Университета банковского дела, Харьков, Украина

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ АБСОЛЮТНОЙ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ИНДЕКСОВ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ЦЕН

**Цель работы:** определение предельной абсолютной и относительной погрешности, возникающей при вычислении основных типов индексов потребительских цен: индекса Ласпейреса, индекса Фишера, индекса Джевонса, индекса Уолша, индекса Лоу, индекса Пааше. **Использованные методы:** линеаризация функции случайных величин, методы теории погрешностей приближенных вычислений, методы интервального анализа. **Результаты работы:** Получены, используя методы теории погрешностей приближенных вычислений, выражения для вычисления значений предельной абсолютной и относительной погрешности, возникающей при вычислении основных типов индексов потребительских цен. Приведены выражения для вычисления значений основных типов индексов потребительских цен методами интервального анализа с представлением чисел в системе центр-радиус. Для условного примера выполнено вычисление интервальных значений анализируемых индексов и определена ширина интервала неопределённости, возникающего при их вычислении. Показано, что при вычислении на одних и тех же данных имеет место следующее упорядочение ИПЦ по возрастанию значений центра интервала неопределённости: индекс Ласпейреса, индекс Фишера, индекс Джевонса, индекс Уолша, индекс Лоу, индекс Пааше. Показано, что при вычислении на одних и тех же данных имеет место следующее упорядочение ИПЦ по возрастанию значений относительной ширины доверительного интервала: индекс Джевонса, индекс Фишера, индекс Пааше, индекс Ласпейреса, индекс Уолша, индекс Лоу. **Тема дальнейших исследований:** разработка и согласование способов вычисления погрешностей, возникающих при вычислении ИПЦ, является важной задачей для дальнейших исследований. Отсутствие её общепринятого решения усложняет получение корректных выводов об изменениях в состоянии изучаемых экономических систем.

**Ключевые слова:** индекс потребительских цен, индекс цен, индекс Ласпейреса, индекс Фишера, индекс Джевонса, индекс Уолша, индекс Лоу, индекс Пааше, погрешность вычислений, предельная абсолютная и относительная погрешности вычислений, интервальный анализ.

### Вступление

Индекс потребительских цен (ИПЦ) или, сокращённо, но не вполне корректно – индекс цен, используют как показатель социальной и экономической ситуации в экономике и обществе. Его определение описано во всех учебниках по экономической статистике, например, в работах [1-3]. Однако в них не перечислены организационные и вычислительные проблемы, возникающие при его применении. В своей повседневной деятельности органы государственной статистики руководствуются нормативными документами, которые регламентируют процедуры сбора исходных данных и их последующей обработки. Основными нормативными документами служат работы [4,5]. Национальные органы государственной статистики создают свои нормативные документы, как правило, согласованные с указанными работами. Например, в Украине действует документ [6]. В соответствии с ним далее будем использовать следующие определения:

- индекс цен – относительный показатель, выраженный в коэффициентах или процентах, характеризующий изменение цен во времени (индекс динамики) или в пространстве (территориальный индекс).

- индивидуальный индекс цен представляет собой отношение цены конкретной сельскохозяйственной продукции в определённый период времени к цене этой же продукции в базисном периоде.

- групповой индекс цен – взвешенное среднее значение всех индивидуальных индексов цен, который характеризует изменение цен отдельной группы,

подкласса из числа всей совокупности продукции.

- сводный индекс цен – взвешенное среднее значение всех групповых индексов цен, который отражает общее изменение цен конкретных видов продукции. Период, для которого вычисляют ИПЦ, называют отчётным и обозначают символом «1», период, по отношению к которому вычисляют ИПЦ, называют базисным и обозначают символом «0». Цену  $i$ -го продукта ( $i = 1, \dots, n$ ) в базисном периоде обозначают величиной  $p_{i0}$ , количество приобретенного продукта в этом же периоде обозначают величиной  $q_{i0}$ . Цену  $i$ -го продукта ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) в отчётном периоде обозначают величиной  $p_{i1}$ , количество приобретенного продукта в этом же периоде обозначают величиной  $q_{i1}$ . При выборе типов ИПЦ, рассмотренных в данном сообщении предпочтение было отдано типам индексов, указанных в работе [4, С.382]. Указанный раздел красноречиво назван: «Основопологающие типы экономических индексов». ИПЦ, рассмотренные в предлагаемой работе, приведены в табл. 1.

**Актуальность работы.** Исходные данные, необходимые для вычисления ИПЦ, получают в результате выборочных наблюдений. В работе [4, С. 271] перечислены возможные источники появления систематических и статистических ошибок, и их влияние на истолкование полученных результатов. В то же время описание конкретных вычислительных процедур, позволяющих оценить абсолютную и относительную погрешность, возникающую при вычислении ИПЦ в работах [4-6] отсутствует. Подобный пробел позволяет считать задачу разработки таких процедур актуальной и имеющей прикладное значение.

Таблиця 1 – Индексы потребительских цен

№	Тип индекса	Расчетная формула	№	Тип индекса	Расчетная формула
1	Индекс Лоу	$P_{LO} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i1} \bar{q}_i}{\sum_{i=1}^n p_{i0} \bar{q}_i}, \quad q_i = \frac{1}{2}(q_{i0} + q_{i1})$	4	Индекс Фишера	$P_F = \sqrt{P_L P_F}$
2	Индекс Ласпейреса	$P_L = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i1} q_{i0}}{\sum_{i=1}^n p_{i0} q_{i0}}$	5	Индекс Уолша	$P_W = T_1 / T_0; \quad z_i = q_{i0} q_{i1};$ $T_1 = \sum p_{i1} \sqrt{z_i}; \quad T_0 = \sum p_{i0} \sqrt{z_i}$
3	Индекс Пааше	$P_P = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i1} q_{i1}}{\sum_{i=1}^n p_{i0} q_{i1}}$	6	Индекс Джевонса	$P_G = \left( \prod_{i=1}^n \frac{p_{i1}}{p_{i0}} \right)^{1/n}$

**Анализ литературы.** Различные варианты решения задачи об определении погрешностей при вычислении ИПЦ рассмотрены в работах [7...11]. В работе [7] рассмотрены три взаимосвязанных задачи: оценки погрешности, чувствительности и устойчивости экономических показателей, в том числе и экономических индексов. Для оценки погрешности определения экономических показателей автор работы [7] использует методы теории погрешности вычислений и методы математической статистики. В частности, именно в работе [7] сформулирована рассматриваемая в настоящем сообщении задача и намечен способ её решения. В работе [8] методами имитационного моделирования было изучено влияние случайных погрешностей на изменение индексов, характеризующих динамику экономических показателей. Близкие к указанным работам взгляды изложены в работах [9, 10]. В работе [11] рассмотрена задача определения интервала неопределённости при вычислении значений основных типов сводных индексов, используемых в экономической статистике, в том числе и ИПЦ, приведенных в формах Пааше и Ласпейроса. Задача решена в предположении, что данные, необходимые для вычислений, получены по результатам выборочных наблюдений. Также определены выражения, необходимые для оценки дисперсии результатов вычислений, абсолютной и относительной погрешности процесса получения численных значений индексов. Получены выражения для определения предельной относительной ошибки при вычислении этих индексов. Для определения интервалов значений индексов в работе [12] предложено использовать методы интервального анализа, подробное описание которых дано в работе [13].

В работе [11] для определения погрешности вычисления основных типов экономических индексов, в том числе и ИПЦ, использована концепция неопределенности измерений, основные положения которой изложены в нормативном документе [14] и работе [15]. В соответствии с ними неопределённость делят на две группы. Неопределённость типа *A*, оцениваемая по результатам статистического анализа повторных наблюдений и неопределённость типа *B*, оцениваемая нестатистическими методами.

Для определения неопределённости типа *A* используем описанный в [16] метод линеаризации. Пусть нам известна с точностью до постоянных коэффициентов функция  $u = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , где  $x_i, i = 1, \dots, k$  случайные величины, имеющие, по край-

ней мере, конечные вторые начальные и центральные моменты. Тогда среднее значение такой функции:

$$\bar{u} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k), \tag{1}$$

дисперсию результатов определения значений функции  $u = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  определим по формуле:

$$D[u] \approx \sum_{i=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}}^2 D[x_i] + 2 \sum_{i < j} \left( \frac{\partial u}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}} \left( \frac{\partial u}{\partial x_j} \right)_{\bar{x}} \times r_{ij} \sigma(x_i) \sigma(x_j). \tag{2}$$

Если аргументы функции *u* попарно независимы, то

$$D[u] \approx \sum_{i=1}^k \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}}^2 D[x_i] \tag{3}$$

Применение этого метода для решения задачи, сформулированной в заголовке данного сообщения, затруднено следующими обстоятельствами. Документы [4...6] не требуют при своём применении сведений о статистических характеристиках выборки, что делает невозможным применение метода линеаризации. Для определения неопределённости типа *A* используем следующий приём. Пусть  $\Delta x_i$  расширенная неопределённость (ширина доверительного интервала) каждой переменной  $x_i$ . Придадим величине  $\Delta x_i$  смысл предельной абсолютной ошибки определения величины  $x_i$ . Тогда, в соответствии с работой [17], предельную абсолютную погрешность определяют по формуле:

$$\Delta u \leq \sum_{i=1}^k \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| |\Delta x_i|; \tag{4}$$

предельную относительную погрешность определяют по формуле:

$$\delta_u = \sum_{i=1}^k \left| \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot |\Delta x_i| = \sum_{i=1}^k \frac{\partial}{\partial x_i} |\ln u| \cdot |\Delta x_i|. \tag{5}$$

Для ИПЦ Пааше и Ласпейреса эти виды погрешностей определены в работе [11]. Величину абсолютной погрешности  $\Delta x_i$ , в соответствии с документом [4] требуется оценивать в процессе выборочных наблюдений над величинами  $p_i, q_i$ . Особо следует выделить работу [18], в которой экономические индексы рассмотрены как математические объекты со своими свойствами и сформулирована система аксиом, которые должны выполняться для этих объектов.



Для определения неопределённости типа *B* используем следующий приём. Так, как каждый из сомножителей, входящих в формулы для определения ИПЦ, определяют по результатам выборочных наблюдений, то примем, что величина  $\Delta x_i$  и есть неопределённость определения переменной  $x_i$ , равная половине величины её доверительного интервала. В работе [19] предложено использовать для вычисления погрешностей методы интервального анализа. Для этого рассмотрим выражение вида:

$$Z = \sum_{i=1}^n a_i b_i / \sum_{i=1}^n c_i d_i \quad (6)$$

Рассматривая это выражение как некий обобщённый индекс, представим его в интервальном виде, используя систему центр-радиус:

$$\tilde{Z} = \langle z; r_z \rangle = \frac{\tilde{U}}{\tilde{W}} = \frac{\langle u; r_u \rangle}{\langle w; r_w \rangle}. \quad (6)$$

Числитель выражения (6) представим в виде:

$$\langle u; r_u \rangle = \sum_{i=1}^n \langle a_i; r_{ai} \rangle \cdot \langle b_i; r_{bi} \rangle; \quad (7)$$

знаменатель выражения (6) представим в виде:

$$\langle w; r_w \rangle = \sum_{i=1}^n \langle c_i; r_{ci} \rangle \cdot \langle d_i; r_{di} \rangle. \quad (8)$$

Представим слагаемое в условии (8) в таком виде:

$$\begin{aligned} & \langle a_i; r_{ai} \rangle \cdot \langle b_i; r_{bi} \rangle = \\ & = \left\langle \sum_{i=1}^n (a_i b_i + r_{ai} r_{bi}); \sum_{i=1}^n (a_i r_{bi} + b_i r_{ai}) \right\rangle. \quad (9) \end{aligned}$$

Используя доказанное в работе [13] свойство ассоциативности для интервальных чисел, определённых в системе центр-радиус, условие (9) представим в виде:

$$\langle u; r_u \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^n (a_i b_i + r_{ai} r_{bi}); \sum_{i=1}^n (a_i r_{bi} + b_i r_{ai}) \right\rangle. \quad (10)$$

Знаменатель условия (7) используя равенство (10) представим в виде:

$$\langle w; r_w \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^n (c_i d_i + r_{ci} r_{di}); \sum_{i=1}^n (c_i r_{di} + d_i r_{ci}) \right\rangle. \quad (11)$$

Используя выражение (7) получим, что:

$$\frac{\langle u; r_u \rangle}{\langle w; r_w \rangle} = \left\langle \frac{uw + r_u r_w}{w^2 - r_w^2}, \frac{ar_b + br_a}{w^2 - r_w^2} \right\rangle. \quad (12)$$

Из условий (7) и (8) следует, что:

$$u = \sum_{i=1}^n (a_i b_i + r_{ai} r_{bi}); \quad (13)$$

$$r_u = \sum_{i=1}^n (a_i r_{bi} + b_i r_{ai}); \quad (14)$$

$$w = \sum_{i=1}^n (c_i d_i + r_{ci} r_{di}); \quad (15)$$

$$r_w = \sum_{i=1}^n (c_i r_{di} + d_i r_{ci}). \quad (16)$$

Для ИПЦ Паше и Ласпейреса они определены в работе [19]. Для получения их численных значений использовали разработанные авторами данного сообщения программные продукты, описанные в работах [20, 21]. В работе [11] приведен пример вычисления сводного индекса объёма товарооборота, показавший, что пренебрежение величиной погрешности вычислений основных типов экономических индексов приводит к ошибочным решениям при оценке изменений в изучаемых экономических системах.

**Постановка задачи:** определение интервала неопределённости (предельной абсолютной и относительной погрешности) определяемого методами теории погрешностей для ИПЦ Лоу, Фишера, Уолша, Джевонса и определение значений этих же ИПЦ с использованием методов интервальных вычислений, обусловленного применением выборочных методов при сборе исходных данных, необходимых для проведения соответствующих расчётов.

### Полученные результаты

Для удобства при проведении дальнейших вычислений сведём необходимые суммы в табл. 2.

Таблица 2 – Условные обозначения сумм

A	$\sum_{i=1}^n p_{i1} \bar{q}_i$	E	$\sum_{i=1}^n p_{i1} q_{i1}$
B	$\sum_{i=1}^n p_{i0} \bar{q}_i$	G	$\sum_{i=1}^n p_{i0} q_{i1}$
C	$\sum_{i=1}^n p_{i1} q_{i0}$	H	$\sum_{i=1}^n p_{i1} \sqrt{q_{i1} q_{i0}}$
D	$\sum_{i=1}^n p_{i0} q_{i0}$	K	$\sum_{i=1}^n p_{i0} \sqrt{q_{i1} q_{i0}}$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Лоу.** В соответствии с работой [17] и условиями (4...5) необходимо знание частных производных по переменным, входящим в состав этого индекса. Соответствующие выражения приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Частные производные по переменным, входящим в состав индекса Лоу

Частная производная	Вычисление частной производной
$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_{LO}$	$\ell_1 = \frac{\bar{q}_i}{B}$
$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_{LO}$	$\ell_2 = -\frac{\bar{q}_i A}{B^2}$
$\frac{\partial}{\partial q_i} P_{LO}$	$\ell_3 = \frac{p_{i1}}{B} - \frac{p_{i0} A}{B^2}$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Лоу не превзойдёт величины

$$\Delta P_{LO} \leq \sum_{i=1}^n (|\ell_1| \cdot |\Delta p_{i1}| + |\ell_2| \cdot |\Delta p_{io}| + |\ell_3| \cdot \Delta q_i); \quad (17)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Лоу не превзойдёт величины

$$\delta P_{LO} \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{\ell_1}{P_{LO}} \right| |\Delta p_{i1}| + \left| \frac{\ell_2}{P_{LO}} \right| |\Delta p_{io}| + \left| \frac{\ell_3}{P_{LO}} \right| |\Delta q_i| \right). \quad (18)$$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Ласпейреса.** В соответствии с работой [17] и условиями (4, 5) необходимо знание частных производных по переменным, входящим в состав этого индекса. Соответствующие выражения приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Частные производные по переменным, входящим в состав индекса Ласпейреса

Частная производная	Вычисление частной производной
$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_L$	$L_1 = -\frac{q_{i0}C}{D^2}$
$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_L$	$L_2 = \frac{q_{i0}}{D}$
$\frac{\partial}{\partial q_{i0}} P_L$	$L_3 = \frac{p_{i1}}{D} - \frac{p_{i0}C}{D^2}$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Ласпейреса не превзойдёт величины

$$\Delta P_L \leq \sum_{i=1}^n (|L_1| |\Delta p_{i0}| + |L_2| |\Delta p_{i1}| + |L_3| |\Delta q_{i0}|). \quad (19)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Ласпейреса не превзойдёт величины

$$\delta P_L \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{L_1}{P_L} \right| |\Delta p_{i0}| + \left| \frac{L_2}{P_L} \right| |\Delta p_{i1}| + \left| \frac{L_3}{P_L} \right| |\Delta q_{i0}| \right). \quad (20)$$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Пааше.** Соответствующие выражения для частных производных приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Частные производные по переменным, входящим в состав индекса Пааше

Частная производная	Вычисление частной производной
$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_P$	$\pi_1 = -\frac{q_{i1}A}{G^2}$
$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_P$	$\pi_2 = \frac{q_{i1}}{G}$
$\frac{\partial}{\partial q_{i0}} P_P$	$\pi_3 = \frac{p_{i1}}{G} - \frac{p_{i0}E}{G^2}$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Пааше не превзойдёт

$$\Delta P_P \leq \sum_{i=1}^n (|\pi_1| |\Delta p_{i0}| + |\pi_2| |\Delta p_{i1}| + |\pi_3| |\Delta q_{i0}|); \quad (21)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Пааше не превзойдёт величины:

$$\delta P_P \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{\pi_1}{P_P} \right| |\Delta p_{i0}| + \left| \frac{\pi_2}{P_P} \right| |\Delta p_{i1}| + \left| \frac{\pi_3}{P_P} \right| |\Delta q_{i0}| \right). \quad (22)$$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Фишера.** Соответствующие выражения для частных производных приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Вычисление частной производной

Частная производная	Вычисление частной производной
$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_F$	$f_1 = (2P_F)^{-1} \left( \frac{q_{i0}E + q_{i1}D}{GD} \right)$
$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_F$	$f_2 = -(2P_F)^{-1} \left[ \frac{EC}{GD} \left( \frac{q_{i1}}{G} + \frac{q_{i0}}{D} \right) \right]$
$\frac{\partial}{\partial q_{i0}} P_F$	$f_3 = (2P_F)^{-1} \left( \frac{q_{i1}E}{GD} - \frac{p_{i0}EC}{GD^2} \right)$
$\frac{\partial}{\partial q_{i1}} P_F$	$f_4 = (2P_F)^{-1} \left( \frac{p_{i1}C}{GD} - \frac{p_{i0}EC}{G^2D} \right)$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Фишера не превзойдёт величины:

$$\Delta P_F \leq \sum_{i=1}^n \left( |f_1| |\Delta p_{i1}| + |f_2| |\Delta p_{i0}| + |f_3| |\Delta q_{i0}| + |f_4| |\Delta q_{i1}| \right); \quad (23)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Фишера не превзойдёт величины:

$$\delta P_F \leq \sum_{i=1}^n \left( |f_1/2P_F| \cdot |\Delta p_{i1}| + |f_2/2P_F| \cdot |\Delta p_{i0}| + |f_3/2P_F| \cdot |\Delta q_{i0}| + |f_4/2P_F| \cdot |\Delta q_{i1}| \right). \quad (24)$$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Уолша.** Соответствующие выражения для частных производных приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Частные производные по переменным, входящим в состав индекса Уолша

Частная производная	Вычисление частной производной
$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_W$	$\omega_1 = \frac{\sqrt{q_{i1}q_{i0}}}{H}$
$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_W$	$\omega_2 = -\frac{H\sqrt{q_{i1}q_{i0}}}{K^2}$
$\frac{\partial}{\partial q_{i0}} P_W$	$\omega_3 = \frac{q_{i1}p_{i1}}{2\sqrt{q_{i1}q_{i0}} \cdot K} - \frac{q_{i1}p_{i1}K}{2\sqrt{q_{i1}q_{i0}} \cdot K^2}$
$\frac{\partial}{\partial q_{i1}} P_W$	$\omega_4 = \frac{q_{i0}p_{i1}}{2\sqrt{q_{i1}q_{i0}} \cdot K} - \frac{q_{i0}p_{i0}H}{2\sqrt{q_{i1}q_{i0}} \cdot K^2}$



Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Уолша не превзойдёт

$$\Delta P_W \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \omega_2 \cdot |\Delta p_{i0}| + \left| \omega_1 \cdot |\Delta p_{i1}| + \left| \omega_3 \cdot |\Delta q_{i0}| + \left| \omega_4 \cdot |q_{i1}| \right| \right| \right); \quad (25)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Уолша не превзойдёт величины:

$$\delta P_W \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{\omega_1}{P_W} \cdot |\Delta p_{i0}| + \left| \frac{\omega_3}{P_W} \cdot |\Delta p_{i1}| + \left| \frac{\omega_3}{P_W} \cdot |\Delta q_{i0}| + \left| \frac{\omega_4}{P_W} \cdot |q_{i1}| \right| \right| \right). \quad (26)$$

**Определение предельной абсолютной и относительной погрешности вычисления индекса Джевонса.** Частная производная по переменной  $p_{i1}$  для индекса Джевонса примет вид:

$$\frac{\partial}{\partial p_{i1}} P_G = \frac{\prod_{l \neq i} p_{l1}}{n \cdot \prod_{i=1}^n p_{i0} \left( \prod_{i=1}^n p_{i1} / p_{i0} \right)^{(n-1)/n}} = \mathfrak{Z}_1; \quad I = \{1, 2, \dots, n\}; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (27)$$

а по переменной  $p_{i0}$  примет вид:

$$\frac{\partial}{\partial p_{i0}} P_G = \frac{\prod_{i=1}^n p_{i1}}{4 \cdot p_{i0} \prod_{i=1}^n p_{i0} \left( \prod_{i=1}^n p_{i1} / p_{i0} \right)^{(n-1)/n}} = \mathfrak{Z}_0; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (28)$$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность вычисления индекса Джевонса не превзойдёт величины:

$$\Delta P_G \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \mathfrak{Z}_0 \cdot |\Delta p_{i0}| + \left| \mathfrak{Z}_1 \cdot |\Delta p_{i1}| \right| \right); \quad (29)$$

предельная относительная погрешность вычисления индекса Джевонса не превзойдёт величины:

$$\delta P_G \leq \sum_{i=1}^n \left( \left| \frac{\mathfrak{Z}_0}{P_g} \cdot |\Delta p_{i0}| + \left| \frac{\mathfrak{Z}_1}{P_g} \cdot |\Delta p_{i1}| \right| \right). \quad (30)$$

Полученные результаты позволяют решить поставленную задачу, но они достаточно сложны для

применения в практике статистических органов, кроме того, они требуют проведение выборочных исследований для определения законов распределения первичных данных. Выполнение таких исследований усложняет решение поставленной задачи. Кроме того, методы, используемые в таких исследованиях, должны быть согласованы с органами международной статистики. Решение этой организационной задачи, как показывает опыт, может затянуться на длительное время. Поэтому в данной работе использованы методы интервальной арифметики. Определение интервальных значений ИПЦ выполнено в соответствии с условиями (6)...(16). Эти методы позволяют получить требуемые результаты без необходимости проведения соответствующих согласований и внесения изменений в процедуры сбора данных, принятые в национальных и международных статистических организациях.

Рассмотрим условный численный пример, иллюстрирующий полученные результаты. Исходные данные для него заимствованы из работы [11] и приведены в табл. 8.

Таблица 8 – Исходные данные для расчета индексов потребительских цен

Вид продукции	Базисный период		Отчетный период	
	Цена единицы, грн, $p_0$	Продано единиц, $q_0$	Цена единицы, грн, $p_1$	Продано единиц, $q_1$
Пр.1	12	18	12	15
Пр.2	11	22	10	27
Пр.3	9	20	7	24

Результаты вычислений приведены в табл. 9. При проведении вычислений принято, что переменные, входящие в каждый из вычисляемых индексов, имеют радиус интервала неопределённости, равный полутора процентам от измеряемой величины. Приведенные в табл.9 результаты получены на одних и тех же исходных данных, указанных в табл.8. Это даёт возможность упорядочить по возрастанию ИПЦ по абсолютной величине и относительной ширине интервала неопределённости.

Результаты такого упорядочения приведены в табл.10.

Таблица 9 – Величина интервала неопределённости значений основных типов индексов потребительских цен

Тип индекса потребительских цен	Нижняя граница интервала ИПЦ	Центральное значение ИПЦ	Нижняя граница интервала ИПЦ	Ширина интервала	Относительная ширина интервала неопределённости, %
	$I - r_I$	$I$	$I + r_I$		
Индекс Лоу	0,8997958	0,942076	1,355239	0,455443	48,34
Индекс Ласпейреса	0,8638041	0,917223	0,973596	0,109792	11,97
Индекс Пааше	0,9100881	0,965714	1,024978	0,11489	11,90
Индекс Фишера	0,8832273	0,929641	0,956453	0,073225	7,88
Индекс Уолша	0,8773545	0,941982	1,002842	0,125488	13,32
Индекс Джевонса	0,8879038	0,929641	0,957648	0,069744	7,50

Таблиця 10 – Упорядочення по возрастанию индексов потребительских цен по абсолютной величине и относительной ширине интервала неопределённости

Упорядочення ИПЦ по абсолютной величине центра интервала неопределённости	индекс Ласпейреса, индекс Фишера, индекс Джевонса, индекс Уолша, индекс Лоу, индекс Пааше.
Упорядочення ИПЦ по относительной ширине интервала неопределённости	индекс Джевонса, индекс Фишера, индекс Пааше, индекс Ласпейреса, индекс Уолша, индекс Лоу.

Обсуждение отличий этих индексов между собой по их экономическому содержанию выходит за пределы компетенции авторов данного сообщения. Ещё раз отметим, что эти ИПЦ приняты к употреблению органами международной статистики, что подтверждено работами [5, 6]. Из табл. 9 следует, что имеет место малое различие между центрами интервалов неопределённости, возникающих при их вычислении и значительное при сравнении их интервальных значений.

Следовательно, разработка и согласование способов вычисления погрешностей, возникающих при вычислении ИПЦ, является важной задачей для дальнейших исследований. Отсутствие её общепринятого решения усложняет получение корректных выводов об изменениях в состоянии изучаемых экономических систем.

### Выводы

1. Поставлена задача определения предельной абсолютной и относительной погрешности, возникающей при вычислении основных типов индексов потребительских цен: индекса Ласпейреса, индекса Фишера, индекса Джевонса, индекса Уолша, индекса Лоу, индекса Пааше.

2. Для её решения использованы методы линеаризации функции случайных величин, методы теории погрешностей приближенных вычислений, методы интервального анализа.

3. Получены, используя методы теории погрешностей приближенных вычислений выражения

для вычисления значений предельной абсолютной и относительной погрешности, возникающей при вычислении основных типов индексов потребительских цен.

4. Приведены выражения для вычисления значений основных типов индексов потребительских цен методами интервального анализа с представлением чисел в системе центр-радиус

5. Для условного примера выполнено вычисление интервальных значений анализируемых индексов и определена ширина интервала неопределённости, возникающего при их вычислении.

6. Показано, что при вычислении на одних и тех же данных имеет место следующее упорядочение ИПЦ по возрастанию значений центра интервала неопределённости: индекс Ласпейреса, индекс Фишера, индекс Джевонса, индекс Уолша, индекс Лоу, индекс Пааше.

7. Показано, что при вычислении на одних и тех же данных имеет место следующее упорядочение ИПЦ по возрастанию значений относительной ширины доверительного интервала: индекс Джевонса, индекс Фишера, индекс Пааше, индекс Ласпейреса, индекс Уолша, индекс Лоу.

8. Показано, разработка и согласование способов вычисления погрешностей, возникающих при вычислении ИПЦ, является важной задачей для дальнейших исследований. Отсутствие её общепринятого решения усложняет получение корректных выводов об изменениях в состоянии изучаемых экономических систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткач Є.І. Загальна теорія статистики / Є.І.Ткач, В.П. Сторожук. – Київ: Центр учбової літератури, 2009. – 442 с.
2. Ковалевский Г. В. Статистика: учебник / Г. В. Ковалевский; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 445 с.
3. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие/ Под ред. Р.А. Шмойловой.-М.: Финансы и статистика, 2003.-416с.
4. Руководство по индексу потребительских цен: теория и практика / МОТ; МВФ; ОЭСР; Евростат; ЕЭК ООН; Всемирный банк. – Вашингтон, Международный Валютный Фонд, 2007. – 679 с.
5. Consumer price index manual : theory and practice / International Labour Organization; International Monetary Fund; Organisation for Economic Co-operation and Development; Statistical Office of the European Communities; United Nations; The International Bank for Reconstruction and Development; The World Bank. –Geneva : ILO, 2004. – 864 p. – Title from the screen : <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/guides/cpi/index.htm>- 6.11.2018 г. – Загл.с экрана
6. Методологічні положення щодо організації статистичного спостереження за змінами цін (тарифів) на споживчі товари (послуги) і розрахунків індексів споживчих цін (Наказ Державної служби статистики України №158 від 29.08.2016). – [Чинний від 29-08-2016]. – К.: Державна служба статистики, 2016. – 51 с. Режим доступа: [http://www.ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2016/158/158\\_2016.htm/](http://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2016/158/158_2016.htm/) - 6.11.2018 г. – Загл.с экрана.
7. Эдельгауз Г.Е. Достоверность статистических показателей / Г.Е. Эдельгауз. М.: «Статистика», 1977. – 278 с.
8. Абрамова Ю.С. Исследование проблемы точности планирования финансовых показателей предприятия с помощью имитационно-статистического моделирования: дис. канд. экон. наук: 08. 00. 05 /Абрамова Юлия Сергеевна-Москва, 2005. – 229 с.
9. Сильченко Т.Ю. Точность экономических расчётов при обосновании управленческих решений в производственных системах промышленных предприятий. / Т. Ю. Сильченко // TERRA ECONOMICUS-2009. – Т.7. – №3. – С. 86-90.
10. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993.
11. Дубницький В.Ю. Определение интервала неопределённости при применении индексного метода экономической статистики / В. Ю. Дубницький. // Системи обробки інформації. – 2013. – № 8(115). – С.171-175.

12. Дубницький В.Ю. Обчислення значень елементарних функцій з інтервальним заданим аргументом, визначеним в системі центр-радіус. / У. Ю. Дубницький, А. М. Кобилін, О. А. Кобилін. // Системи обробки інформації- 2016. - № 7(144). – С. 107-112.
13. Жуковська О.А. Основи інтегрального аналізу / О.А. Жуковська. – Київ: Освіта України 2009. – 136 с.
14. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001).
15. Поджаренко В.О. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності. Навчальний посібник / В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський, В.Ю.Кучерук. –Вінниця: ВНТУ, 2008. –158 с.
16. Венцель Е.С. Теория вероятностей. /Е.С.Венцель.-М.: Изд. «Наука», 1969. – 576 с.
17. Демидович Б.П., Марон И.А.Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А.Марон: М.: Наука, 1966. – 664 с.
18. Ершов Э.Б. Ситуационная теория индексов и количеств / Э.Б. Ершов. – Москва: РИОР, 2011. – 420 с.
19. Дубницький В.Ю. Влияние особенностей подготовки данных на ширину интервала неопределенности типа *B* при вычислении основных видов экономических индексов / В.Ю. Дубницький, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. - № 1(41). – С.86-91.
20. Дубницький В. Ю. Вычисление значений элементарных функций с интервально заданным аргументом в системе центр-радиус / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин // Системи обробки інформації – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 7 (144). – С. 107-112.
21. Дубницький В.Ю., Кобилін А.М. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Спеціалізований програмний продукт «Фінансово-аналітичний калькулятор» [Текст]/Державна служба інтелектуальної власності України, №41741 від 11.01.2012 р.

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. М. В. Новожилова,  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків  
Received (Надійшла) 30.09.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

#### Визначення граничної абсолютної і відносної похибки обчислення основних типів індексів споживчих цін

В. Ю. Дубницький, А. М. Кобилін, О. А. Кобилін

**Мета роботи:** визначення граничної абсолютної і відносної похибки, що виникає при обчисленні основних типів індексів споживчих цін: індексу Ласпейреса, індексу Фішера, індексу Джевонса, індексу Уолша, індексу Лоу, індексу Пааше. **Використані методи:** лінеаризація функції випадкових величин, методи теорії похибок наближених обчислень, методи інтервального аналізу. **Результати роботи:** Отримано, використовуючи методи теорії похибок наближених обчислень, вирази для визначення значень граничної абсолютної і відносної похибки, що виникає при обчисленні основних типів індексів споживчих цін. Наведено вирази для обчислення значень основних типів індексів споживчих цін методами інтервального аналізу з поданням чисел в системі центр-радіус. Для умовного прикладу виконано обчислення інтервальних значень індексів споживчих цін і встановлено розміри інтервалу невизначеності, що виникає при їх обчисленні. Показано, що при обчисленні на однакових даних має місце наступне впорядкування індексів споживчих цін за зростанням значень центру інтервалу невизначеності: індекс Ласпейреса, індекс Фішера, індекс Джевонса, індекс Уолша, індекс Лоу, індекс Пааше. Показано, що при обчисленні на одних і тих же даних має місце наступне впорядкування індексів споживчих цін за зростанням значень відносної ширини довірчого інтервалу: індекс Джевонса, індекс Фішера, індекс Пааше, індекс Ласпейреса, індекс Уолша, індекс Лоу. **Тема подальших досліджень:** Розробка і узгодження способів обчислення погрешностей, що виникають при обчисленні індексів споживчих цін, є важливим завданням для подальших досліджень. Відсутність її загальноприйнятого рішення ускладнює отримання коректних висновків про зміни в стані економічних систем, що вивчаються.

**Ключові слова:** індекс споживчих цін, індекс цін : індекс Ласпейреса, індекс Фішера, індекс Джевонса, індекс Уолша, індекс Лоу, індекс Пааше, похибки обчислень, гранична абсолютна і відносна похибка обчислень, інтервальный аналіз.

#### Determination of limiting absolute and relative calculation error of main price index types

V. Dubnitskiy, A. Kobylin, O. Kobylin

**Object of work:** determination of limiting absolute and relative calculation error of main price index types, namely, Laspeyres index, Fisher index, Jevons index, Walsh index, Lowe index, Paasches index. **Applied methods:** function of random variable linearization, methods of approximate calculus theory of errors, interval analysis methods. **Results of work:** Using methods of approximate calculus theory of errors, expressions have been obtained for calculation of limiting absolute and relative error emerging under calculation of main price index types. Expressions were specified for calculation of main price index types by interval analysis methods with numbers presented in center-radius system. For a conditional example interval price index values were calculated and dimensions established for interval of uncertainty emerging under such calculation. It was shown that under calculation from identical initial data price indexes are arranged by growing values of interval of uncertainty center in the following order: Laspeyres index, Fisher index, Jevons index, Walsh index, Lowe index, Paasches index. It was shown that under calculation from identical initial data price indexes are arranged by growing values of confidence interval relative width in the following order: Jevons index, Fisher index, Paasches index, Laspeyres index, Walsh index, Lowe index. **Object of subsequent research:** Development and matching of calculation methods for errors emerging under price index calculation. Lack of such generally accepted solution complicates obtaining correct conclusions on changes in economic systems under study.

**Keywords:** Price index, Laspeyres index, Fisher index, Jevons index, Walsh index, Lowe index, Paasches index, calculation error, limiting absolute and relative calculation error, interval analysis.

Г. В. Іванець, І. О. Толкунов

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

## КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗБИТКІВ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В ДЕРЖАВІ

Стаття присвячена вирішенню проблеми прогнозування можливих збитків нанесених державі внаслідок надзвичайних ситуацій. В більшості випадків для прогнозування збитків застосовують методи регресійного аналізу, факторного аналізу та статистико-ймовірнісні методи, які орієнтовані в основному на прогнозування окремих видів надзвичайних ситуацій та наслідків від них. Можливості комплексного вирішення задачі всебічного прогнозування не тільки можливості виникнення надзвичайних ситуацій в цілому, але й можливих збитків внаслідок них на основі фактографічної інформації про надзвичайні ситуації за деякий період моніторингу досліджені недостатньо. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є створення комбінованого методу прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій, що визначає **проблему та актуальність дослідження**. Корисність і доцільність застосування даного методу обумовлена тим, що комбінований метод об'єднує метод регресійного аналізу, метод факторного аналізу та ймовірнісно-статистичний метод прогнозу. Це дозволяє компенсувати недоліки одних за допомогою інших, що призведе до підвищення точності прогнозування. **Метою статті** є розробка комбінованого методу та комплексної моделі прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій в державі. **Результати досліджень**. На основі комбінованого методу розроблена комплексна модель прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій, яка дозволяє здійснювати прогноз збитків в цілому по державі та показників індивідуального ризику в регіонах країни на основі фактографічної інформації про надзвичайні ситуації за деякий період моніторингу. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що запропонована модель дозволяє комплексно вирішувати задачі прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій різного характеру, загальних можливих збитків та показників індивідуального ризику в регіонах держави з середньою відносною похибкою прогнозу не більше десяти відсотків. **Висновки та область застосування результатів дослідження**. Запропонована комплексна модель дозволяє здійснювати прогнозування можливих завданих збитків та індивідуальних ризиків загинути внаслідок надзвичайних ситуацій як в державі в цілому, так і її регіонах, з метою адекватного реагування сил цивільного захисту та відпрацювання заходів щодо недопущення процесу виникнення надзвичайних ситуацій, можливої ліквідації їх наслідків з найбільшою ефективністю і найменшими втратами.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, моніторинг, збитки від надзвичайних ситуацій, індивідуальний ризик, комбінований метод прогнозу, комплексна модель.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Практика останніх років наочно показує сильний негативний вплив на економіку країн різноманітних надзвичайних ситуацій (НС), що вимагає адекватного реагування сил цивільного захисту щодо попередження або ліквідації їх наслідків з найменшими втратами. Аналіз фактографічної інформації про НС в Україні [1] показав, що протягом останніх років спостерігається стійка тенденція до зменшення загальної кількості НС та їх складових відповідно за видами, рівнями і регіональним розподілом, але рівень наслідків від них залишається практично незмінним та досить високим для більшості регіонів України. Так, наприклад, тільки за останні 5 років в державі сталося 795 НС, внаслідок яких загинуло 1266 людей, постраждало 5213 людей, завдано матеріальних збитків державі майже на 1599 млн. грн.

Попередження виникнення НС полягає в проведенні комплексу правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і інших заходів. Ці заходи спрямовані на регулювання природної та техногенної безпеки, проведення оцінки рівня ризиків, завчасне реагування на загрози виникнення НС [2]. Основою проведення заходів є фактографічна інформація моніторингу НС, експертизи, досліджень і прогнозів відносно можливого розвитку подій з метою недопущення переростання їх в НС або мінімізації можливих наслідків для людей і навко-

лишнього середовища [3]. Важливим аспектом щодо попередження процесів виникнення НС є завчасне прогнозування можливості виникнення і оцінки економічних наслідків та збитків від НС [4].

Таким чином, актуальність проведення досліджень, спрямованих на удосконалення методів прогнозування можливих збитків внаслідок НС в державі, пов'язана з необхідністю завчасного реагування на загрози виникнення НС і мінімізації можливих наслідків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прогнозування можливих завданих збитків внаслідок НС можливе лише на основі аналізу фактографічної інформації про НС в державі за деякий період спостереження. Фактографічні методи прогнозування [5] базуються на даних моніторингу НС. До цих методів відносяться екстраполяційні і інтерполяційні методи, методи екстраполяції по огинаючим кривим, регресії і кореляції, факторні моделі, експертні моделі логічного моделювання, побудова сценаріїв розвитку [6, 7].

При прогнозуванні процесів виникнення НС та наслідків внаслідок них [8–10] розглядають: фактографічну інформацію про природні і техногенні джерела НС; можливі варіанти виникнення і розвитку НС (сценарії НС); моделі розвитку НС, які відображають розвиток досліджуваних процесів із використанням фактографічних даних; результати екстраполяції виявлених тенденцій; експертні оцінки. Аналіз літературних джерел з означеної проблема-

тики довів, що в більшості з них для вирішення цієї задачі застосовується методи регресійного аналізу, в меншій мірі досліджено статистично - імовірнісні методи, які використовують фактографічну інформацію за деякий період спостереження.

Загальний недолік розглянутих методів та моделей прогнозування полягає в орієнтації на прогнозування окремих видів НС та наслідків від них. Можливості комплексного вирішення задачі всебічного прогнозування не тільки можливості виникнення НС в цілому, але й можливих збитків внаслідок них на основі фактографічної інформації про НС за деякий період спостереження досліджені недостатньо. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення досліджень, присвячених створенню комбінованого методу прогнозування наслідків НС. Розробка такого методу дозволить компенсувати недоліки одних за допомогою інших, і спрямована на підвищення точності прогнозування можливих збитків внаслідок НС в цілому по державі.

Метою статті є розробка комбінованого методу та комплексної моделі прогнозування збитків внаслідок НС в державі.

### Виклад основного матеріалу

Під збитками будемо розуміти оцінені в грошовому вираженні наслідки НС. Різні показники наслідків НС за рахунок вираження їх у вартісній формі можуть бути зведені до узагальненого показника збитків внаслідок виникнення НС [11–13]. Величина збитків внаслідок НС в загальному вигляді може бути представлена наступним чином:

$$ЗБ = ЗБ_1 + ЗБ_2 + ЗБ_3 + ЗБ_4, \quad (1)$$

де  $ЗБ$  – загальні збитки внаслідок НС;  $ЗБ_1$  – збитки за рахунок втрати населення, які враховують: безповоротні втрати; збитки за рахунок санітарних втрат;  $ЗБ_2$  – матеріальні і фінансові збитки у виробничо-побутовій сфері, які враховують: збитки в промисловому виробництві, збитки в сільському господарстві і інших галузях, збитки в сфері інфраструктури, збитки в області жилого фонду і майна громадян;  $ЗБ_3$  – збитки нанесені навколишньому природному середовищу, які враховують: відшкодування збитків нанесених навколишньому середовищу, збитки нанесені тваринному і рослинному світу, затрати на відновлення якості природного середовища;  $ЗБ_4$  – збитки за рахунок необхідності попередження і ліквідації НС, які враховують: витрати на евакуацію населення, витрати на проведення рятувальних і інших невідкладних робіт, витрати на життєзабезпечення потерпілого населення, витрати на виплату грошової компенсації населенню.

Загальні збитки внаслідок НС [14] є сумою завданих збитків внаслідок НС техногенного, природного та соціального характеру:

$$ЗБ = ЗБ_{ТХ} + ЗБ_{ПХ} + ЗБ_{СХ}, \quad (2)$$

де  $ЗБ_{ТХ}$  – збитки внаслідок НС техногенного характеру;  $ЗБ_{ПХ}$  – збитки внаслідок НС природного харак-

теру;  $ЗБ_{СХ}$  – збитки внаслідок НС соціального характеру. Небезпека характеризується не тільки ймовірністю виникнення НС, але й тяжкістю її наслідків. НС приводять до негативної дії на суспільство, особистість, навколишнє середовище, в результаті якої їм можуть бути нанесені збитки – людські, соціальні, економічні, екологічні. Наслідки об'єднують всі види змін в суспільстві і різних сферах діяльності держави, які ініційовані або підсилені стихійними явищами, що виникли. Втрати – це частина наслідків, які пов'язані з негативними змінами в основних сферах діяльності людини і держави. Результатами негативних змін можуть бути: хвороби або навіть смерть людей, порушення процесу нормальної господарської діяльності, втрата того чи іншого виду власності, інших матеріальних, культурних, історичних або природних цінностей, погіршення якості природного навколишнього середовища. Поняття «наслідки стихійного явища» носить узагальнений економічний характер. В той же час збитки – це економічна характеристика, яка представляє наслідки у вартісному вираженні, тобто збитки – це оцінені в грошовому вираженні наслідки [14]. На основі фактографічної інформації знайдемо середній збиток на одну НС відповідно для природних, техногенних і соціальних НС [12]:

$$ЗБ_{ПХ}^{одна} = ЗБ_{ПХ\Delta\tau}^{сум} / n_{ПХ\Delta\tau}^{сум}; \quad ЗБ_{ТХ}^{одна} = ЗБ_{ТХ\Delta\tau}^{сум} / n_{ТХ\Delta\tau}^{сум}; \\ ЗБ_{СХ}^{одна} = ЗБ_{СХ\Delta\tau}^{сум} / n_{СХ\Delta\tau}^{сум}, \quad (3)$$

де  $ЗБ_{ПХ}^{одна}$ ,  $ЗБ_{ТХ}^{одна}$ ,  $ЗБ_{СХ}^{одна}$  – середні збитки на одну НС відповідно природного, техногенного і соціального характеру;  $ЗБ_{ПХ\Delta\tau}^{сум}$ ,  $ЗБ_{ТХ\Delta\tau}^{сум}$ ,  $ЗБ_{СХ\Delta\tau}^{сум}$  – сумарні збитки внаслідок НС відповідно природного, техногенного і соціального характеру за період спостереження  $\Delta\tau$ ;  $n_{ПХ\Delta\tau}^{сум}$ ,  $n_{ТХ\Delta\tau}^{сум}$ ,  $n_{СХ\Delta\tau}^{сум}$  – сумарна кількість НС відповідно природного, техногенного і соціального характеру за період спостереження  $\Delta\tau$ .

Величина щорічних прогнозних збитків внаслідок НС відповідно природного, техногенного і соціального характеру [14] обчислюється таким чином:

$$ЗБ_{npПХ} = n_{npПХ} \cdot ЗБ_{ПХ}^{одна}; \quad ЗБ_{npТХ} = n_{npТХ} \cdot ЗБ_{ТХ}^{одна}; \\ ЗБ_{npСХ} = n_{npСХ} \cdot ЗБ_{СХ}^{одна}, \quad (4)$$

де  $ЗБ_{npПХ}$ ,  $ЗБ_{npТХ}$ ,  $ЗБ_{npСХ}$  – прогнозні збитки внаслідок НС відповідно природного, техногенного та соціального характеру;  $n_{npПХ}$ ,  $n_{npТХ}$ ,  $n_{npСХ}$  – прогнозна кількість НС відповідно природного, техногенного та соціального характеру.

Для прогнозування кількості НС  $n_{npПХ}$ ,  $n_{npТХ}$ ,  $n_{npСХ}$  відповідно природного, техногенного та соціального характеру використовуються методи регресійного, факторного аналізу та ймовірнісно-статистичний метод прогнозу [15].

Загальні прогнозні збитки внаслідок НС є сумою збитків внаслідок НС техногенного, природного і соціального характеру:

$ZB_{np} = ZB_{npPX} + ZB_{npTX} + ZB_{npCX}$ , (5)  
 де  $ZB_{np}$  – загальні прогнози збитки внаслідок НС.

Середня величина індивідуального ризику на території України визначається відношенням кількості загиблих внаслідок реалізації потенційних небезпек до чисельності населення території. Порівня-

льна оцінка рівня потенційних небезпек здійснюється шляхом співставлення середніх величин індивідуального ризику в державі і її регіонах [15].

Комплексна модель прогнозування збитків внаслідок НС в державі на основі фактографічної інформації за деякий період спостереження приведена на рис. 1.

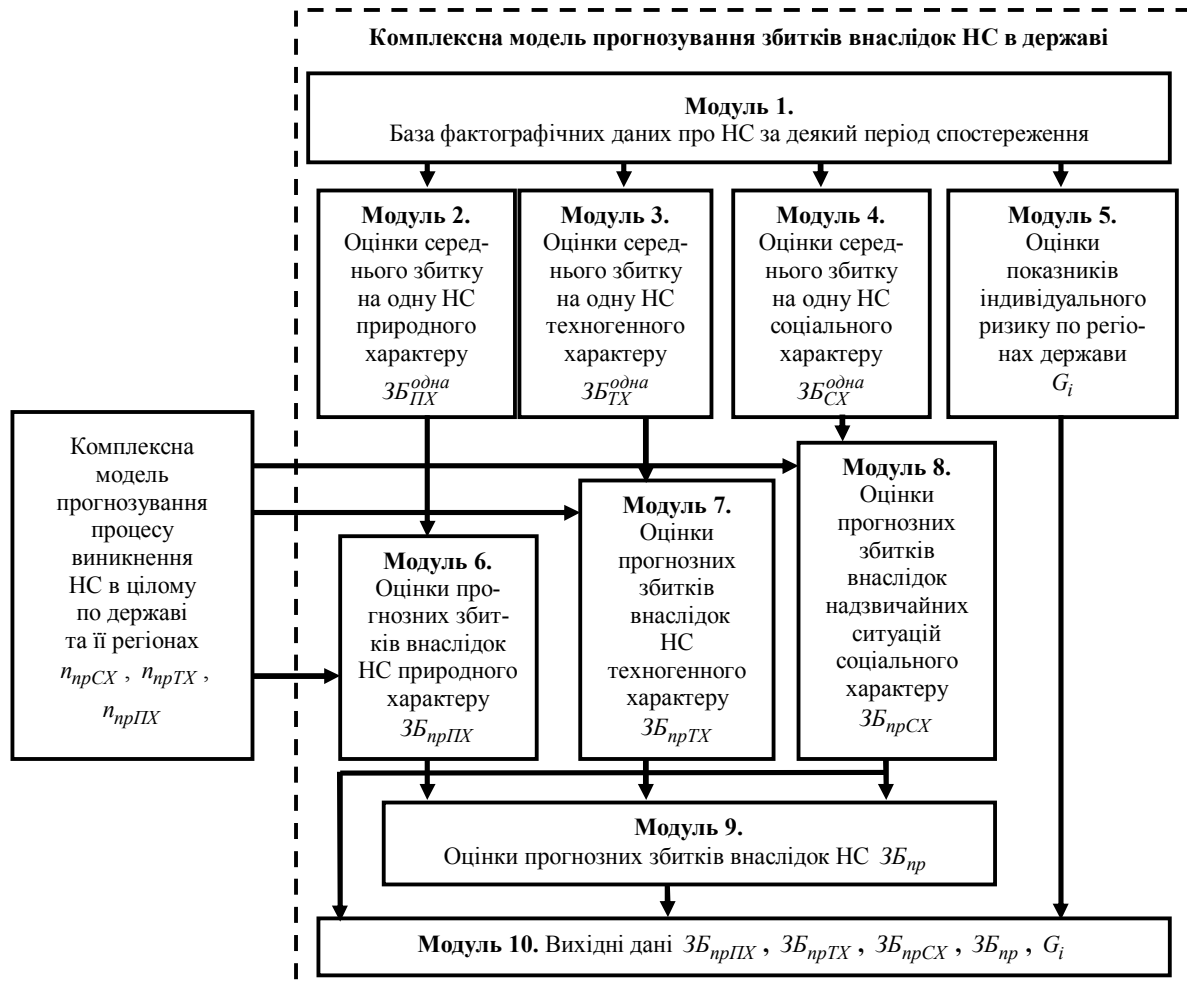


Рис. 1. Комплексна модель прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій в державі

**Модуль 1** – база фактографічних даних про НС в державі за деякий період спостереження. Ці дані є основою для проведення відповідних оцінок в модулях 2, 3, 4, 5. **Модуль 2** призначений для оцінки середнього збитку на одну НС природного характеру  $ZB_{PX}^{одна}$  в державі на основі фактографічної інформації про НС. **Модуль 3** призначений для оцінки середнього збитку на одну НС техногенного характеру  $ZB_{TX}^{одна}$  в державі на основі фактографічної інформації про НС. **Модуль 4** призначений для оцінки середнього збитку на одну НС соціального характеру  $ZB_{CX}^{одна}$  в державі на основі фактографічної інформації про НС. **Модуль 5** призначений для оцінки показників індивідуального ризику  $G_i$  в регіонах держави на основі фактографічної інформації про НС. **Модуль 6** призначений для оцінки прогнозних збитків  $ZB_{npPX}$  внаслідок НС природного характеру на основі даних, які поступають від комплексної

моделі прогнозування процесу виникнення НС в цілому по державі та її регіонах ( $n_{npPX}$ ) і модуля 2 ( $ZB_{PX}^{одна}$ ). **Модуль 7** призначений для оцінки прогнозних збитків  $ZB_{npTX}$  внаслідок НС техногенного характеру на основі даних, які поступають від комплексної моделі прогнозування процесу виникнення НС в цілому по державі та її регіонах ( $n_{npTX}$ ) і модуля 3 ( $ZB_{TX}^{одна}$ ). **Модуль 8** призначений для оцінки прогнозних збитків  $ZB_{npCX}$  внаслідок НС соціального характеру на основі даних, які поступають від комплексної моделі прогнозування процесу виникнення НС в цілому по державі та її регіонах ( $ZB_{CX}^{одна}$ ) і модуля 4 ( $ZB_{CX}^{одна}$ ). Модуль 9 призначений для оцінки прогнозних збитків  $ZB_{np}$  внаслідок НС на основі даних, які поступають від модулів 6, 7 і 8. Вихідними даними (**модуль 10**) є прогнози збитки

$ZB_{npPX}$  внаслідок НС природного характеру, прогнозні збитки  $ZB_{npTX}$  внаслідок НС техногенного характеру, прогнозні збитки  $ZB_{npCX}$  внаслідок НС соціального характеру, прогнозні збитки  $ZB_{np}$  внаслідок НС, показники індивідуального ризику  $G_i$  по регіонах держави на основі фактографічної інформації про НС.

Для перевірки ефективності застосування запропонованої моделі (рис. 1) здійсимо прогноз можливих збитків внаслідок НС в 2013 році по Україні на основі фактографічної інформації про НС за 1997-2012 роки. Графік залежності загальних збитків від сумарної кількості НС природного, техногенного та соціального характеру в Україні за 1997-2013 роки [16] показано на рис. 2.

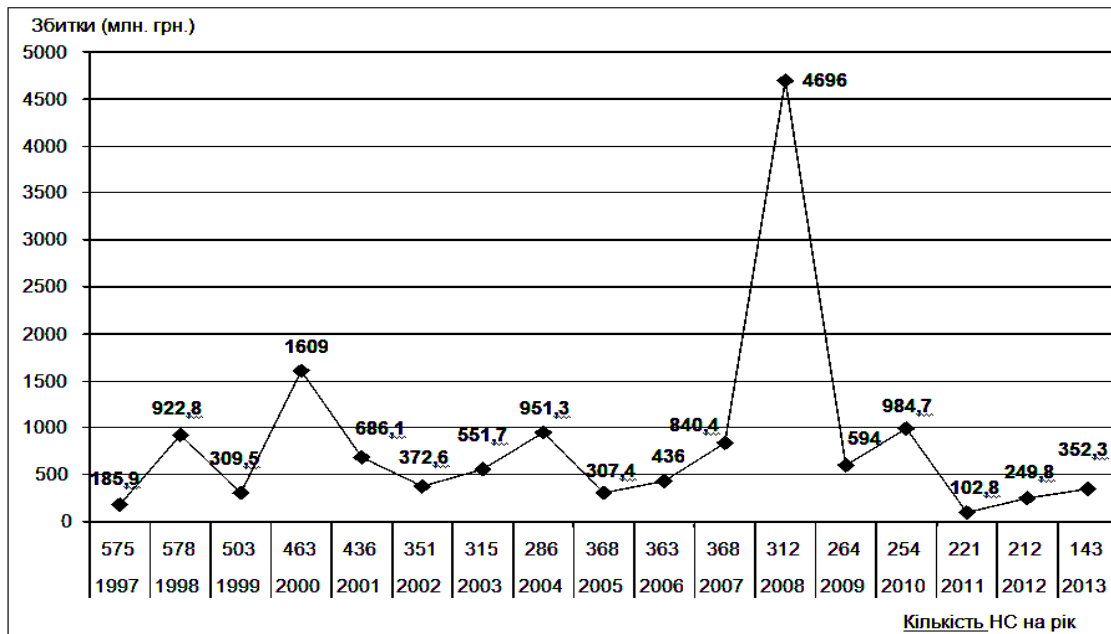


Рис. 2. Графік залежності збитків від кількості надзвичайних ситуацій

За фактографічними даними на протязі 1997-2013 років внаслідок НС техногенного та природного характеру завдано збитків на суму 14152,3 млн. грн., середні збитки за рік склали 832,5 млн. грн., майже 86% збитків від загальної їх кількості припадає на НС природного характеру, більше 9% - на НС техногенного характеру і лише близько 5% - на НС соціального характеру. Середні збитки  $ZB_{npPX}^{одна}$ ,  $ZB_{npTX}^{одна}$ ,  $ZB_{npCX}^{одна}$  на одну НС (млн. грн.) відповідно природного, техногенного і соціального характеру за період спостереження  $\Delta t$  (1997-2012 роки) склали 5,4 млн. грн., 0,5 млн. грн., 0,04 млн. грн. На основі цих даних зробимо прогноз можливих збитків внаслідок НС відповідно природного, техногенного, соціального характеру (4) і загальних збитків внаслідок НС в 2013 році (5) (прогнозні значення кількості НС природного, техногенного і соціального характеру складають відповідно від 56 до 58, від 74 до 88, від 12 до 14). В результаті розрахунків прогнозні збитки внаслідок НС можуть скласти від 339,88 до 357,76 млн. грн., з них внаслідок НС природного характеру – від 302,4 до 313,2 млн. грн., внаслідок НС техногенного характеру – від 37 до 44 млн. грн., внаслідок НС соціального характеру – від 0,48 до 0,56 млн. грн. Реально внаслідок НС природного характеру в 2013 році було завдано збитків на суму 291 млн. грн., внаслідок НС техногенного характеру – 61 млн. грн., внаслідок НС соціального характеру – близько 0,4 млн. грн., загальні збитки

внаслідок НС склали майже 353 млн. грн. Середня відносна похибка прогнозу складала близько десяти відсотків.

Узагальненим показником захисту населення від потенційних небезпек [15] є середня величина індивідуального ризику ( $G_i$ ). У відповідності з комплексною моделлю (рис. 1) оцінка його відбувається в модулі 5. Показники індивідуального ризику [15] по регіонах України (1 – Волинська, 2 – Дніпропетровська, 3 – Донецька, 4 – Житомирська, 5 – Закарпатська, 6 – Запорізька, 7 – Івано-Франківська, 8 – Київська, 9 – Кіровоградська, 10 – Луганська, 11 – Львівська, 12 – Миколаївська, 13 – Одеська, 14 – Полтавська, 15 – Рівненська, 16 – Сумська, 17 – Харківська, 18 – Херсонська, 19 – Хмельницька, 20 – Черкаська, 21 – Чернігівська області) в 2013 році наведені на графіку (рис. 3).

Аналіз графіка (рис. 3) показує, що найбільші показники індивідуального ризику притаманні Хмельницькій (13е–6), Волинській (11е–6), Запорізькій (10е–6), Сумській (10е–6), Луганській (9е–6), Донецькій (9е–6), Львівській (9е–6), Чернігівській (8е–6) та Харківській (8е–6) областям. Відносні похибки прогнозу складають не більше шести відсотків.

Таким чином, запропонована комплексна модель дозволяє здійснювати прогноз збитків внаслідок НС та показників індивідуального ризику по регіонах держави на основі фактографічної інформації за деякий період спостереження з відносною похибкою прогнозу близько десяти відсотків.



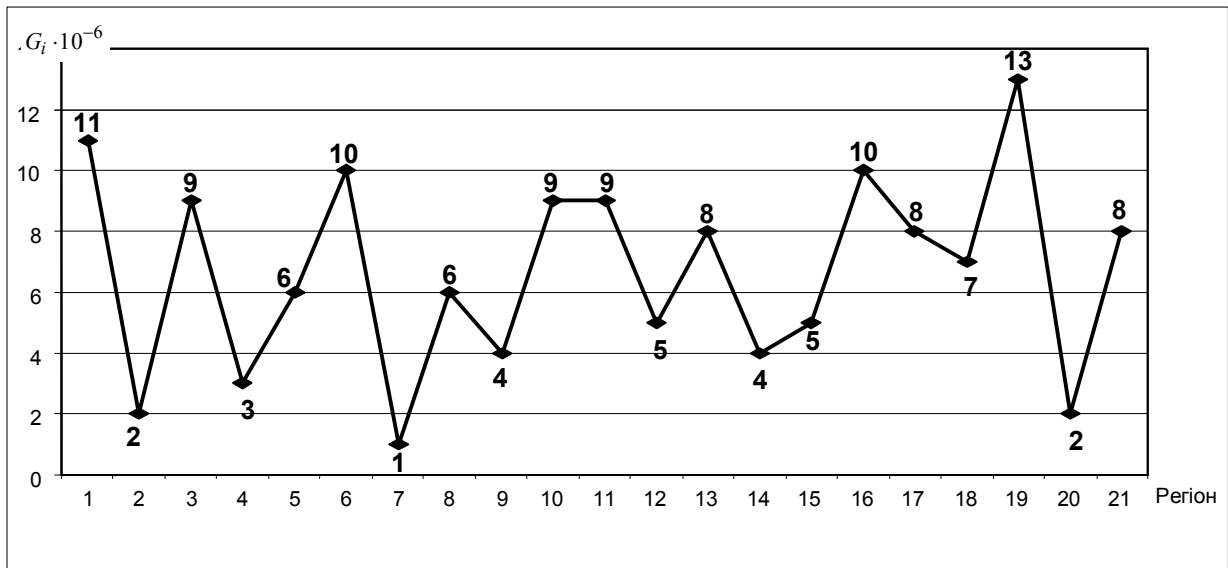


Рис. 3. Розподіл індивідуального ризику по регіонах України

### Висновки

1. Запропоновано комбінований метод прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій в державі, який об'єднує методи регресійного аналізу та ймовірно-статистичний метод прогнозування. Це дозволяє компенсувати недоліки одних методів за допомогою інших з метою підвищення точності прогнозування.

Перевага методу полягає в тому, що він дозволяє здійснювати комплексне прогнозування як загальних збитків внаслідок НС та індивідуального ризику по регіонах держави, так і збитків внаслідок НС різного характеру.

2. На основі комбінованого методу запропонована комплексна модель прогнозування збитків внаслідок НС в державі. Вона включає інформаційно об'єднані в єдине ціле та ув'язані між собою входними і вихідними даними та іншими параметрами модулі, кожний з яких вирішує конкретні завдання.

3. На основі фактографічних даних про НС в Україні проведені експериментальні дослідження ефективності застосування комплексної моделі для прогнозування збитків внаслідок НС в державі. В результаті досліджень встановлено, що модель дозволяє здійснювати прогноз можливих збитків внаслідок НС в державі з середньою відносною похибкою прогнозу не більше 10%.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванець Г.В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. // Збірник наукових праць ХУПС. –Х. ХУПС, 2016. – Вип. 3 (48). – С.142-145.
2. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience // Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92. Issue 10. P.2657-2665. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003.
3. Голован, Ю. В., Козырь Т. В. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационно-методический комплекс. / Издательство «Проспект», Дальневосточный государственный технический университет, 2015. 219 с.
4. Neisser F., Runkel S. The future is now! Extrapolated riskscape, anticipatory action and the management of potential emergencies // Geoforum, 2017. Vol. 82. P. 170-179. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.04.008.
5. Новоселов С. В., Панихидников С. А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №10. С.60-71.
6. Kryanev A., Ivanov V., Romanova A., Sevastianov L., Udumyan D. Extrapolation of Functions of Many Variables by Means of Metric Analysis // EPJ Web of Conferences. 2018. Vol. 173:03014. doi: https://doi.org/10.1051/epjconf/201817303014.
7. Migalenko K., Nuianzin V., Zemlianskyi A., Dominik A., Pozdieiev S. Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 10(90). P.31-37. doi:https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727.
8. Tsurikov A.N. Application of artificial neural network for identification of stability of bottom layer of atmosphere // Applied and Fundamental Studies: Proc. of the 2nd Int. Acad. Conf. March 8-10, 2013. – St. Louis, Missouri, USA, 2013. – P. 226-231.
9. Aygul Gabdulhakova, Birgsta Konig-Ries, Dmitry Rizvanov. Rational Resource Allocation in Mass Casualty Incidents – Adaptivity and Efficiency. Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver Canada, April 2012.
10. Deng, S.C., Wu, Q., Shi, B., et al. (2014) Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. China Safety Science Journal, 24, P.79-84.
11. Баскин Ю.Г., Горбунов А.А., Савельев Ю.С. Предупреждение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Проблемы управления рисками в техносфере. СПб.: СПб УГПС МЧС России, 2014. № 3.
12. Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – ISSN 2224-8617. Том 1, 2011, №1(1).
13. Іванець Г.В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданнях збитків внаслідок них / Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. Вип. 8(145). – С.175-179.

14. Іванець Г.В. Алгоритм прогнозування загальних завданих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій, необхідних матеріально-технічних ресурсів та особового складу для ліквідації чи запобігання їм / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХНУПС, 2017. Вип. 1(26). – С.140-145.
15. Горелишев С.А. Комплексна модель передбачення процесу виникнення надзвичайних ситуацій в цілому по державі та її регіонах / С.А. Горелишев, Г.В. Іванець, М.Г. Іванець // Збірник наукових праць НАДПСУ – Хмельницький.: НАДПСУ, 2018. – Вип. 1(75). – С.320-331.
16. Gregory Ivanec, Stanislav Gorelyshev, Mykhajlo Ivanec. Risk of emergency situations of technogenic natural nature in the territory of Ukraine // Scientific magazine of The Open Diplomacy Association. 2017. Vol. 42. Issue 2. P.180-193.
17. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році / УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2014. 542 с.

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. В. В. Тюпоник,  
 Національний університет цивільного захисту України, Харків  
 Received (Надійшла) 11.10.2018  
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

### Комплексная модель прогнозирования ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций в государстве

Г. В. Иванец, И. А. Толкунов

Статья посвящена решению проблемы прогнозирования возможного ущерба нанесенного государству вследствие чрезвычайных ситуаций. В большинстве случаев для прогнозирования ущерба применяют методы регрессионного анализа, факторного анализа и статистико-вероятностные методы, которые ориентированы в основном на прогнозирование отдельных видов чрезвычайных ситуаций и последствий от них. Возможности комплексного решения задачи всестороннего прогнозирования не только возможности возникновения чрезвычайных ситуаций в целом, но и возможного ущерба вследствие их на основе фактографической информации о чрезвычайных ситуациях за некоторый период мониторинга исследованы недостаточно. Все это позволяет утверждать, что целесообразным является создание комбинированного метода прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций, что определяет **проблему и актуальность исследования**. Полезность и целесообразность применения данного метода обусловлена тем, что комбинированный метод объединяет метод регрессионного анализа, метод факторного анализа и вероятностно-статистический метод прогноза. Это позволяет компенсировать недостатки одних с помощью других, что приведет к повышению точности прогнозирования. **Цель статьи** – разработка комбинированного метода и комплексной модели прогнозирования ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций в государстве. **Результаты исследований**. На основе комбинированного метода разработана комплексная модель прогнозирования ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций, которая позволяет осуществлять прогноз ущерба в целом по государству и показателей индивидуального риска в регионах страны на основе фактографической информации о чрезвычайных ситуациях за некоторый период мониторинга. В результате исследований установлено, что предложенная модель позволяет комплексно решать задачи прогнозирования ущерба вследствие чрезвычайных ситуаций различного характера, общего возможного ущерба и показателей индивидуального риска в регионах государства со средней относительной ошибкой прогноза не более десяти процентов. **Выводы и область применения результатов исследования**. Предложенная комплексная модель позволяет осуществлять прогнозирование возможного нанесенного ущерба и индивидуальных рисков погибнуть вследствие чрезвычайных ситуаций как в государстве в целом, так и его регионах, с целью адекватного реагирования сил гражданской защиты и отработки мероприятий относительно недопущения процесса возникновения чрезвычайных ситуаций, возможной ликвидации их последствий с наибольшей эффективностью и наименьшими затратами.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, мониторинг, ущерб от чрезвычайных ситуаций, индивидуальный риск, комбинированный метод прогноза, комплексная модель.

### Complex model for proliferation of damage influence of external situations in the state

H. Ivanets, I. Tolkunov

The article is devoted to solving the problem of forecasting possible damage to the state caused by emergency situations. In most cases, regression analysis, factor analysis, and statistical-probabilistic methods are used to predict damage, which are mainly focused on prediction of individual types of emergencies and the consequences of them. Possibilities of an integrated solution to the problem of comprehensive forecasting not only the possibility of occurrence of emergency situations in general, but also possible damage due to them on the basis of factual information on emergency situations for a certain period of monitoring is insufficiently studied. All this allows us to assert that it is expedient to create a combined method of forecasting the consequences of emergency situations, which determines the problem and relevance of the research. The utility and expediency of using this method is due to the fact that the combined method combines the method of regression analysis, the method of factor analysis and the probabilistic-statistical method of forecasting. This allows you to offset some of the drawbacks with others, which will increase the accuracy of prediction. **The purpose of the article** is the development of a combined method and a comprehensive model for forecasting damage due to emergency situations in the state. **Research results**. On the basis of the combined method, a comprehensive model of prediction of damage due to emergency situations has been developed, which allows the forecast of damage in general by the state and indicators of individual risk in the regions of the country based on factual information on emergencies during a certain period of monitoring. As a result of experimental studies, it has been established that the proposed model allows to solve the problems of forecasting damage due to emergency situations of different character, the total possible damage and indicators of individual risk in regions of the state with a mean relative error of forecast not more than ten percent. **Conclusions and scope of research results**. The proposed comprehensive model allows forecasting of possible damage and individual risks to be lost due to emergency situations both in the state as a whole and in its regions, in order to adequately respond to the forces of civilian security and to work out measures to prevent the emergence of emergency situations, the possible elimination of their consequences with the greatest efficiency and least cost.

**Keywords:** emergency situation, monitoring, damage from emergency situations, individual risk, combined forecasting method, integrated model.

О. А. Руденко<sup>1</sup>, З. М. Руденко<sup>2</sup>, Г. В. Головка<sup>1</sup>, О. Б. Одарущенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

<sup>2</sup> Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

<sup>3</sup> Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна

## ЗНАХОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СКОРИГОВАНОЇ ЛІНІЇ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ВИЯВЛЕНИХ ДЕФЕКТІВ ПРИ ОЦІНЮВАННІ КІЛЬКОСТІ ВТОРИННИХ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

У статті проведено аналіз місця характеристики надійності програмного забезпечення в структурі моделей якості програмного забезпечення. Визначено, що в ієрархічній структурі більшості моделей якості програмного забезпечення характеристика надійності є першою підхарактеристикою характеристики якості. Виділені п'ять принципів урахування вторинних дефектів програмних засобів. Для урахування вторинних дефектів програмних засобів використовується: теорія динаміки програмних систем, у якій процеси прояву дефектів у програмних засобах розглядаються як результат дії детермінованих потоків дефектів; теорія часових рядів, де виділяються вторинні дефекти із загального потоку дефектів; імітаційне моделювання; модифікація функцій ризику моделей оцінки надійності програмних засобів та функцій, що характеризують параметри цих моделей, внесенням імовірнісних коефіцієнтів; модифікація функцій ризику моделей оцінки надійності програмних засобів шляхом внесення параметра, що визначає число вторинних дефектів, який визначається порівнянням значень полігона частот дефектів з відповідними значеннями функції регресії. Проаналізовано поняття недосконалого відлагодження програмного забезпечення у контексті урахування вторинних дефектів. Обґрунтовано вибір експоненціальної апроксимації полігона частот виявлених дефектів програмних засобів. Наведено приклади моделей оцінки надійності програмних засобів, функції ризику яких містять експоненціальну складову. Розглянуто послідовність знаходження коефіцієнтів функції, одержаної в результаті зміщення лінії експоненціальної апроксимації полігона частот виявлених дефектів програмних засобів. Показано застосування одержаних коефіцієнтів для методики оцінювання числа вторинних дефектів, що ґрунтується на порівнянні даних статистики числа дефектів і даних зміщеної лінії експоненціальної апроксимації полігона частот дефектів. Одержані рівняння скоригованої лінії експоненціальної апроксимації для вибірок малих і великих об'ємів. Одержані формули для обчислення числа вторинних дефектів на часових інтервалах без урахування та із урахуванням поправки Бесселя.

**Ключові слова:** якість програмного забезпечення, надійність програмного забезпечення, дефект, вторинний дефект, недосконале відлагодження, експоненціальна апроксимація, полігон частот дефектів, модель оцінки надійності програмних засобів, скоригована лінія експоненціальної апроксимації, поправка Бесселя.

### Вступ

Розвиток інформаційних технологій та їх широке впровадження у різні сфери життя людини висуває підвищені вимоги до забезпечення високої якості програмних засобів, що експлуатуються.

Вимоги до програмного забезпечення, що постійно зростають, приводять до появи нових моделей якості програмного забезпечення. В роботі [1] проведено порівняльний аналіз усіх найбільш значущих моделей якості програмного забезпечення за період часу, що складає понад сорок років, та дослідження їх змін. Моделі якості програмного забезпечення мають ієрархічну структуру характеристик та відношень між ними. На першому (вищому) рівні ієрархії знаходиться якість, на другому її характеристики, на третьому підхарактеристики (деякі моделі містять четвертий рівень). Серед розглянутих дев'яти основних моделей якості у шести надійність знаходиться на другому рівні ієрархії [1], а у моделі Дромера [2] є підхарактеристикою всіх характеристик другого рівня ієрархії. Крім того, нова модель якості, що відображає особливості забезпечення і оцінювання якості сучасних програмних засобів, яка описана у міжнародному спеціалізованому стандарті

ISO 25010 [3], містить характеристику надійності на другому рівні ієрархії. Тому надійність є одним з ключових факторів, що забезпечують якість програмного забезпечення. Водночас важливе значення має оцінка надійності програмного забезпечення, що враховує фактори усіх етапів життєвого циклу програмних продуктів. Одним з таких факторів є фактор вторинних дефектів – дефектів, що вносяться у процесі усунення виявлених (первинних) дефектів програмних засобів. При знаходженні показників надійності неврахування фактора вторинних дефектів може привести до значних відхилень одержаних результатів від реальних, або навіть повної неадекватності цих результатів.

Відомі п'ять принципів врахування вторинних дефектів:

- теорія динаміки програмних систем [4-6];
- виділення вторинних дефектів із загального потоку дефектів з використанням теорії часових рядів [7];
- використання імітаційного моделювання [8];
- модифікація функції ризику моделі оцінки надійності програмного засобу шляхом внесення в неї імовірнісних коефіцієнтів, що характеризують вторинні дефекти [9];

– оцінка числа вторинних дефектів на часових інтервалах шляхом порівняння значень тренда дефектів з відповідними значеннями функції регресії для подальшого використання одержаних результатів у модифікованих (шляхом внесення у функцію ризику моделі параметра, що характеризує число вторинних дефектів) моделях оцінки надійності програмних засобів [10].

У ряді робіт [11-13] розроблені моделі, що характеризують параметри недосконалого відлагодження програмного забезпечення. У статті [11] запропоновано імітаційний підхід до моделювання процесу виявлення дефектів і процесу їх корекції. У роботі [12] розглядаються процеси виявлення та усунення дефектів з урахуванням функції тестування зусиль і недосконалого відлагодження. У статті [13] запропонована модель надійності програмного забезпечення, що пов'язує явище недосконалого

відлагодження і навчання загальним параметром між двома функціями. Фактор вторинних дефектів іноді враховується в комплексі з іншими факторами, що визначають недосконале відлагодження, але не виділяється окремо.

**Мета** статті – визначення коефіцієнтів скоригованої лінії експоненціальної апроксимації статистичних даних числа виявлених дефектів програмних засобів для оцінки числа вторинних дефектів на часових інтервалах.

### Основна частина

Вибір експоненціальної апроксимації зумовлений тим, що значна кількість моделей оцінки надійності програмних засобів включає параметри, що описуються за допомогою рівностей, які містять експоненту. Приклади таких моделей наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Моделі, що містять експоненціальну складову

Модель	Формула	Параметри моделі
Муси-Гамільтона [15]	$m = E_0 \left(1 - e^{-C/E_0 T_0}\right)$	$m$ – число відмов (виявлених дефектів); $T_0$ – напрацювання між відмовами перед початком налагодження або експлуатації, $E_0$ – початкове число дефектів, $C$ – коефіцієнт пропорційності
Шнайдевінда [16]	$\lambda(t) = B e^{-K i}$	$\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; $i$ – порядковий номер інтервалу; $B > 0$ , $K > 0$ – константи моделі
Базова S-подібна модель [17]	$\lambda(t) = BK^2 t e^{-Kt}$	$\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; $B$ , $K > 0$ – параметри моделі
Охба [18]	$\lambda(t) = ab^2 t e^{-bt}$	$\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; $a$ – початкове число дефектів у програмному засобі; $b$ – інтенсивність усунення дефектів

Крім того, багато параметрів, що характеризують надійність програмних засобів, обчислюються за допомогою формул, які містять експоненціальну складову.

Надійність систем, що не відновлюються, визначається величинами:

– ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (1)$$

де  $\lambda(t)$  – інтенсивність відмов – основний показник надійності складних систем;

– середній час безвідмовної роботи

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2)$$

та рядом інших величин, котрі безпосередньо пов'язаних із зазначеними [14].

### Методика оцінювання числа вторинних дефектів програмних засобів

Вихідними даними для оцінювання числа вторинних дефектів програмних засобів є статистичні дані числа виявлених дефектів.

Створюється дискретний варіаційний ряд частот виявлених дефектів, варіантами якого є кінці

рівновіддалених часових інтервалів, на які розбивається весь час процесу виявлення дефектів.

Оцінювання числа вторинних дефектів програмних засобів здійснюється у наступній послідовності.

1 Будується полігон частот дефектів, що є лананою, яка послідовно сполучає точки з координатами  $(t_i; n_i)$ , де  $t_i$  – час, що відповідає кінцю  $i$ -го інтервалу часу;  $n_i$  – число дефектів, виявлених за  $i$ -й інтервал часу.

2 Проводиться експоненціальна апроксимація одержаного полігона частот і визначається рівняння лінії апроксимації.

3 Підстановкою в одержане рівняння експоненціальної апроксимації  $t_1$  і  $t_k$  визначаються точки

$$(t_1; n_1) \text{ і } (t_k; n_k),$$

де  $t_1$  – час, що відповідає кінцю першого інтервалу часу;  $t_k$  – час, що відповідає кінцю останнього інтервалу часу;  $n_1$ ,  $n_k$  – відповідні значення апроксимуючої функції.

4 Визначається точка з координатами

$$(t_1; n_1 - \sigma),$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення числа виявлених дефектів.

5 Знаходиться рівняння скоригованої лінії експоненціальної апроксимації. Для цього у рівняння експоненти

$$n = \alpha \exp(-\beta t) \quad (3)$$

замість  $n$  і  $t$  підставляються координати таких точок:

$$(t_1; n_1 - \sigma) \text{ і } (t_k; n_k).$$

У результаті одержується система рівнянь

$$\begin{cases} n_1 - \sigma = \alpha \exp(-\beta t_1) \\ n_k = \alpha \exp(-\beta t_k) \end{cases} \quad (4)$$

Поділивши перше рівняння системи (4) на друге одержуємо

$$\frac{n_1 - \sigma}{n_k} = \exp(\beta(t_k - t_1)) \quad (5)$$

Прологарифмувавши (5) знаходимо  $\beta$

$$\beta = \frac{1}{t_k - t_1} \ln \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \quad (6)$$

Переписавши друге рівняння системи (4) у вигляді

$$\alpha = n_k \exp(\beta t_k) \quad (7)$$

підставимо (6) замість  $\beta$ .

Одержуємо

$$\alpha = n_k \exp \left( t_k \ln \left( \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \right)^{\frac{1}{t_k - t_1}} \right). \quad (8)$$

Після спрощень (8) маємо

$$\alpha = n_k \left( \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \right)^{\frac{t_k}{t_k - t_1}}. \quad (9)$$

Знайдемо  $\exp(-\beta t)$  підставивши вираз (6) замість  $\beta$ .

$$\exp(-\beta t) = \exp \left( - \frac{1}{t_k - t_1} \ln \frac{n_1 - \sigma}{n_k} t \right), \quad (10)$$

або після спрощень

$$\exp(-\beta t) = \left( \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \right)^{\frac{t}{t_k - t_1}}. \quad (11)$$

Підставивши в рівняння експоненти (3) вирази (9) і (11) одержуємо рівняння скоригованої лінії експоненціальної апроксимації

$$n = n_k \left( \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \right)^{\frac{t_k - t}{t_k - t_1}}. \quad (12)$$

Число вторинних дефектів на кожному часовому інтервалі визначається за формулою

$$n^{BH} = n_i - n_i^*, \quad i = \overline{1, k}, \quad (13)$$

де  $n_i$  – число дефектів, виявлених за  $i$ -й інтервал часу,  $n_i^*$  – значення скоригованої лінії експоненціальної апроксимації у моменти часу  $t_i$ .

Або, враховуючи (12)

$$n^{BH} = n_i - n_k \left( \frac{n_1 - \sigma}{n_k} \right)^{\frac{t_k - t_i}{t_k - t_1}}, \quad (14)$$

де  $t_i (i = \overline{1, k})$  – час, що відповідає кінцю  $i$ -го інтервалу часу.

Результат, обчислений за формулою (14), округлюється до цілих,  $n^{BH}$  вважається рівним нулю, якщо отримується від'ємне значення.

Вибір величини середнього квадратичного відхилення як міри відхилення лінії експоненціальної апроксимації від скоригованої лінії експоненціальної апроксимації у момент часу  $t_1$  на величину  $\sigma$  (рис. 1) обумовлюється тим, що середнє квадратичне відхилення характеризує міру розсіяння значень випадкової величини відносно середнього.

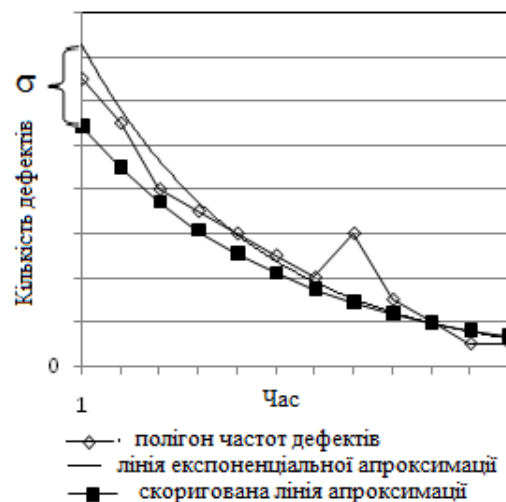


Рис. 1. Полігон частот дефектів, лінія експоненціальної апроксимації та скоригована лінія експоненціальної апроксимації

Зменшення різниці між відповідними значеннями апроксимуючої лінії і скоригованої лінії апроксимації із збільшенням  $t_i$  пов'язане з тим, що на початкових етапах тестування програмних засобів більша ймовірність внесення вторинних дефектів, оскільки більше число виявлених дефектів і, відповідно, проводиться більше дій, спрямованих на їх

усунення. У момент часу  $t_k$  ці значення співпадають. Це пояснюється припущенням, що на останньому етапі тестування всі виявлені дефекти усунути.

Приклад застосування методики оцінювання числа вторинних дефектів на основі порівняння значень функції експоненціальної апроксимації та функції скоригованої лінії експоненціальної апроксимації наведений у роботі [19] без урахування одержаних формул.

При невеликих вибірках числа дефектів для розрахунку середнього квадратичного відхилення вводять поправку Бесселя. Відповідно, формула (12) набуде вигляду

$$n = n_k \left( \left( n_l - \sqrt{\frac{N}{N-1}} \sigma \right) / n_k \right)^{\frac{t_k - t_l}{t_k - t_1}}, \quad (15)$$

де  $N$  – об'єм вибірки.

Формула (14) з урахуванням поправки Бесселя матиме вигляд

$$n^{BH} = n_i - n_k \left( \left( n_l - \sqrt{\frac{N}{N-1}} \sigma \right) / n_k \right)^{\frac{t_k - t_i}{t_k - t_l}}. \quad (16)$$

Для вибірок об'єму  $N > 30$  зміщене середнє квадратичне відхилення мало відрізняється від незміщеного, тому в поправці Бесселя немає необхідності [20].

## Висновки

Одержані формули для оцінювання числа вторинних дефектів програмних засобів на основі порівняння значень експоненціальної апроксимуючої функції полігона дефектів та зміщеної лінії експоненціальної апроксимації без урахування та з урахуванням поправки Бесселя.

Результати узгоджуються з раніше отриманими результатами за допомогою порівняння значень полігона частот дефектів з відповідними значеннями лінії регресії, але використання одержаного аналітичного виразу значно спрощує обчислювальний процес.

Подальшими напрямками досліджень, спрямованих на оцінку числа вторинних дефектів за статистичними даними є аналіз припущень та аналітичних функцій ризику моделей, що не містять експоненціальної складової та використання інших видів апроксимуючих функцій, а також урахування величини достовірності апроксимації при розрахунках.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордеев А. А. Эволюция моделей качества программного обеспечения: методика и результаты анализа в контексте стандарта ISO 25010 / А. А. Гордеев, В. С. Харченко // Системы обработки информации. – 2013. – №6(113), С. 15-34.
2. Dromey G. R. A model for software product quality // IEEE Trans. on software Eng. – 1995. Vol.21, no. 2, pp.146-162.
3. International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2010, 34 p.
4. Маевський Д.А. Структурна динаміка програмних систем і прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів / Д.А. Маевський // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 3 (44). – С. 103-109.
4. CASE-оценка критических программных систем. Т. 2. Надежность [Монография] / Одарущенко О.Н., Харченко В.С., Маевский Д.А. и др. – Под ред. Харченко В.С. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2012. – 292 с.
5. Maevsky D. A. Software reliability. Non-probabilistic approach / D. A. Maevsky, H. D. Maevskaya, A. A. Leonov // RT&A # 03 (26) – 2012, P. 8-20.
6. Маевский Д. А. Использование теории временных рядов для выделения вторичных ошибок на этапе тестирования программного обеспечения / Д.А. Маевский, О.П. Жеков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 2 (16). – С. 82-85.
7. Мищенко В.О. Термодинамический подход к моделированию процесса роста надежности программных средств с учетом «вторичных дефектов» / В.О.Мищенко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2015. – Вип. 28. – С. 91-106.
8. Mahapatra G. S. Modified Jelinski-Moranda Software Reliability Model with Imperfect Debugging Phenomenon / G. S. Mahapatra, P. Roy // International Journal of Computer Applications – 2012. – № 18 – P. 38-46.
9. Одарущенко О.Н. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / О.Н. Одарущенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7 (59). – С. 294-300.
10. Peng R., Liu J. Simulated Software Testing Process Considering Debuggers with Different Detection and Correction Capabilities. International Journal of Performability Engineering, Vol. 13, no. 3, 2017, 334-336
11. Peng R, Li YF, Zhang WJ, Hu QP. Testing effort dependent software reliability model for imperfect debugging process considering both detection and correction. Reliability Engineering & System Safety. 2014; 126: 37-43.
12. Pham H. An Imperfect-debugging Fault-detection Dependent-parameter Software. International Journal of Automation and Computing. 2007; 04(4): 325-328.
13. Половко А.М. Основы теории надежности. / А.М. Половко, С.В. Гуров – СГ БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
14. Hamilton P.A., Musa J.D. Measuring reliability of Computation Center Software // Proc.3-thInternat. Conf. on Software. Eng. May 10-12 1978. – P.29-36.
15. Schneidewind N. F. Software Reliability Model with Optimal Selection of Failure Data // IEEE Transactions on Software Engineering. - 1993. - Vol. 19, No. 11. Nov. - P. 1095-1104.
16. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection // IEEE Trans. Reliability. - 1983. - R-32. - № 5. - P. 475-518.

17. Ohba M. Software Reliability Models // IBM J. Res. Develop. - 1984. - 28. - № 4. - P. 428-443.
18. Rudenko O., Odarushchenko E., Rudenko Z., Rudenko M., "The Secondary Software Faults Number Evaluation Based on Correction of the Experimental Data Exponential Line Approximation", Conference Proceedings of 2018 IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018, Kyiv, 2018, pp. 401-405.
19. Мармоза А.Т. Практикум по математической статистике: Учеб. пособие / А.Т. Мармоза – К.: Выща шк., 1990. – 191 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаев,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків

Received (Надійшла) 03.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

### **Нахождение параметров скорректированной линии экспоненциальной аппроксимации экспериментальных данных выявленных дефектов при оценке числа вторичных дефектов программных средств**

А. А. Руденко, З. Н. Руденко, Г. В. Головки, Е. Б. Одарушенко

В статье проведен анализ места характеристики надежности программного обеспечения в структуре моделей качества программного обеспечения. Определено, что в иерархической структуре большинства моделей качества программного обеспечения характеристика надежности является первой подхарактеристикой характеристики качества. Выделены пять принципов учета вторичных дефектов программных средств. Для учета вторичных дефектов программных средств используется: теория динамики программных систем, в которой процессы проявления дефектов в программных средствах рассматриваются как результат действия детерминированных потоков дефектов; теория временных рядов, где выделяются вторичные дефекты из общего потока дефектов; имитационное моделирование; модификация функций риска моделей оценки надежности программных средств и функций, характеризующих параметры этих моделей, внесением вероятностных коэффициентов; модификация функций риска моделей оценки надежности программных средств путем внесения параметра, определяющего число вторичных дефектов, который определяется сравнением значений полигона частот дефектов с соответствующими значениями функции регрессии. Проанализировано понятие несовершенной отладки программного обеспечения в контексте учета вторичных дефектов. Обоснован выбор экспоненциальной аппроксимации полигона частот выявленных дефектов программных средств. Приведены примеры моделей оценки надежности программных средств, функции риска которых содержат экспоненциальную составляющую. Рассмотрена последовательность нахождения коэффициентов функции, полученной в результате смещения линии экспоненциальной аппроксимации полигона частот выявленных дефектов программных средств. Показано применение полученных коэффициентов для методики оценки числа вторичных дефектов, которая строится на сравнении данных статистики числа дефектов и данных смещенной линии экспоненциальной аппроксимации полигона частот дефектов. Получены уравнения скорректированной линии экспоненциальной аппроксимации для выборок малых и больших объемов. Получены формулы для вычисления числа вторичных дефектов на временных интервалах без учета и с учетом поправки Бесселя.

**Ключевые слова:** качество программного обеспечения, надежность программного обеспечения, дефект, вторичный дефект, несовершенная отладка, экспоненциальная аппроксимация, полигон частот дефектов, модель оценки надежности программных средств, скорректированная линия экспоненциальной аппроксимации, поправка Бесселя.

### **Finding the parameters of the corrected line of exponential approximation of the experimental data of the detected faults during estimating the number of secondary faults of the software**

O. Rudenko, Z. Rudenko, G. Golovko, O. Odarushchenko

The article analyzes the location of the characteristic reliability of the software in the structure of software quality models. It has been determined that in the hierarchical structure of most software quality models, the reliability characteristic is the first characterization characteristics of quality. There are five principles for recording secondary faults of software. To account for secondary faults of software means: the theory of dynamics of software systems, in which the processes of manifestation of faults in software are considered as the result of the action of deterministic faults streams; the theory of time series, which distinguish secondary faults from the general flow of faults; simulation modeling; modification of the risk functions of models for assessing the reliability of software and functions that characterize the parameters of these models, the introduction of probability coefficients; Modification of the risk functions of software reliability evaluation models by introducing a parameter that determines the number of secondary faults, which is determined by comparing the values of the fault frequency polygon with the corresponding values of the regression function. The concept of imperfect software debugging in the context of accounting for secondary faults is analyzed. The choice of the exponential approximation of the frequency range of detected software faults is grounded. Examples of models for assessing the reliability of software tools whose risk features contain an exponential component are given. The sequence of finding the coefficients of the function obtained as a result of displacement of the exponential approximation line of the frequency range of detected faults of software is considered. The application of the obtained coefficients for the method of estimating the number of secondary faults is shown. This method is based on a comparison of the statistics of the number of faults and the displaced line data of the exponential approximation of the fault frequency polygon. The equations of the corrected exponential approximation line for the samples of small and large volumes are obtained. Formulas have been obtained for calculating the number of secondary faults on time intervals without account and taking into account the Bessel correction.

**Keywords:** software quality, software reliability, fault, secondary fault, imperfect debugging, exponential approximation, defect frequency polygon, software reliability evaluation model, corrected exponential approximation line, Bessel correction.



А. Н. Рысованый

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

## МЕТОД СИНТЕЗА НЕЛИНЕЙНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРВОГО СОСТОЯНИЯ МАТРИЦЫ СОСТОЯНИЙ В КОНЕЧНОМ ПОЛЕ $GF(3)$

**Предметом** исследования в данной статье является процесс синтеза нелинейных генераторов псевдослучайной последовательности в конечном поле  $GF(3)$  на основе использования первого состояния матрицы состояний. **Цель** – разработать метод синтеза нелинейных генераторов псевдослучайной последовательности в конечном поле  $GF(3)$ , основанный на использовании первого столбца матрицы состояний в качестве основного элемента генерации. **Задача**: создание математического описания нелинейных генераторов псевдослучайной последовательности в конечном поле  $GF(3)$ , основанный на использовании взаимодействия первого столбца матрицы состояний и матрицы связей различных степеней. Поставленная задача решается за счет того, что в известном способе описания нелинейных генераторов псевдослучайной последовательности при использовании полиномов, которые генерируют максимальный период, связи выходов и входов триггеров описываются при помощи матрицы связей. А сдвиг предыдущего состояния на один разряд есть операция умножения этой матрицы на начальное, исходное, состояние регистра. Получены следующие **результаты**: метод синтеза генераторов в конечном поле  $GF(3)$ , основанный на использовании первого, начального, состояния генератора в качестве основного элемента генерации. Приведен математический аппарат описания функционирования регистра сдвига с нелинейными обратными связями. В работе показаны примеры формирования различных степеней матрицы связей, показана роль свободного члена полинома в формировании проверочной матрицы. **Выводы**: в работе впервые приведено и доказано утверждение о нахождении любого состояния генератора на основе его первого состояния для конечного поля  $GF(3)$  для двух полупериодов цикла генерации. Приведенные формулы нахождения состояний генератора могут быть использованы при построении схемы генератора без использования обратных связей.

**Ключевые слова**: Генератор последовательности, генератор псевдослучайной последовательности в поле  $GF(3)$ , псевдослучайная последовательность, регистр сдвига.

### Введение

Во многих областях науки и техники широкое применение находят регистры сдвига и устройства на их основе [1-6]. Нельзя обойти вниманием и военную технику, в качестве одного из примеров можно привести передачу пакетов данных, передаваемых операторами противолодочного самолёта Р-8А «Poseidon» по кодированному радиоканалу связи на соответствующий командный пункт. Для этого используется радиоканал тактической сети обмена данными «Link-16», который защищен методом псевдослучайной выборки рабочей частоты с громадной скоростью изменения этой частоты (77,8 кГц – это 77800 скачков/с). И в это же время для перестройки имеются большое число фиксированных частотных ячеек памяти в диапазоне от 0,96 до 1,215 ГГц (51 ячейка).

Естественно, что и число ячеек может быть в следующих разработках увеличено, а если использовать динамически изменяемый вид полиномов, которые являются закрытой информацией, то расшифровать такой сигнал в реальном масштабе времени, даже теоретически, не представляется возможным.

Можно в качестве примера привести и систему глобального позиционирования GPS, сигналы в которой подвергаются модулированию псевдослучайной последовательностью (ПСП) двух типов: первый тип –  $P$ -код и второй тип –  $С/A$ -код.  $С/A$ -код представляет собой код с циклом повторения 1023 состояния, частотой 1,023 МГц и, естественно, полиномом с  $\deg P(x) = 10$ , что является доста-

точно слабой характеристикой. На этой частоте и с такой ПСП работают GPS-приёмники гражданского назначения. А вот  $P$ -код используется в системах ответственного (военного) применения. Здесь применяется полином с циклом повторения  $2 \cdot 10^{14}$  состояний.

Сигналы, которые модулированы  $P$ -кодом, передаются на двух разных частотах:  $F1 = 1575,42$  МГц и  $F2 = 1227,6$  МГц. А несущая частота еще модулируется и навигационным сообщением. Для надежной защиты БПЛА от перехвата управления можно считать двойное применения ПСП для переброски частот и для модулирования сигнала. Причем, если использовать при этом редко используемые и не до конца исследованные полиномы из конечных или расширенных полей Галуа (из-за нелинейности преобразований), то в настоящее время перехват управления можно считать невозможным.

Актуальность применения ПСП не сколько не ограничивается приведенными примерами. Можно привести еще множество примеров применения ПСП в защищенных системах, таких как, криптографические системы, радиолокационные станции, средства моделирования, системы имитации, защита банковской информации и др.

При анализе известных характеристик приведенных современных систем (например, в «Link-16» может применяться полином с циклом повторения  $2^{17}$ ) однозначно делается вывод, что для надежной защиты от посягательства на чужую информацию одним из критериев является критерий выбора полинома с очень большим циклом повто-

рения. Увеличение цикла генерации возможно как путем применения полиномов с большей степенью полинома так и применение полиномов из конечных или расширенных полей Галуа. Конечно, каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки.

Нахождение любого состояния нелинейного генератора на основе его первого состояния для конечного поля  $GF(3)$  и является **целью статьи**.

### Основные проблемы и решения

В зависимости от требований к генераторам псевдослучайных последовательностей существуют различные методы их построения и, как следствие, большое многообразие таких схем [7-9]. Но одно требование остается всегда актуальным – должен существовать достаточно большой цикл генерации. В противном случае – это уже не псевдослучайная, а случайная последовательность с непредсказуемыми характеристиками. Причем, в большинстве случаев цикл генерации должен быть максимальным. Максимальность предполагает не только наличие всех возможных состояний в гамме, но и возможность применения математического анализа всех этих состояний [7, 8]. В зависимости от конкретных требований, таких как сложность технической реализации всего устройства или отдельных его частей, выдача воздействий для выявления не только ошибок, но и определенного вида ошибок исследуемой схемы, подчинение определенным законам распределения и т.д., то последнее условие может и не выполняться.

Основная проблема генераторов псевдослучайных последовательностей – это получение математических выражений, которые описывают не только предыдущие состояния, но и дают возможность вычисления и любых других, и не только предыдущих. Это позволяет рассчитать как весь цикл генерации, так и его часть с любой позиции генерации и построить при этом различные варианты схем, которые позволяют получить один и тот же результат. Для увеличения длины цикла рассмотрим полиномы конечного поля  $GF(3)$ , которые позволяют достаточно резко увеличить цикл генерации. Классический генератор псевдослучайных последовательностей представляет собой регистр сдвига, в цепи обратных связей которого располагается сумматор по модулю поля.

Короткий период генерации является «узким» местом генераторов псевдослучайных последовательностей. Увеличить этот период генерации наиболее просто, если применить полиномы в конечном поле, например,  $GF(3)$ .

Суть предлагаемого способа заключается в следующем. Сначала строится матрица связей  $S$  первой степени в конечном поле  $GF(3)$ , которая описывает связи входов и выходов регистра сдвига с обратными связями согласно виду образующего полинома.

Для сокращения записи будем учитывать только коэффициенты полинома, например, для  $P(X) = 1221202$  матрица связей имеет вид:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Свободный член полинома  $P(X)$  не находит отражения в матрице связей  $S$  первой степени. Однако он определяет самое главное состояние – это начальное (первое) состояние  $h_1 = \|a_0 00000\|$  матрицы состояний  $H$ , которое никогда не входит в матрицу  $S$  первой степени.

Но от его значения по правилу выбранного полинома формируются все остальные столбцы матрицы  $H$ .

Выходные состояния генератора в конечном итоге сводятся в матрицу состояний  $H$ :

$$H = \|h_1 h_2 h_3 \dots h_n\|, \text{ где } n - \text{длина гаммы.}$$

Рассмотрим распределение столбцов в матрице  $S$  различных степеней в зависимости от их значений. В связи с тем, что рассматриваются  $P(X)$ , которые имеют только  $T_{\max}$ , то, естественно в ПСП присутствуют все значения переборков. Так, например, для  $P(X) = 1221202$ :

$$S^1 = \|h_{366}, h_{367}, h_{297}, h_{422}, h_{81}, h_{365}\|;$$

$$S^2 = \|h_{367}, h_{368}, h_{298}, h_{423}, h_{82}, h_{366}\|;$$

$$S^3 = \|h_{368}, h_{369}, h_{299}, h_{424}, h_{83}, h_{367}\|.$$

Примечательно, что когда номер одного из столбцов  $h_i$  достигает  $T_{\max}$ , то нумерация начинается с  $h_1$ :

$$S^{308} = \|h_{673}, h_{674}, h_{604}, h_1, h_{388}, h_{672}\|;$$

$$S^{365} = \|h_2, h_3, h_{661}, h_{58}, h_{445}, h_1\|.$$

Последняя запись представляет особый интерес для анализа наполняемости матрицы  $S$  столбцами  $h_i$ , т.к. в матрице присутствует первый столбец  $h_1$ , который всегда является исходным для матрицы  $H$ , а в матрице  $S$  располагается в последнем столбце.

Но степень матрицы  $S$ , у которой, наконец, появился  $h_1$ , свидетельствует о том, что  $a_0 = 2$ . Наиболее просто исследовать  $P(X)$  с  $a_0 = 1$ . В последнем случае для  $P(X) = 1221202$ :

$$S_{.6} = \|h_1\|; S_{.2} = \|h_2\|; S_{.3} = \|h_3\|.$$

Обобщенная запись  $S_i$  для  $P(X) = 1221202$ :

$$S^i = \|h_{i+365}, h_{i+366}, h_{i+296}, h_{i+421}, h_{i+80}, h_{i+364}\|.$$

Из анализа полученных результатов и на основании ранее полученных исследований [7-9] можно сделать вывод, что распределение номеров столбцов

в матрице  $S$  подчиняется правилу: последний столбец всегда равен  $h_1$ , если свободный коэффициент полинома  $a_0 = 1$  или первому столбцу второго полупериода, который всегда в  $GF(3)$  инверсен в действующих значениях 1 и 2 друг другу.

Например, если  $a_0 = 1$ , то  $h_1 = \parallel 100\dots 00 \parallel$ , а  $h_{P/2} = \parallel 200\dots 00 \parallel$ , где  $P$  – период  $P(X)$ . Для каждого  $P(X)$  существует свое распределение столбцов  $h_i$  в матрице  $S$ .

**Утверждение.** Каждый  $i$ -й столбец матрицы состояний  $H$  определяется путем перемножения по модулю поля первого столбца  $h_1$  матрицы состояний  $H$  на матрицу связей  $S^{i-1}$  степени предыдущего столбца регистра сдвига с обратными связями.

**Доказательство.** Анализ будут подвергаться полиномы, которые имеют  $T_{\max}$  [7-9].

В связи с тем, что матрица связей  $S$  всегда квадратная и ее размер  $r \times r$  определяется только видом полинома  $P(X)$ , то любой ее  $i$ -й столбец должен соответствовать определенному столбцу  $h_i$  матрицы состояний  $H$ .

Вначале рассмотрим полином, у которого свободный член  $a_0 = 1$ , например,  $P(X) = 1000011$ .

Для  $P(X)$  с  $a_0 = 1$  начальное  $h_1 = \parallel 100000 \parallel$ . Обозначим предыдущее состояние  $k$ -того регистра как  $b$ , а текущее как  $b'$ .

При сдвиге этого состояния в регистре сдвигов с выбранными обратными связями будет получено  $h_2 = \parallel b_1 10000 \parallel$ , где

$$\begin{aligned} b_1 &= b'_1 \oplus_3 b'_5; & b_2 &= b'_1; \\ b_3 &= b'_2; & b_4 &= b'_3; \\ b_5 &= b'_4; & b_6 &= b'_5. \end{aligned}$$

Полученное выражение обозначает, что вначале происходит сдвиг всех триггеров регистра, а затем формирование значения первого триггера с учетом обратных связей по правилу выбранного полинома.

Но такие взаимосвязи входов и выходов триггеров регистра описывает и матрица  $S$ , которая для этого  $P(X) = 1000011$  имеет вид:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Поэтому, если первое состояние умножить по модулю поля на матрицу  $S$ , то будет получено второе состояние, например

$$h_2 = h_1 \otimes_3 S^1.$$

Применим метод подстановки для получения других значений  $h_i$ :

$$\begin{aligned} h_3 &= h_2 \otimes_3 S^1 = (h_1 \otimes_3 S^1) \otimes_3 S^1 = h_1 \otimes_3 S^2; \\ h_4 &= h_3 \otimes_3 S^1 = \\ &= (h_2 \otimes_3 S^1) \otimes_3 S^1 = \\ &= (h_1 \otimes_3 S^1) \otimes_3 S^1 \otimes_3 S^1 = h_1 \otimes_3 S^3; \\ h_5 &= h_4 \otimes_3 S^1 = \\ &= (h_3 \otimes_3 S^1) \otimes_3 S^1 = \\ &= (h_2 \otimes_3 S^1) \otimes_3 S^1 \otimes_3 S^1 \otimes_3 S^1 = h_1 \otimes_3 S^4 \end{aligned}$$

и т.д.

Следовательно, обобщенная формула получения  $i$ -го состояния  $h_i$  при условии,  $a_0 = 1$  будет таковой:

$$h_i = h_1 \otimes_3 S^{i-1} \mid a_0 = 1.$$

Рассмотрим  $P(X) = 1221202$ , у которого  $a_0 = 2$ . Из проведенных исследований [7-9] известно, что в поле  $GF(3)$  формируется период, состоящий из двух полупериодов.

А так как полупериоды инверсны значениями 1 и 2 друг другу, то это свойство необходимо учитывать.

Результирующая формула получения  $i$ -того состояния  $h_i$  при условии, что  $a_0 = 2$  будет такой:

$$h_i = h_1 \otimes_3 S^{i-1+P/2} \mid a_0 = 2.$$

Для  $P(X) \in \text{deg}P(X) = 6$  с  $T_{\max} = 728$  насчитывается 96 полиномов:

1000011 ; 1000021 ; 1001011 ; 1002021 ; 1010211 ; 1010221 ;  
1011021 ; 1011121 ; 1012011 ; 1012111 ; 1020111 ; 1020121 ;  
1021111 ; 1022121 ; 1100001 ; 1101001 ; 1101111 ; 1101211 ;  
1102201 ; 1110121 ; 1110201 ; 1111011 ; 1111111 ; 1111221 ;  
1112221 ; 1120101 ; 1120221 ; 1121011 ; 1121101 ; 1121211 ;  
1122201 ; 1200001 ; 1201201 ; 1202001 ; 1202121 ; 1202221 ;  
1210111 ; 1210201 ; 1211211 ; 1212021 ; 1212121 ; 1212211 ;  
1220101 ; 1220211 ; 1221201 ; 1222021 ; 1222101 ; 1222221 ;  
1000012 ; 1000022 ; 1001012 ; 1002022 ; 1010212 ; 1010222 ;  
1011022 ; 1011122 ; 1012012 ; 1012112 ; 1020112 ; 1020122 ;  
1021112 ; 1022122 ; 1100002 ; 1101002 ; 1101112 ; 1101212 ;  
1102202 ; 1110122 ; 1110202 ; 1111012 ; 1111112 ; 1111222 ;  
1112222 ; 1120102 ; 1120222 ; 1121012 ; 1121102 ; 1121212 ;  
1122202 ; 1200002 ; 1201202 ; 1202002 ; 1202122 ; 1202222 ;  
1210112 ; 1210202 ; 1211212 ; 1212022 ; 1212122 ; 1212212 ;  
1220102 ; 1220212 ; 1221202 ; 1222022 ; 1222102 ; 1222222.

### Выводы

В работе впервые приведено и доказано утверждение о нахождении любого состояния генератора на основе его первого состояния для конечного поля  $GF(3)$  для двух полупериодов цикла генерации.

Приведенные формулы нахождения состояний генератора могут быть использованы при построения схемы генератора без использования обратных связей.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блейхуг Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
2. Ватолин Д., Ракушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2002. – 384 с.
3. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1987. – 288 с
4. Кларк Дж., мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1987. — 392 с.
5. Литиков И. П. Кольцевое тестирование цифровых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.
6. Муттер В. М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
7. Рысований А. Н. Метод генерирования нелинейной псевдослучайной последовательности без использования обратных связей/ А. Н. Рысований // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2018. – №4(50). – С. 144-146.
8. Рысований А. Н. Метод синтеза генераторов в конечном поле  $GF(3)$  с упрощением блоков умножения / А. Н. Рысований // Сучасні інформаційні системи. – Харків: НТУ «ХПИ» – 2018. – Том 2, №3. – С. 76-79.
9. Сорока Л. С., Рысований А. Н., Мороз Б. И. Способ получения псевдослучайной последовательности на основе использования матрицы связей в конечном поле  $GF(3)$  // Патент Украины № u201109344. 2012. Бюл. № 5.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 28.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.11.2018

### Метод синтезу нелінійних генераторів псевдовипадкової послідовності на основі використання першого стану матриці станів в кінцевому полі $GF(3)$

О. М. Рисований

**Предметом** дослідження в даній статті є процес синтезу нелінійних генераторів псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі  $GF(3)$  на основі використання першого стану матриці станів. **Мета** - розробити метод синтезу нелінійних генераторів псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі  $GF(3)$ , заснований на використанні першого стовпчика матриці станів в якості основного елемента генерації. **Завдання**: створення математичного опису нелінійних генераторів псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі  $GF(3)$ , заснований на використанні взаємодії першого стовпчика матриці станів і матриці зв'язків різних ступенів. Задача, що поставлена вирішується за рахунок того, що у відомому способі опису нелінійних генераторів псевдовипадкової послідовності при використанні поліномів, які генерують максимальний період, зв'язки виходів і входів тригерів описуються за допомогою матриці зв'язків. А зрушення попереднього стану на один розряд є операція множення цієї матриці на початковий стан регістра. Отримані наступні **результати**: метод синтезу генераторів в кінцевому полі  $GF(3)$ , заснований на використанні першого, вихідного, стану генератора в якості основного елемента генерації. Наведено математичний апарат опису функціонування регістра зсуву з нелінійними зворотними зв'язками. У роботі показані приклади формування різних ступенів матриці зв'язків, показана роль вільного члена полінома в формуванні перевірконої матриці. **Висновки**: в роботі вперше наведено і доведено твердження про знаходження будь-якого стану генератора на основі його першого стану для кінцевого поля  $GF(3)$  для двох напівперіодів циклу генерації. Наведені формули знаходження станів генератора можуть бути використані при побудові схеми генератора без використання зворотних зв'язків.

**Ключові слова**: Генератор двійкової послідовності, псевдовипадкова послідовність, регістр зсуву.

### Synthesis method of nonlinear generators Pseudocasual sequence based on first use condition of the state matrix in the final field $GF(3)$

A. Rysovanyi

**The subject** of research in this article is the process of synthesis of nonlinear Pseudocasual sequence generators in a finite field  $GF(3)$  based on the use of the first state of the state matrix. The goal is to develop a method for synthesizing nonlinear generators of a Pseudocasual sequence in a finite field  $GF(3)$ , based on using the first column of the state matrix as the main generation element. **Task**: creating a mathematical description of nonlinear Pseudocasual sequence generators in a finite field  $GF(3)$ , based on the interaction of the first column of the state matrix and the matrix of relations of different degrees. The problem is solved due to the fact that in the well-known method of describing nonlinear Pseudocasual sequence generators using polynomials that generate the maximum period, the connections of the outputs and inputs of the triggers are described using a matrix of relations. And the shift of the previous state by one digit is the operation of multiplying this matrix by the initial, initial, state of the register. The following results were obtained: a method for synthesizing generators in a finite field  $GF(3)$ , based on using the first, initial, state of the generator as the main element of generation. The mathematical apparatus for describing the operation of the shift register with nonlinear feedback is given. The paper shows examples of the formation of various degrees of the matrix of relations, shows the role of the free member of a polynomial in the formation of a test matrix. **Conclusions**: in this paper, for the first time, the statement about finding any state of the generator based on its first state for a finite field  $GF(3)$  for two half cycles of the generation cycle is given and proved. The above formulas for finding the states of a generator can be used to construct a generator circuit without using feedback.

**Keywords**: binary sequence generator, pseudo-random sequence, shift register.

Ю. М. Главчева, О. В. Канищева

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ІДЕНТИФИКАЦІЯ ТЕКСТОВОГО ПЛАГІАТУ В АКАДЕМІЧНИХ ДОКУМЕНТАХ

**Метою** статті є аналіз найбільш розповсюджених технологій виявлення текстового плагіату. **Результати.** Про проблему плагіату у академічних документах свідчать дослідження, які проводяться в різних країнах, у тому числі в Україні. Для виявлення плагіату у наш час активно використовуються інформаційні технології. Складність задачі виявлення плагіату обумовлено тим, що існують різні види плагіату. У статті проаналізовано основні види академічного плагіату. Розглянуто найбільш відоме програмне забезпечення, яке дозволяє виявити фрагменти потенційного плагіату. Системи виявлення плагіату в академічних текстах постійно удосконалюються. Але не зважаючи на це, є деякі аспекти цих систем, які потребують доопрацювання або пошуку нових рішень. Основне завдання – створення системи, яка буде з достатнім відсотком вірогідності орієнтовна на виявлення усіх видів плагіату, тобто буде більш універсальною. Досліджено ознаки визначення авторського стилю для визначення плагіату. Проаналізовано два основні підходи до визначення текстового плагіату, визначені основні переваги і недоліки. **Висновок.** Основна увага на даному етапі приділяється пошуку текстового плагіату. Програмні засоби, які працюють на основі пошуку подібностей дають достатньо точні результати, але виділено ряд факторів та обмежень підходу з пошуку подібностей. З цієї причини активно проводяться дослідження інших підходів. Один з них – ідентифікація плагіату на основі авторського стилю написання роботи. Він ще практично не реалізований, але має потенційні можливості використання. Використання ефективних програмних засобів виявлення можливого плагіату сприятиме імплементації принципів академічної доброчесності в цілому, сприятиме підвищенню рівня якості освітнього та наукового процесів як в Україні, так і у всьому світі.

**Ключові слова:** плагіат, авторський стиль, академічний плагіат, самоплагіат, академічна доброчесність.

### Вступ

Академічна доброчесність є однією з основних засад діяльності закладів освіти. Забезпечити імплементацію принципів академічної доброчесності можна шляхом упровадження комплексу заходів. Основні з них: нормативно-правове регулювання, навчання принципам академічної доброчесності, використання програмних засобів для виявлення плагіату. Великі обсяги інформації, доступні в мережі Інтернет, легко можуть бути використані будь-ким у своїх академічних текстах з посиланням на першоджерело. При цьому автори можуть навмисно або ненавмисно не вказати посилання на першоджерело. Програмні засоби допомагають ідентифікувати фрагменти тексту, які вже присутні в інших документах та можуть бути визнані плагіатом.

Проблема плагіату є актуальною для багатьох країн світу. Про проблему плагіату у академічних документах свідчать дослідження, які проводяться в різних країнах, у тому числі в Україні [1, 2].

На базі Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», протягом лютого-травня 2018 року, було проведено опитування [1]. В опитуванні взяли участь 907 респондентів. Відповіді респондентів на питання з анкети «Наскільки поширені серед Ваших однокурсників/колег наступні прояви наступної поведінки?», вказані в табл. 1.

Відсоток недоброчесних практик є значущим не зважаючи на те, що 77,2% опитуваних вказали, що їм відомо про перевірку студентських академічних текстів на плагіат.

Опитування, проведене у 2018 р. серед магістрантів спеціальності «Дошкільна освіта» в Полтавському національному університеті імені Ю. Кондратюка показало, що на питання «Чому студенти не виконують роботи самостійно?», – 78%, респондентів відповіли: «Через вільний доступ їх у INTERNET» [3]. Величезна кількість легко доступних електронних текстів, інформаційні програми та інструменти дозволяють легко і швидко модифікувати інформацію.

Таблиця 1 – Відповіді респондентів на питання: «Наскільки поширені серед Ваших однокурсників/колег наступні прояви наступної поведінки?»

Питання анкети	A, %	B, %	C, %	D, %
Самоплагіат – оприлюднення (частково або повністю) власних раніше опублікованих наукових результатів як нових	13,12	20,29	35,17	31,42
Компіляція – створення значного масиву тексту без поглибленого вивчення проблеми шляхом копіювання тексту	29,66	31,09	28,00	11,25
Парафраза – переказ своїми словами чужих думок, ідей або тексту; сутність парафрази полягає в заміні слів (знаків)	29,17	35,17	26,57	8,49
Представлення суміші власних і запозичених аргументів без належного цитування	27,67	37,82	26,24	8,7
Внесення незначних правок у скопійований матеріал (перепрацювання речень, зміна порядку слів у них тощо) та без належного оформлення цитування	23,48	41,02	27,01	8,49

**Примітка:** А – дуже поширено; В – швидше поширено; С – швидше не поширено; D – взагалі не поширено

Експерту важко визначити можливий плагіат без спеціальних інструментів. Для виявлення плагіату у наш час активно використовуються інформаційні технології. Складність задачі виявлення плагіату обумовлено тим, що існують різні види плагіату. Програмне забезпечення має визначати плагіат будь-якого виду в різних умовах. Саме тому, пошук ефективних підходів до виявлення академічного плагіату є актуальним завданням.

### Академічний плагіат, його види

Визначення поняття «Академічний плагіат» можна знайти у двох типах документів: нормативно-правові документи; публікації науковців та розробників програмних засобів для виявлення плагіату.

У документі [4] вказані такі види академічного плагіату в наукових роботах:

1. Відтворення в тексті наукової роботи без змін, з незначними змінами, або в перекладі тексту іншого автора (інших авторів), Відтворення в тексті наукової роботи без змін, з незначними обсягом від речення і більше, без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту.

2. Відтворення в тексті наукової роботи, повністю або частково, тексту іншого автора (інших авторів) через його перефразування чи довільний

переказ без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту.

3. Відтворення в тексті наукової роботи наведених в іншому джерелі цитат з третіх джерел без вказування, за яким саме безпосереднім джерелом наведена цитата.

4. Відтворення в тексті наукової роботи наведеної в іншому джерелі науково-технічної інформації (крім загальновідомої) без вказування на те, з якого джерела взята ця інформація.

5. Відтворення в тексті наукової роботи оприлюднених творів мистецтва без зазначення авторства цих творів мистецтва.

Неоднозначність поняття «плагіат» також проявляється у визначенні та різноманітті його видів, описаних в дослідницькій літературі [5]. Плагіат може проявлятися у різних формах. Існує два основних типи плагіату: текстовий плагіат, плагіат вихідного коду [5]. Текстовий плагіат зазвичай спостерігається в освіті та наукових дослідженнях. Авторами публікації [5] визначається сім його видів (табл. 2).

Для текстового плагіату можна використовувати програмне забезпечення для обробки природної мови та спеціальні алгоритми для визначення ознак кожного виду плагіату. Окремо треба визначити, що плагіат ідей є зараз невирішеною задачею.

Таблиця 2 – Види плагіату та їх опис

Назва	Опис
Навмисне копіювання (створення клонів)	копіювання інших творів та їх представлення у якості свої власної роботи без посилання на оригінальне джерело
Перефразування	перефразування або мозаїка з різних фраз без посилання на оригінальне джерело
Метафора	використання метафор для представлення іншої ідеї без посилання на оригінальне джерело
Ідея	ідея або рішення запозичені з інших джерел і претендують як власний у дослідницькій роботі
Самоплагіат	у цій формі автор використовує свої попередні публікації
Помилка 404	некоректне використання джерел: неправильних або неіснуючих
Повторення	автор наводить посилання на правильне джерело, але його текст дуже схожий на оригінал

### Програмне забезпечення для виявлення академічного плагіату

Для виявлення можливого плагіату створена значна кількість програмних засобів, найвідоміші з яких: Turnitin, Strike Plagiarism, Unichек, Urkund, Advego Plagiatu, eТХТ, Антиплагіат тощо [6]. Короткі характеристики найбільш відомих і розповсюджених програмних продуктів щодо виявлення у текстах плагіату та запозичень розглядаються у інформаційному огляді [7].

Сервіси для перевірки текстів на унікальність працюють, переважно, за однаковою алгоритмом. Поточні дослідження в області автоматичного виявлення плагіату для текстових документів зосереджені на алгоритмах, які порівнюють досліджувані документи з потенційними оригінальними документами. Вони демонструють високу точність виявлення текстових запозичень за умови, коли оцифрований оригінальний документ присутній у колекції, за якою проводиться перевірка. Усі перелічені програми ґрунтуються на підході, який використовує алгоритм порівняння на подібності. Підхід має обмеження. Він потребує великої бази даних текстів певною

мовою для пошуку подібностей. До кінця не вирішеною є завдання точного порівняння зображень, схем, креслень.

Паралельно ведеться пошук підходів, які не мають вказаних обмежень. Наприклад, пошук плагіату без використання електронної колекції. У роботі [8] автори називають клас завдань виявлення потенційного плагіату лише на основі аналізу стилю письма без використання зовнішніх текстів, класом виявлення внутрішнього плагіату (class intrinsic plagiarism). Таким чином, проблема визначення плагіату без електронної колекції досліджується багатьма дослідниками.

### Порівняння підходів до виявлення плагіату

Визначення авторського стилю при написанні текстів може бути використане при вирішенні великої кількості практичних завдань у різних сферах діяльності: лінгвістичні дослідження, визначення оригінальності тексту, робота служб безпеки, криміналістиці та інше. Порівняємо деякі характеристики двох підходів: пошуку подібностей та визначення авторського стилю написання роботи (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняння деяких характеристик двох підходів

Підхід	пошук подібностей	визначення авторського стилю написання роботи
База даних	формування та зберігання великих колекцій електронних текстів	необхідно декілька оригінальних документів автора
Правовий аспект	система завантажує тексти, що перевіряє	система зберігає формальні показники, які характеризують авторський стиль написання роботи
Обмеження	фрагмент, який скопійовано, відсутній в колекції електронних текстів	відсутній оригінальний текст автора

Опишемо основні відмінності між підходами для виявлення можливого плагіату.

По-перше для пошуку подібностей необхідно мати колекцію електронних видань мовою, за якою проводиться порівняння. Для зберігання колекцій електронних текстів або індексної бази даних необхідно мати достатній власний фізичний простір для зберігання та забезпечувати швидкі комунікації з іншими зовнішніми ресурсами. Наприклад, Turnitin працює порівнюючи академічні тексти студентів з матеріалами, що містяться в його великих базах даних, які включають понад 45 мільярдів веб-сторінок, 130 мільйонів академічних статей і 337 мільйонів студентських робіт (Turnitin, 2014 р.). В основному це англійська мова [9]. У 2017 році Міністерство освіти та науки України прийняло рішення про початок робіт з формування Національного репозитарію академічних текстів. Пункт 3 «Положення про Національний репозитарій академічних текстів» основну мету ресурсу: «Основною метою Національного репозитарію є сприяння розвитку освітньої, наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності шляхом поліпшення доступу до академічних текстів та сприяння академічній доброчесності» [10]. Ресурси Національного репозитарію мають стати допоміжними засобами проведення експертизи академічних текстів на плагіат. А якщо документ, з якого проведено незаконне запозичення не має електронної форми представлення та не представлений в колекції, то пошук плагіату буде неуспішним. Тому ведуться дослідження методів, які будуть менше залежати від складу за розмірів БД для пошуку подібностей.

По-друге, робота, завантажена для перевірки може зберігатися у системі, яка виконує пошук можливого плагіату. Наприклад, за замовчуванням Turnitin зберігає студентські роботи в своїх базах даних. Саме тому, інтелектуальна власність студентів зберігається в програмному забезпеченні Turnitin і це є окремою етичною проблемою. [9].

Інакше, якщо пошук можливого плагіату проводиться на основі методу визначення авторського стилю написання роботи, то для подальшої роботи системі необхідно зберігати формальні показники, що характеризують авторський стиль написання тексту. Ці ж показники розраховуються для будь-якого тексту та порівнюються з еталоном (характеристиками певного автора).

По-третє, стрімко зростає кількість та об'єм електронних текстів за якими необхідно проводити пошук подібностей. Вже зараз перевірка може зайняти від декількох хвилин до годин. Для збереження такої швидкості при проведенні перевірки необхідно підтримувати робочі характеристики системи

у відповідному стані. Підвищуються вимоги і до клієнтських робочих місць. У порівнянні з цим розрахунок показників та порівняння показників є менш ресурс ємким процесом.

Дослідження письмового стилю автора документу проводять за основними стилістичними ознаками, за якими можна визначити характеристики тексту [11]: лексичний аналіз; символічний аналіз; синтаксичний аналіз; семантичний аналіз; особливості застосування. Для визначення авторського стилю використовують комбінацію показників за різними стилістичними ознаками. Слід зазначити, що одні й ті ж самі стилістичні ознаки для різних мов демонструють різні відсотки вірогідності авторства. Це зумовлено особливостями певної мови.

Щодо використання стилю письма для визначення плагіату проведено багато досліджень, але створені вченими програмні засоби в основному не доступні для загального використання. За даними розробників, вірогідність правильного визначення програмою автора для текстів англійською складає 85%. Для даного підходу також є завдання, які ще необхідно вирішити: зміна авторського стилю написання з часом; документи з кількома авторами; навмисна зміна стилю написання автором; особливості письмового стилю у текстах різних тематичних напрямів; визначення характеристик лінгвістичного корпусу для проведення досліджень (загальна кількість та об'єм документів у наборі тренувань).

## Висновки

Системи виявлення плагіату в академічних текстах постійно удосконалюються. Але не зважаючи на це, є деякі аспекти цих систем, які потребують доопрацювання або пошуку нових рішень. Основне завдання – створення системи, яка буде з достатнім відсотком вірогідності орієнтовна на виявлення усіх видів плагіату, тобто буде більш універсальною [12].

Основна увага на даному етапі приділяється пошуку текстового плагіату. Програмні засоби, які працюють на основі пошуку подібностей демонструють достатньо точні результати. Але прослідковується ряд факторів та обмежень підходу з пошуку подібностей. З цієї причини активно проводяться дослідження інших підходів. Один з них – ідентифікація плагіату на основі авторського стилю написання роботи. Він ще практично не реалізований, але має потенційні можливості використання.

Використання ефективних програмних засобів виявлення можливого плагіату сприятиме імплементації принципів академічної доброчесності в цілому, сприятиме підвищенню рівня якості освітнього та наукового процесів як в Україні, так і у всьому світі.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Академічна доброчесність, результати онлайн-опитування студентів та співробітників КПІ ім. Ігоря Сікорського [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23076/1/Akademichna\\_dobrochnest.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23076/1/Akademichna_dobrochnest.pdf).
2. Епідемія академічного плагіату в цифрах [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://studway.com.ua/plagiat-2>.
3. Вашак О.О. Академічна доброчесність: виклики сучасності / О. О. Вашак, Ю. Гринь Ю. // Академічна доброчесність: виклики сучасності, Республіка Польща, Варшава, 1–13.10.2018). — Варшава, 2018. — С. 93-98.
4. Про Рекомендації щодо запобігання академічному плагіату та його виявлення в наукових роботах [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://osvita.ua/legislation/Vishya\\_osvita/61647](http://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/61647).
5. Chowdhury N. A., Bhattacharyya D. K. Plagiarism: Taxonomy, Tools and Detection Techniques //arXiv preprint arXiv:1801.06323. – 2018.
6. Академічна чесність як основа сталого розвитку університету / Міжнарод. благод. Фонд “Міжнарод. фонд. дослідж. освіт. політики”; за заг. ред. Т. В. Фінікова, А. Є. Артюхова – К.; Таксон, 2016. – 234 с.
7. Програмне забезпечення для перевірки наукових текстів на плагіат : інформаційний огляд / автори-укладачі: А. Р. Вергун, Л. В. Савенкова, С. О. Чуканова ; редколегія: В. С. Пашкова, О. В. Воскобойнікова-Гузєва, Я. Є. Сошинська; Українська бібл. асоціація. – Київ: УБА, 2016. – Електрон. вид. – 1 електрон. опт. диск (CDROM). – 36 с.
8. Eissen, SMZ (Eissen, Sven Meyer zu); Stein, B (Stein, Benno) Intrinsic plagiarism detection Серія книг: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE Том: 3936 Стр.: 565-569 Оpubліковано: 2006
9. Samuel Bruton & Dan Childers (2016) The ethics and politics of policing plagiarism: a qualitative study of faculty views on student plagiarism and Turnitin®, Assessment & Evaluation in Higher Education, 41:2, 316-330, DOI: 10.1080/02602938.2015.1008981
10. ПОЛОЖЕННЯ про Національний репозитарій академічних текстів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/541-2017-п>
11. Stamataios, E. A survey of modern authorship attribution methods [Огляд сучасних авторських методів атрибуції]. Journal of the Association for Information Science and Technology. 2009. 60(3). pp.538-556.
12. Křížková, Š., Tomášková, H., & Gavalec, M. (2016, July). Preference comparison for plagiarism detection systems. In Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2016 IEEE International Conference on (pp. 1760-1767). IEEE.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 17.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Идентификация текстового плагиата в академических документах

Ю. Н. Главчева, О. В. Канищева

**Целью статьи** является анализ наиболее распространенных технологий обнаружения текстового плагиата. **Результаты.** О проблеме плагиата в академических документах показывают исследования, проводимые в различных странах, в том числе в Украине. Для выявления плагиата в наше время активно используются информационные технологии. Сложность задачи выявления плагиата обусловлено тем, что существуют различные виды плагиата. В статье проанализированы основные виды академического плагиата. Рассмотрены наиболее известное программное обеспечение, которое позволяет обнаружить фрагменты потенциального плагиата. Системы обнаружения плагиата в академических текстах постоянно совершенствуются. Несмотря на это, есть некоторые аспекты этих систем, требующих доработки или поиска новых решений. Основная задача – создание системы, которая будет с достаточной вероятностью ориентирована на выявление всех видов плагиата, то есть будет более универсальной. Исследованы признаки определения авторского стиля для определения плагиата. Проанализированы два основных подхода к определению текстового плагиата, определены основные преимущества и недостатки. **Вывод.** Основное внимание на данном этапе уделяется поиску текстового плагиата. Программные средства, которые работают на основе поиска сходств, дают достаточно точные результаты, но выделен ряд факторов и ограничений подхода по поиску сходств. По этой причине активно проводятся исследования других подходов. Один из них – идентификация плагиата на основе авторского стиля написания работы. Он еще практически не реализован, но имеет потенциальные возможности использования. Использование эффективных программных средств выявления возможного плагиата способствует имплементации принципов академической добропорядочности в целом, будет способствовать повышению уровня качества образовательного и научного процессов как в Украине, так и во всем мире.

**Ключевые слова:** плагиат, авторский стиль, академический плагиат, самоплагиат, академическая добродетель.

### Identification of text plagiates in academic documents

Yu. Glavcheva, O. Kanishcheva

**The purpose** of the article is to analyze the most common technologies for detecting text plagiarism. **Results** Research on the problem of plagiarism in academic documents is being conducted in different countries, including Ukraine. Today, information technology is actively used for detecting plagiarism. The complexity of detecting plagiarism is due to the fact that there are different types of plagiarism. The article analyzes the main types of academic plagiarism. The most well-known software, which allows to identify fragments of potential plagiarism, is considered. Plagiarism detection systems in academic texts are constantly being improved. But despite this, there are some aspects of these systems that need to be improved. The main task - the creation of a system, which will identify all typed of plagiarism with a sufficient percentage, and will be more multipurpose. The signs of determining the author's style for determination of plagiarism are investigated. Two main approaches to the definition of text plagiarism are analyzed, the main advantages and disadvantages are defined. **Conclusion.** At this stage, the focus is on finding text plagiarism. Software tools that are based on the search for similarities give fairly accurate results, paid attention to a number of factors and limitations in the search for similarities. For this reason, other approaches are being actively pursued. One of them is the identification of plagiarism based on the author's writing style. It is still practically not implemented, but has potential uses. The use of effective software tools to detect possible plagiarism will contribute to the implementation of the principles of academic integrity, will contribute to increasing the quality of educational and scientific processes both in Ukraine and throughout the world.

**Keywords:** plagiarism, writing style, academic plagiarism, self-plagiarism, academic integrity.

В. О. Гороховатський<sup>1</sup>, С. В. Гадецька<sup>2</sup>, Р. П. Пономаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ Університет банківської справи, Харків, Україна

## СТАТИСТИЧНІ РОЗПОДІЛИ ТА ЛАНЦЮЖКОВЕ ПОДАННЯ ДАНИХ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РЕЛЕВАНТНОСТІ СТРУКТУРНИХ ОПИСІВ ВІЗУАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Предметом** досліджень статті є моделі для встановлення рівня релевантності зображень у просторі розподілів для дескрипторів ключових точок при розпізнаванні візуальних об'єктів у системах комп'ютерного зору. **Метою** є створення методу структурного розпізнавання зображень на підставі впровадження ланцюжкових моделей даних із використанням ймовірнісних розподілів множини дескрипторів. **Завдання:** розроблення математичних та програмних моделей для ефективного за швидкодією аналізу даних при визначенні релевантності структурних описів, вивчення властивостей, атрибутів застосування, значень параметрів цих моделей, оцінювання результативності за наслідками оброблення конкретних зображень. Застосовуваними **методами** є: детектор BRISK для формування дескрипторів ключових точок, апарат інтелектуального аналізу даних, методи побітового оброблення та побудови розподілів бітових даних, апарат метричного визначення релевантності, програмне моделювання. Отримані такі **результати**. Перехід від опису множин дескрипторів до ймовірнісних розподілів фрагментів і зіставлення образів у просторі розподілів забезпечують необхідну результативність розпізнавання. Оброблення та аналіз даних виконується у сотні разів швидше, ніж традиційний підрахунок голосів. Оброблення та аналіз сполучень бітів формує значимі властивості для сукупності елементів опису зі збереженням структури даних і їх уніфікації. Зі збільшенням числа бітів у фрагменті розподілу зростає відстань між зображеннями, що сприяє збільшенню ступеня їх розрізнення. Ланцюговим поданням та застосуванням розподілів створюється новий простір даних, що дає можливість суттєво покращити показники функціонування систем розпізнавання зображень. **Висновки.** Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу структурного розпізнавання зображень на основі впровадження узагальненої ланцюгової структури опису із використанням значень розподілу для фрагментів множини дескрипторів ключових точок, що змістовно відображають властивості зображень об'єктів і забезпечують результативне розпізнавання. Практична значущість – досягнення суттєвого рівня підвищення швидкодії обчислення релевантності, підтвердження результативності запропонованих модифікацій на прикладах зображень, отримання прикладних програмних моделей для дослідження та впровадження методів класифікації в системах комп'ютерного зору.

**Ключові слова:** структурні методи розпізнавання зображень, ключова точка, детектор BRISK, ланцюгове подання, розподіл даних фрагменту, спільний дескриптор, релевантність описів, голосування, манхеттенська метрика, швидкодія визначення релевантності.

### Вступ

Статистичні моделі набули істотного поширення в інтелектуальних методах аналізу даних, в тому числі і при прийнятті класифікаційних рішень у системах комп'ютерного зору [1–4]. Їх ключовою перевагою є використання для класифікації певної узагальненої інформації про властивості класів розпізнаваних об'єктів, що дає змогу результативніше врахувати особливості об'єктів у просторі ознак. Найбільш точно характеристики об'єкту відображаються при середньому використанні розподілів даних [2, 3]. Як правило, дані у комп'ютерному зорі мають багатовимірний ймовірнісний розподіл. Але іноді їх можна подати у вигляді множини розподілів одновимірних величин, що значно спрощує класифікацію та знижує обчислювальні затрати [4].

Методи розпізнавання зображень візуальних об'єктів за множиною ключових точок (КТ) отримали практичне застосування із-за таких важливих властивостей, як інваріантність до геометричних перетворень об'єктів, можливість розпізнавання в умовах часткового подання, стійкість до різноманітних завад [4–6].

Аналіз сигналів шляхом представлення їх як множини фрагментів досить популярний у методах комп'ютерного зору [7–10], так як часто найважли-

віша інформація про образи об'єктів зосереджується у окремих деталях.

Бітова природа дескрипторів КТ у просторі  $B^n$  бінарних векторів ( $n$  – ступінь двійки) дає можливість впровадити подання та аналіз дескриптора як ланцюжка елементів (наприклад, байтів), діапазон значень яких відомий. Це дає змогу здійснювати статистичний аналіз даних з урахуванням внутрішнього змісту наявного дескрипторного опису об'єкту. З точки зору важливості інформації всі елементи рівноцінні, але місце їх розміщення у складі дескриптора фіксоване, тому є можливість аналізувати чи обробляти упорядковані послідовності елементів. Ланцюжкова структура допускає застосування підходів інтелектуального аналізу, заснованих на ймовірнісних оцінках наявних значень даних, щоб прийняти рішення про віднесення об'єкту з описом у вигляді множини дескрипторів до відповідного класу.

Статистичне подання є одним із найбільш популярних інструментів у сучасному інтелектуальному аналізі даних задля виявлення закономірностей чи встановлення системи знань, що містять дані [3, 7–11]. Воно ґрунтується на виявленні у змісті аналізованої інформації таких суттєво значимих характеристик, вартість яких оцінюють параметром частоти зустрічальності як оцінки ймовірності. Навчання та самонавчання в основному теж базуються

на визначенні найчастіше вживаних компонентів аналізованих даних [4-6]. На підставі аналізу скінченного об'єму даних здійснюють апроксимацію ймовірнісного розподілу, що дає змогу розпізнавати їх образи. Важливим аспектом, що досить точно відображає властивості чи характеристики даних, є безпосереднє використання значень розподілів у методах розпізнавання [2].

Один із підходів заснований на використанні таких статистичних характеристик, як математичне очікування, дисперсія, оцінки медіани та ін. Але більш інформативним є все-таки використання безпосередньо самих значень розподілів, як це робиться в методах інтелектуального аналізу. Це дає змогу більш чуттєво врахувати відмінності та особливості значень даних, що відображають властивості розпізнаваних класів.

**Метою статті** є опрацювання методу структурного розпізнавання зображень на підставі впровадження ланцюжкових моделей даних із використанням ймовірнісних розподілів множини дескрипторів, що формують структурний опис.

Задачами дослідження є розроблення математичних та програмних моделей ефективного за швидкістю оброблення даних при обчисленні релевантності структурних описів, вивчення властивостей та атрибутів застосування цих моделей з урахуванням значень їх параметрів, оцінювання ефективності за результатами оброблення конкретних зображень.

### Формування ланцюгової структури дескриптора КТ

Зважаючи на те, що параметр  $n$  розміру аналізованих елементів даних сягає кількох сотень (для дескриптора BRISK  $n = 512$ ), побудова, аналіз, та оброблення такого роду багатовимірних розподілів викликає труднощі для обчислень, доцільно впровадити узагальнюючий статистичний аналіз для сукупностей фрагментів даних, що подаються у вигляді ланцюжка. Одним із варіантів оброблення є розбиття кожного дескриптора КТ розміру  $n$  на  $m \ll n$  непересічних фрагментів, що повністю складають початковий розмір  $n$ .

Розглянемо подання структури дескриптора КТ зображення у вигляді послідовності (ланцюжка) із  $m$  елементів фіксованого розміру (рис. 1).

елемент 1	елемент 2	...	елемент $m$
-----------	-----------	-----	-------------

Рис. 1. Ланцюжкова структура дескриптора даних

Кожний елемент приймає значення із фіксованого діапазону. Наприклад, якщо елемент – 1 біт, то маємо два значення (0, 1), якщо байт – множину значень  $0, \dots, 255$ . Опишемо параметром  $l$  кількість значень (ланок розподілу), що приймає елемент. Дескриптор BRISK [5] із 512 бітів тепер може бути представлений різноманіттям варіантів ланцюжка із  $m = 1, 2, \dots, 512$  елементів. У байтовому поданні значення  $m = 512/8 = 64$ .

Для розпізнаваного візуального об'єкту визначимо його дескрипторний опис у вигляді скінченної

множини  $Z = \{z_v\}_{v=1}^s$ ,  $z_v \in B^n$  із  $s$  бінарних дескрипторів КТ (наприклад, ORB, BRISK). У результаті ланцюжкового подання опис  $Z$  буде мати вид матриці із  $s$  рядків по  $m$  елементів у рядку.

### Статистичне подання множини дескрипторів об'єкта

Постає задача побудувати таке відображення  $Z \rightarrow Q$  із множини бінарних векторів – дескрипторів КТ у множину значень  $Q$  розподілів значно меншої потужності  $w$ , що дають можливість проводити ідентифікацію та розрізнення візуальних об'єктів за їх описом  $Z$ .

Розподіл  $q \in Q$  подамо у вигляді вектора  $q = \{q_1, \dots, q_w\}$  цілих чисел, сума яких дорівнює загальному об'єму  $s$  аналізованих даних опису, тобто

$$\sum_i q_i = s.$$

Для кожного з  $m$  фрагментів на підставі множини  $Z$  побудуємо розподіл  $q = \{q_1, \dots, q_w\}$ , причому величина  $w$  цілком визначається діапазоном значень даних для фрагмента. Наприклад, для дескриптора BRISK при розбитті на байти для  $n = 512$  маємо  $m = 64$ ,  $w = 256$ .

Повністю множина  $Z$  буде описана системою розподілів

$$Q = \{q^v = (q_1, \dots, q_w)^v\}_{v=1}^m$$

для кожного із  $m$  фрагментів.

Розглянемо приклад аналізу множини  $Z$  за змістом окремих байтів: для кожного з  $m$  байтів з фіксованим розміщенням у складі дескриптора підрахуємо кількість  $q_i$  входження його фіксованого значення  $i$  до загального змісту із  $s$  даних,  $q_i \leq s$ . Значення  $p = q_i / s$  є частотою (оцінкою ймовірності) його появи у множині  $Z$ .

Як результат аналізу за байтами маємо табл. 1 цілих чисел  $q_i$ , що містить частотні оцінки для різноманіття можливих значень байта, причому загальна сума величин  $q_i$  дорівнює  $s$ :  $\sum_i q_i = s$ .

Таблиця 1 – Розподіл значень байту за описом  $Z$

0	1	2	...	254	255
$q_0$	$q_1$	$q_2$	...	$q_{254}$	$q_{255}$

У другому рядку табл. 1 маємо характеристики розподілу всіх можливих значень байта на підставі розгляду конкретної множини КТ, що складає опис  $Z$ . Рядок відображає характеристики ймовірнісної структури опису у розрізі байтового подання.

Загалом на підставі множини  $Z$  отримуємо матрицю даних  $Q = \{q_{vw}\}$  із 256 рядків,  $k = 0, \dots, 255$ , та  $m$  стовпців. Матриця  $Q$  містить оцінки ймовірностей щодо появи конкретних значень у фрагментах розміром в байт для множини  $Z$ . Зауважимо, що при аналізі ланцюжків у формі бітів достатньо

використовувати тільки одну із ланок розподілу замість двох.

Наявність умови  $\sum_i q_i = s$  дає можливість контролювати вагомість рівня відповідності двох розподілів, так як діапазон їх значень заданий. На цьому факті можна ґрунтувати узагальнену оцінку рівня значимості щодо еквівалентності розподілів.

### Встановлення релевантності описів на підставі значень розподілів

Загальний підхід зводиться до зіставлення усіх наявних значень матриць  $Q = \{q_{vw}\}$ , отриманих у межах опису окремих об'єктів. Матриця  $Q$  відображає статистичні властивості опису як розподіл значень його сегментів.

Релевантність обчислюємо у вигляді відстані між матрицями для різних описів. Визначимо релевантність  $r$  описів  $a$  та  $b$  на підставі зіставлення множини їх розподілів щодо введеної системи фрагментів як манхеттенську відстань між матрицями  $Q(a), Q(b)$  :

$$r[Q(a), Q(b)] = \sum_{v=1}^m \sum_{w=1}^l |q_{vw}(a) - q_{vw}(b)| \quad (1)$$

Зауважимо, що тут є можливість дію додавання за зовнішньою сумою в (1) зупиняти у процесі обчислень, якщо контрольоване значення  $r \geq \delta_r$  перевищить деякий поріг  $\delta_r$ , фіксуючи певну відсутність подібності описів [7]. Важливо, що у виразі (1) обчислення виконуються виключно із використанням цілих чисел, а значення  $r$  у ході обчислень тільки зростає із-за накопичення додатних значень.

Відмітимо, що умова використання тільки цілих значень розподілів ґрунтується на однаковому значенні  $s$  для потужностей описів. Ця умова легко досягається на попередньому етапі формування опису.

Якщо ж із-за якихось вимог прикладних задач це обмежено, то треба перейти до оброблення нормованих даних.

При обчисленні міри (1) можуть бути також застосовані інші схеми логічного аналізу, пов'язані з прийняттям рішення по заданому числу  $\delta_m$  суттєво подібних розподілів фрагментів. Наприклад, якщо число схожих фрагментів уже перевищує значення  $\delta_m$ , то описи визнаються релевантними [7]. При цьому аналогічно моделям зіставлення дескрипторів КТ [4, 6] необхідно також ввести поріг  $\delta_q$  для визнання еквівалентності двох розподілів. Зважаючи на те, що у мірах типу (1) застосовуються виключно цілі числа, такі пороги також приймають цілі значення та можуть бути адаптовані до бази розпізнаваних зображень.

Метрика (1) реалізує порівняння розподілів, а не їх параметрів чи характеристик. Це найбільш точніше зіставлення із використанням повної інформації, що націлене на виявлення навіть незначних відмінностей у описах. Кількість  $l$  ланок розподілів

для розміру дескриптора 512 в залежності від числа бітів у фрагменті та від кількості  $m$  фрагментів даних наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Кількість ланок розподілу в залежності від параметрів фрагмента

Кількість бітів фрагмента	1	2	4	8	512
$m$	512	256	128	64	1
$l$	2	4	16	256	$2^{512}$

Зважаючи на те, що при визначенні релевантності описів у побудованому просторі значень розподілів даних загальний обсяг обчислень прямо пропорційний добутку  $m \cdot l$  числа фрагментів та числа ланок, із аналізу значень табл. 2 маємо висновок, що для вирішення цієї задачі з найменшими витратами обчислень треба прагнути до застосування параметрів лівої половини табл. 2. З іншого боку, інформації від розподілів окремих бітів чи їх пар може не вистачити для забезпечення необхідного рівня розрізненості описів, і тоді прийдеться йти на збільшення обсягу обчислень.

Одним із шляхів спрощення аналізу та оброблення ланцюжкових даних є використання значень окремих параметрів побудованих розподілів. Процедура визначення спільного дескриптора (СД) [4, 6] для побудови концентрованого опису зображення на підставі введеного ланцюжкового подання можна базувати, наприклад, на застосуванні найбільш вживаних шаблонів – бінарних масок, узорів, паттернів (а фактично – цілих чисел), що найчастіше зустрічаються у межах опису.

Визначимо максимальне значення у кожному стовпці матриці  $Q$  і сформуємо ланцюжок СД  $d$  як результат зчеплення найбільш вживаних у межах опису байтів

$$d_j = \arg \max_{i=1, \dots, s} q_i, j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$d = d_1 \& d_2 \& \dots \& d_m,$$

а значення  $d_j$  як аргумент величини  $q_i$  отримано для кожного з байтів рядка табл. 1. Таким чином, СД для опису  $Z$  тут має вигляд вектору із  $m$  байтів, що найчастіше зустрічаються у відповідному місці кожного із елементів множини дескрипторів.

У цій спрощеній моделі важливо враховувати лише достатньо вагомі за максимумом величини  $z$  характеристикою значимості

$$q^* = \max_{i=1, \dots, s} q_i,$$

наприклад, за умови  $q^* \geq 0,5$  або  $q^* \geq 0,25$ .

Можна на попередньому етапі проаналізувати і сформуувати список байтів, які для конкретного еталону мають досить високий рівень підтримки  $q^*$  всередині опису. Решту байтів виключаємо з аналізу. У випадку, коли аналіз здійснюється за окремими бітами (замість байтів), то перевірка значимості

процедурою (2) реалізується автоматично, так як у табл. 1 буде лише два стовпці. Обмеження на значення підтримки забезпечує адаптацію створеного СД до аналізованого масиву даних і точніше відтворення його змісту. Визначення релевантності СД для цього способу виконується шляхом обчислення відстані між векторами або з врахуванням елементарного аналізу. Аналіз виду (2) відповідає принципу максимуму апостеріорної ймовірності. Для суттєво різних описів такий аналіз приносить необхідний результат [6].

Подання та аналіз даних у вигляді множини фрагментів отримали значне поширення у теорії комп'ютерного зору [7, 8]. Воно забезпечує можливість прийняття рішень за окремими елементами візуальних об'єктів, що важливо у прикладному сенсі. При цьому керування такими характеристиками фрагментної системи, як значення порогів на кількість та подібність фрагментів, покладається на користувача. Зрозуміло, що встановлення оптимального розміру елемента, порогу для визначення еквівалентних за описом елементів, порогу для встановлення значущості опису елемента повинно бути виконано, виходячи із заданої бази зображень, в межах якої виконується розпізнавання.

Ланцюжкове подання розкриває шлях для побудови множини моделей класифікації на підставі системи фрагментів [10]. Кожний з  $m$  різних «маленьких» еталонів незалежно голосує за відповідний клас. Так вводиться структура всередині системи дескрипторів, де окремі частини підтримують або не підтримують запропоноване рішення.

Оброблення множини дескрипторів у запропонованій схемі оброблення може бути виконане в інших варіантах аналізу груп байтів, наприклад, пар, трійок, а також окремих бітів. Не виключений також і спосіб створення покриття дескриптора, тобто з урахуванням можливого перетину змісту аналізованих елементарних структур даних.

### Результати комп'ютерних експериментів

Нами проведено програмне моделювання розроблених методів мовою C# у середовищі Visual Studio 2017 із використанням засобів бібліотеки Open CV [12]. Формування дескрипторів BRISK, побудова розподілів ланцюжкового подання з параметрами 1-го та 2-х бітів, а також визначення СД здійснювалося на зображеннях ікон розміром 400x540 (рис. 2).

Кількість 700 дескрипторів КТ вибрано однаковим для зображень. Релевантність описів обчислювалась як відстань (1) між розподілами, як відстань Хемінга між побудованими бінарними СД та як нормоване число голосів еквівалентних значень дескрипторів КТ. Міра подібності за голосуванням (підрахунок подібних дескрипторів з порогом еквівалентності 20% від максимуму відстані) для двох різних ікон склала 0,12 (максимум – 1), в той час як нормована до числа КТ відстань Хемінга для їх СД, побудованих за системою фрагментів, дорівнює 0,068 (мінімум 0).



Рис. 2. Зображення ікони «Казанська Богоматір»

Приклади розподілів значень описів у вигляді множин дескрипторів КТ для окремих бітів та пар бітів наведені у табл. 3, 4.

Таблиця 3 – Кількість нулів у бітовому розподілі для перших 8-ми бітів

Біт.№	1	2	3	4	5	6	7	8
Ікона 1	489	490	314	449	209	183	347	136
Ікона 2	506	484	277	438	206	194	358	140

Таблиця 4 – Приклади розподілів для пар бітів

№	Ланки для ікони 1				Ланки для ікони 2			
	000	001	110	111	000	001	110	111
11	468	21	22	189	459	47	25	169
22	213	101	236	150	175	102	263	160
33	139	70	44	447	144	62	50	444
44	77	270	59	294	80	278	60	282
55	86	36	106	472	87	41	50	522
66	72	213	50	365	74	203	61	362
77	91	39	93	477	92	28	45	535
88	139	113	149	299	96	116	161	327

Як можна побачити із цих таблиць, розподіли для двох ікон достатньо відрізняються, що підкреслює результативність запропонованого методу в аспекті якості розрізнення. Відстань (1) уже для 8-ми бітового фрагмента опису із табл. 3 складає величину 200, максимум відстані при цьому дорівнює  $1400 \times 8 = 11200$ .

Сумарна відстань досягла 43653 (6,1% від досяжного максимуму). Відстань (1) для першої пари ланок розподілу табл. 4 дорівнює 58, для другої пари – 76, для третьої – 22. Загальна відстань при цьому складає величину 30822 (8,6% від досяжного максимуму). Зважаючи на те, що мінімальне значення (1) при цьому дорівнює нулю, можна вказати на наявні чіткі позитивні властивості розподілів щодо розрізнення описів. Це ж саме відноситься і до відстані між побудованими СД обох досліджуваних зображень.

Зуважимо також, що зі збільшенням кількості бітів у сформованому розподілі зростає у відсотковому відношенні і відстань між зображеннями ікон, що сприяє збільшенню ступеня їх розрізнення. Цей факт спостерігався при різному числі дескрипторів у аналізованих описах. У той же час зі зменшенням числа КТ у описах відстань у просторі розподілів теж зростає.

Аналіз обчислювальних витрат для розроблених моделей аналізу даних показав, що час обчислення для модифікацій на базі розподілів у порівнянні з традиційним голосуванням зменшився приблизно у 1000 разів. Конкретно значення склали 8 мсек для побітового аналізу і 11 мсек для аналізу пар бітів, в той час як для голосування знадобилося майже 11 сек. При цьому виграш у швидкодії зростає пропорційно числу використовуваних КТ. Моделі аналізу за одним та парою бітів дають приблизно однакові показники швидкодії, але зрозуміло, що зі зростанням числа ланок розподілу час обчислень дещо збільшується.

Загалом, розроблені методи забезпечують значно вищу швидкодію функціонування системи розпізнавання.

## Висновки

Перехід від множин дескрипторів КТ до ймовірнісних розподілів для фрагментів цих дескрипторів і зіставлення образів у просторі розподілів забезпечують необхідну результативність розпізнавання.

Таке оброблення виконується значно швидше, ніж традиційний підрахунок голосів КТ.

Оброблення за аналізом значень бітів чи їх сполучень формує значимі властивості для сукупності елементів опису, а послідовне об'єднання їх у новий вектор зберігає вихідну структуру даних та їх уніфікацію. Найбільш детальний аналіз зводиться до побітового.

Зі збільшенням кількості бітів у фрагменті сформованого розподілу зростає у відсотковому відношенні і відстань між зображеннями, що сприяє покращенню якості їх розрізнення.

Ланцюговим поданням та застосуванням розподілів даних створюється новий простір для аналізу даних, що суттєво покращує показники функціонування систем розпізнавання зображень.

Практичні рекомендації із проведеного дослідження полягають у застосуванні одно-бітового аналізу як оптимального з точки зору швидкодії обчислень.

Якщо показників достовірності розпізнавання при цьому не досягнуто, виникає необхідність оброблення та аналізу пар чи груп бітів.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу структурного розпізнавання зображень на основі впровадження ланцюгової структури опису із використанням значень розподілу для фрагментів множини дескрипторів ключових точок, що змістовно відображають властивості зображень об'єктів.

Практична значущість роботи – досягнення суттєвого рівня підвищення швидкодії обчислення релевантності, підтвердження результативності запропонованих модифікацій на прикладах зображень, отримання прикладних програмних моделей для дослідження та впровадження методів класифікації в системах комп'ютерного зору.

Перспективи дослідження можуть бути пов'язані із визначенням оптимальних параметрів фрагментації даних задля забезпечення потрібного рівня результативності системи розпізнавання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – London: Springer, 2010. – 979 p.
2. Gadetska S.V. Statistical Measures for Computation of the Image Relevance of Visual Objects in the Structural Image Classification Methods / S.V. Gadetska, V.O. Gorokhovatsky // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018, Vol. 77 (12), pp. 1041–1053.
3. Han, J. Data Mining: Concepts and Techniques / J. Han, M. Kamber. – Amsterdam e.a.: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. – 754 p.
4. Gorokhovatskyi V.A. Image Classification Methods in the Space of Descriptions in the Form of a Set of the Key Point Descriptors / V.A. Gorokhovatskyi // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018, 77 (9), pp. 787–797.
5. Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Y. Siegwart. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints. – Computer Vision (ICCV), pp. 2548 – 2555, 2011.
6. Гороховатський В.О. Застосування апарату аналізу та оброблення бітових даних у методах класифікації зображень за множиною ключових точок / В.О. Гороховатський, К. Г. Солодченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – №2 (48). – С. 63–67.
7. Баклицкий В.К. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации/ В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарев, М.П. Мусьяков. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.
8. Пуятин Е.П. Обработка изображений в робототехнике / Е.П. Пуятин, С.И. Аверин. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
9. R.O. Duda, P.E. Hart and D.G. Stork, "Pattern classification", Wiley, 2008, 738 p.
10. Гороховатский В.А. Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении: монография / В.А. Гороховатский. – Х.: Компания СМІТ, 2014. – 316с.



11. Zamula and S. Kavun, Complex systems modeling with intelligent control elements, Int. J. Model. Simul. Sci. Comput. 08(01), 1750009 (2017). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S179396231750009X>
12. OpenCV Open Source Computer Vision. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.opencv.org/master/index.html>

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є. П. Путятін,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків  
Received (Надійшла) 17.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Статистические распределения и цепное представление данных при определении релевантности структурных описаний визуальных объектов

В. А. Гороховатский, С. В. Гадецкая, Р. П. Пономаренко

**Предметом** исследования статьи являются модели для установления уровня релевантности изображений в пространстве распределений для дескрипторов ключевых точек при распознавании визуальных объектов в системах компьютерного зрения. **Целью** является создание метода структурного распознавания изображений на основании внедрения цепных моделей данных с использованием вероятностных распределений множества дескрипторов. **Задачи:** разработка математических и программных моделей эффективного по быстродействию анализа данных при определении релевантности структурных описаний, изучение свойств, атрибутов применения, значений параметров этих моделей, оценивание эффективности по результатам обработки конкретных изображений. Применяемыми методами являются: детектор BRISK для формирования дескрипторов ключевых точек, интеллектуальный анализ данных, методы побитовой обработки и построения распределений битовых данных, аппарат метрического определения релевантности, программное моделирование. Получены следующие **результаты**. Переход от описания множеств дескрипторов к вероятностным распределениям фрагментов и сопоставление образов в пространстве распределений обеспечивают необходимую результативность распознавания. Обработка и анализ данных выполняются в сотни раз быстрее, чем традиционный подсчет голосов точек. Обработка и анализ сочетаний битов формирует значимые свойства для совокупности элементов описания с сохранением структуры данных и их унификации. С увеличением числа битов во фрагменте распределения растет расстояние между изображениями, что способствует увеличению степени их различия. Цепным представлением и применением распределений создается новое пространство данных, что позволяет существенно улучшить показатели функционирования систем распознавания изображений. **Выводы.** Научная новизна исследования заключается в усовершенствовании метода структурного распознавания изображений на основе внедрения обобщенной цепной структуры описания с использованием значений вероятностного распределения для фрагментов множества дескрипторов ключевых точек, которые содержательно отражают свойства изображений объектов и обеспечивают результативное распознавание. Практическая значимость – достижение существенного уровня повышения быстродействия вычисления релевантности, подтверждение результативности предложенных модификаций на примерах изображений, получение прикладных программных моделей для исследования и внедрения методов классификации в системах компьютерного зрения.

**Ключевые слова:** структурные методы распознавания изображений, ключевая точка, детектор BRISK, цепное представление, распределение данных фрагмента, общий дескриптор, релевантность описаний, голосование, манхэттенская метрика, быстродействие определения релевантности.

### Statistical distributions and chain representation of data when determining the relevance of structural descriptions of visual objects

V. Gorokhovatskyi, S. Gadetska, R. Ponomarenko

**The subjects** of the paper are the models for estimation of the relevance between images in the space of key point descriptors when recognizing visual objects in computer vision systems. **The goal** is to create an image structural recognition method based on the implementation of chain data models using probability distributions of the sets of descriptors. **The tasks** include the development of mathematical and software models of efficient data analysis for determining the relevance of structural descriptions, investigation of the properties, application attributes, values of parameters of these models, evaluation of the effectiveness of the specific image processing. **The methods** are used: a BRISK detector for forming the key point descriptors, data mining, methods of bitwise processing and building bit-data distributions, a method of metric relevance estimation, software modeling. The following **results** were obtained. The transition from the sets of descriptors to probability distributions of fragments and the comparison of images in the space of distributions provide the necessary recognition performance. Data processing and analysis are performed hundreds of times faster than traditional vote counting. Processing and analysis of bit combinations forms significant properties for a set of description elements with keeping the data structure and their unification. With an increase of the number of bits in the distribution fragment, the distance between images increases and it contributes to an increase of their difference degree. The chain representation and the use of distributions create a new data space, which allows to improve the performance of image recognition systems significantly. **Conclusions.** The contribution of the paper is the improvement of the structural image recognition method with the introduction of a generalized chain description structure using the distribution values for fragments of the set of key point descriptors, which meaningfully reflect the properties of image objects and provide effective recognition. The practical significance of the paper is the achievement of an increase of image relevance calculation speed, confirmation of the effectiveness of proposed modifications on sample images, obtaining of an application software models for research and implementation of classification methods in computer vision systems.

**Keywords:** structural image recognition methods, key point, BRISK detector, chain representation, fragment data distribution, general descriptor, descriptive relevance, voting, Manhattan metric, speed of relevancy estimation.



А. І. Горошко, М. І. Демиденко

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ПО ВИМІРЮВАННЮ ЗОРОВОЇ ВТОМИ ЛЮДИНИ

**Метою роботи** є створення програмно-апаратного комплексу по визначенню функціонального стану та втомлюваності людини **Предмет дослідження:** програмно-апаратний комплекс по визначенню зорової втомлюваності людини. У статті розглядається новий програмно-апаратний комплекс по визначенню втомлюваності людини, який забезпечує високу точність та гнучкість проведення діагностичної операції по визначенню зорової втоми людини, характеризується зручністю та простотою у своєму користуванні, має можливість дистанційно змінювати частотно-імпульсну та кольорово-світлову характеристику, складається з простої електронно-компонентної бази. **Наукова новизна і теоретичне значення:** в основу корисної моделі закладений принцип створення програмно-апаратного комплексу по визначенню зорової втоми на основі показників критичної частоти злиття миготінь, який має можливість дистанційно змінювати частотно-імпульсну та кольорово-світлову характеристику, складається з простої електронно-компонентної бази. **Практичне значення.** Заявлена корисна модель може бути використана в сфері безпеки життєдіяльності людини, виробничій санітарії, зокрема в системі визначення рівня втомлюваності програмістів, операторів персональних комп'ютерів, диспансерних спостережень за станом зору школярів, студентів. **Висновки:** 1. Залучення мікроконтролерної техніки з бездротовими інтерфейсом дає змогу суттєвим чином спростити компонентну базу електронної частини розробленого комплексу та розширити функціонал засобу діагностики втомлюваності людини. 2. Залучення мобільних smart-засобів сприяє запровадженню дистанційного способу контролю та плавності регулювання ключових параметрів процесу діагностування. 3. Точність вимірювання збільшилась на 67% порівняно з попередньою моделлю. 4. Запропоноване програмне забезпечення робить дану процедуру доступною та легкою для більшості операторів-діагностів. Запропонований комплекс по визначенню зорової втоми людини пройшов випробування і рекомендований до промислового впровадження. Заявлене технічне рішення може бути використано в області безпеки життєдіяльності, виробничій санітарії, зокрема в системі визначення рівня втомлюваності програмістів, операторів персональних комп'ютерів, диспансерних спостережень за станом зору школярів, студентів, спортсменів.

**Ключові слова:** програмно-апаратний комплекс, електронно-компонентна база, програмний продукт, частота пульсацій, миготіння.

### Актуальність роботи

Становлення сучасного суспільства відзначається стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій. Вони являються невід'ємною частиною всієї структури суспільства. Стійкість його буття починає визначатися в значній мірі стабільністю функціонування цих технологій. Їх дія породжує знаковий для сучасності ефект - віртуалізацію соціальних відносин, яка відбувається на тлі глобалізації. Інтеграція всього людства в єдину суперсистему здійснюється з активним використанням інформаційно-комунікаційних технологій. Вони служать умовою формування глобальної інформаційної цивілізації. Незважаючи на те, що технологічні форми супроводжують людину протягом усіх етапів її еволюції, предметом спеціального теоретичного дослідження вони стали порівняно недавно. З позиції соціально-філософського дискурсу, феномен технології найбільш концептуально почали розглядати з середини ХХ століття. Конструктивне розуміння технології дає діяльно-комунікаційний підхід, що орієнтується на момент взаємодії людини і технології. Саме цей підхід дозволяє розглядати в єдності виникаючі соціотехнологічні системи, оскільки охоплює домінуючий в їх діяльній початок, що виступає в формі комунікації[1,2]. Опираючись на вказану концепцію взаємодії технології та людини, активно розвивається наука про здоров'я людини при динамічному розвитку науково-технічного прогресу. Здоров'я кожної людини визначається став-

ленням зовнішніх і внутрішніх впливів на її організм [3, 4]. За останні роки в Україні відбулося значне якісне погіршення здоров'я молоді [5]. Автоматизація навчального процесу вищих учбових закладів України безпосередньо пов'язана з впровадженням комп'ютерних систем[6]. Обсяг інформації зростає стрімкими темпами. На цьому етапі розвитку суспільства проблема збереження і цілеспрямованого формування здоров'я молоді виключно значима і актуальна, оскільки безпосередньо пов'язана з проблемою безпеки та незалежності. Поки критерієм здоров'я служить певний рівень функціонального стану, що є характеристикою його резервних можливостей і якості їх регулювання. Актуальність вивчення визначається тим, що його оцінка пов'язана не тільки з працездатністю людини, але і з такими фізіологічними поняттями, як стомлення, перевтома і відновлення організму.

Відомі численні роботи в області діагностики функціонального стану, а також значна кількість патентів і авторських свідоцтв, що говорить про великий інтерес до цієї проблеми. Вирішенню завдань визначення функціонального стану присвячені роботи вчених Баєвського Р. М., Берсеневої А. П., Будченко Л. Л., Гаркав Л. Х., Годика М. А., Раєвської Н. Д., Данько Ю. І., Дембо А. І., Дібнер Р. Д., Забеліна С. І., Іванівського Ю. А., Ігнат'єва В. Р., Йорданської Х. А., Карпмана В. Д., Красновой А. Ф., Крячко І. А., Кузнецової Т. І., Логунова С. П., Мошкова В. П., Муравйова А. В., Протасова А. І., Ступніікого Ю. А та багатьох інших. У вітчизняній і

зарубіжній літературі розглядається велика кількість методів визначення функціонального стану і втоми людини, однак недостатньо вивчені процеси адаптації до навантаження з урахуванням індивідуальних особливостей конкретного організму, відсутній простий і наочний інструментальний метод прийняття рішення про момент настання втоми і перевтоми. Актуальна проблема методу інтегральної оцінки функціонального стану, простого у використанні і комфортного для досліджуваного. Аналіз літературних джерел показав, що таким методом можна назвати метод критичної частоти злиття миготінь (КЧЗМ). У зв'язку з вибором для визначення функціонального стану методу КЧЗМ актуальною залишається і розробка пристроїв обчислювальної техніки для вимірювання КЧЗМ, що забезпечують необхідну точність і достовірність вимірювань.

**Метою роботи** є створення програмно-апаратного комплексу по визначенню втомлюваності людини, який би забезпечував високу точність та гнучкість проведення діагностичної операції по визначенню функціонального стану людини, характеризувався б зручністю та простотою у своєму користуванні, мав можливість дистанційно змінювати частотно-імпульсну та кольорово-світлову характеристику, складався з простої електронно-компонентної бази.

Поставлені такі **завдання** для досягнення мети:

1. Вивчити вплив здоров'язберігаючих технологій на загальний стан молоді.
2. Проаналізувати статистичні дані причин виникнення зорової втоми, та її наслідків.
3. Вивчити принципи дії уже існуючих пристроїв для вимірювання КЧЗМ.
4. Розробити та ввести у експлуатацію індивідуальний програмно-апаратний комплекс для вимірювання зорової втоми.

**Об'єкт дослідження:** сучасні пристрої та програмні комплекси для вимірювання КЧЗМ. **Предмет дослідження:** програмно-апаратний комплекс по визначенню зорової втомлюваності людини.

**Матеріал дослідження:** наукові дослідження вчених, матеріали конференцій, анкетні дані студентів. Хронологічні рамки дослідження охоплюють період від початку вивчення автором втоми та розробки приладу "Фотоспектр - 1" (2011 рік) [10, 11] до створення нового програмно-апаратного комплексу (2018 рік).

Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених завдань застосовувалися такі **методи дослідження**, зокрема:

- 1) проблемно-хронологічний – для встановлення хронології наукового вивчення перевтоми;
- 2) соціологічні - вивчення медико-соціальних аспектів поширення патологічних зрушень з боку вегетативної нервової системи серед молоді;
- 3) аналітичний – для визначення наукових орієнтирів застосування засобів радіоелектроніки та мікроелектроніки у вимірюванні КЧЗМ;
- 4) метод термінологічного аналізу, який дозволив забезпечити розкриття сутності досліджуваних явищ;

- 5) Метод наукової екстраполяції, що дозволив визначити можливості створення і застосування пристрою як оптимального синтезу теоретичних та практичних знань;
6. Методи багатовимірної статистичного аналізу та прогнозування – для обробки даних.

**Наукова новизна і теоретичне значення:** в основу корисної моделі закладений принцип створення програмно-апаратного комплексу по визначенню зорової втоми на основі показників критичної частоти злиття миготінь, який має можливість дистанційно змінювати частотно-імпульсну та кольорово-світлову характеристику, складається з простої електронно-компонентної бази.

**Практичне значення.** Заявлена корисна модель може бути використана в сфері безпеки життєдіяльності людини, виробничої санітарії, зокрема в системі визначення рівня втомлюваності програмістів, операторів персональних комп'ютерів, диспансерних спостережень за станом зору школярів, студентів.

Перш ніж приступити до рішення поставлених перед собою завдань, був складений **план** нашого науково-експериментального **дослідження**: 1. За літературними джерелами вивчити вплив навчального навантаження на зорову втому молоді; 2. Проаналізувати статистичні дані з цього питання у Полтавській області за останні 5 років; 3. Вивчити елементну базу уже існуючих на даний момент приладів для вимірювання КЧЗМ; 4. Створити програмно-апаратний комплекс для вимірювання КЧЗМ і ввести його в експлуатацію.

**Особистий внесок автора.** Безпосередньо автором цієї наукової роботи був сконструйований програмно-апаратний комплекс для вимірювання КЧЗМ, а також обґрунтована теоретична і практична його доцільність.

В основу роботи комплексу поставлена можливість сприйняття людським оком пульсуючого видимого світлового випромінювання: при низькій частоті пульсацій око сприймає серію світлових спалахів, а при великій частоті сигнал сприймається як рівне світіння. Регулюванням частоти пульсацій встановлюється граничне значення, за яким око перестає розрізняти миготіння. Значення показань змінюється в одного й того ж піддослідного протягом дня через стомлення зорової системи, що призводить до зниження результату на декілька одиниць.

Поставлена мета вирішується тим, що в програмно-апаратному комплексі, до складу якого входить блок живлення, світловипромінювач з дискретними джерелами видимого світла зі сталими довжинами хвиль та інтенсивністю електромагнітного випромінювання, міститься мікроконтролерний засіб з вбудованим апаратно-програмним багатоканальним генератором дискретних електричних імпульсів, під'єднаний до мікроконтролерного засобу бездротовий модуль інтерфейсного зв'язку типу Bluetooth, що забезпечує комунікацію з мобільним smart-засобом, де здійснюється у спеціальній програмній оболонці задання режиму роботи світловипромінювача комплексу, змінюючи його частотну та кольо-

ро-світлову характеристику, при цьому сам світло-випромінювач виконаний у вигляді однокорпусного багатокристального світлодіоду з трьома напівпровідниковими випромінювачами червоного, зеленого та синьо-блакитного кольорів.

В якості основи апаратної частини обрано платформу Arduino, це умовлено простотою апаратної реалізації та великою кількістю додаткових модулів. Блоки апаратної частини вказано на рис. 1.

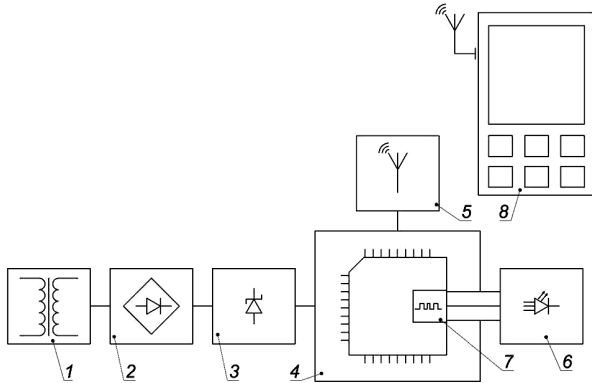


Рис. 1. Схема апаратної частини:

1 - понижуючий трансформатор; 2 - діодний мост; 3 - інтегральний стабілізатор напруги постійного струму; 4 - мікроконтролерний засіб; 5 - модуль бездротового інтерфейсного зв'язку типу Bluetooth; 6 - світловипромінювач виконаний у вигляді однокорпусного багатокристального світлодіоду з трьома напівпровідниковими випромінювачами червоного, зеленого та синьо-блакитного кольорів; 7 - апаратно-програмний багатоканальний генератор дискретних електричних імпульсів; 8 - smart-засіб

Робота програмної частини зображена у вигляді UML діаграм на рис. 2, 3. Програмна реалізація виконана для платформи Android. В подальшому планується реалізація програмного забезпечення для інших платформ.

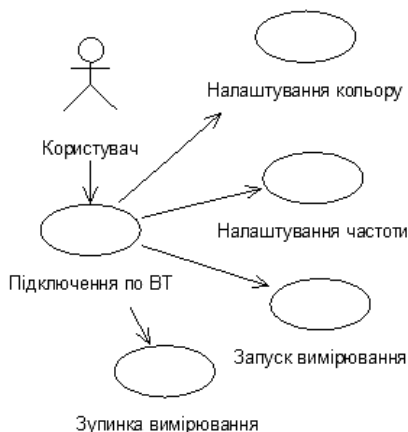


Рис. 2. Діаграма прецедентів програмної частини

Програмно-апаратний комплекс по визначенню втомлюваності людини працює наступним чином, методика роботи на програмно-апаратному комплексі захищена Патентом України [7, 8].

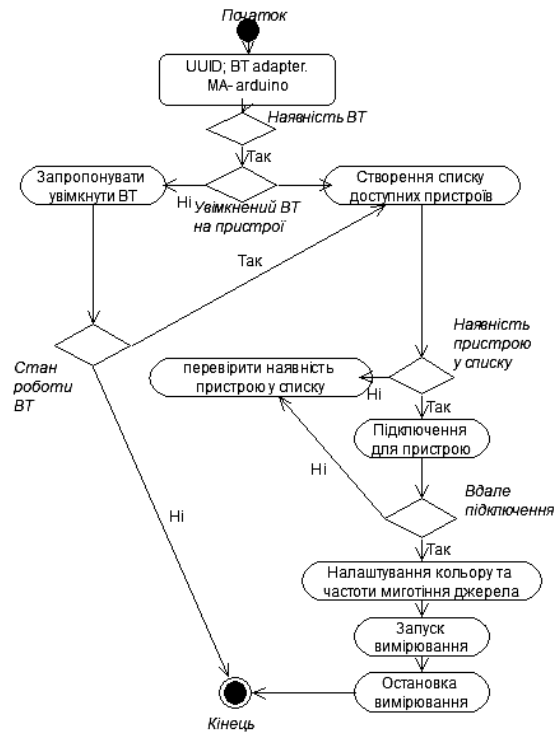


Рис. 3. Діаграма активності та стану

Вимірювання комплексом критичної частоти злиття миготіння виконуються в такій послідовності. На першому етапі вимірювань підслідному пред'являють світлові миготіння з наростаючою частотою до моменту визначення надпорогового значення. На другому етапі вимірювань підслідному пред'являють світлові миготіння, які зменшуються до визначеного ним надпорогового значення. На третьому етапі вимірювань підслідному пред'являють світлові миготіння з частотою, що дорівнює середньому арифметичному значень частот, зафіксованих ним на перших двох етапах вимірювань підслідний шляхом послідовного дискретного збільшення або зменшення частоти світлових миготінь визначається дійсне значення. Дослідження показали, що середня величина критичної частоти зорового миготіння у здорових дітей віком від 5 до 15 років коливається в межах 45...55Гц. Поріг сприйняття миготіння нижче 26...37Гц свідчить про патологію або про наявність перевтоми організму. Значення можуть змінюватися в людини протягом дня і стомлення зорової частини призводить до падіння на кілька одиниць, що і вказує на функціональний стан організму в цілому.

Програмно-апаратний комплекс по визначенню втомлюваності людини в такому виконанні вигідно відрізняється від відомих, оскільки зменшує похибку обумовлену впливом суб'єктивних і об'єктивних факторів і розширює функціональні можливості та сферу використання. Співставленні можливості і проаналізовані недоліки використовуваних методів визначення функціонального стану і втоми людини. Для діагностики окремих систем організму людини використовується комплекс методів визначення їх стану, як інтегральної оцінки функціонального стану людини використовуються КЧСМ, час сенсомоторної реакції, температура і електропровідність

шкіри і інші параметри, які будуть закладені нами у наступний програмно-апаратний комплекс по визначенню функціонального стану людини.

### Висновки

1. Залучення мікроконтролерної техніки з бездротовими інтерфейсом дає змогу суттєвим чином спростити компонентну базу електронної частини розробленого комплексу та розширити функціонал засобу діагностики втомлюваності людини.

2. Залучення мобільних smart-засобів сприяє запровадженню дистанційного способу контролю та плавності регулювання ключових параметрів процесу діагностування

3. Точність вимірювання збільшилась на 67% порівняно з попередньою моделлю.

4. Запропоноване програмне забезпечення робить дану процедуру доступною та легкою для більшості операторів-діагностів.

Запропонований комплекс по визначенню зорової втоми людини пройшов випробування і рекомендований до промислового впровадження. Заявлене технічне рішення може бути використано в області безпеки життєдіяльності, виробничій санітарії, зокрема в системі визначення рівня втомлюваності програмістів, операторів персональних комп'ютерів, диспансерних спостережень за станом зору школярів, студентів, спортсменів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бочкова Н.Л. Використання фізичних вправ в оптимізації розумової працездатності / Н.Л. Бочкова // Наука и технологии: шаг в будущее: межд. научн.-практ. конф., 27.02.2012–05.03.2012 г.: тезиси докл. – Praha: Publishing House "Education and Science"s.r.o., 2012. – С. 83–85.
2. Горошко А.І. Проблеми втоми сучасної молоді / А.І. Горошко, В.І. Горошко // Экология плюс. - 2011. - №5. - С. 6-13.
3. Ахмерова Н.М. Особистісно-діяльнісний підхід до контекстного навчання соціального педагога / Н.М. Ахмерова // Педагогіка. - 2003. – № 5. – С. 55-60.
4. Бочарова В.Г. Соціальна педагогіка: діалог науки і практики / В.Г. Бочарова // Педагогіка. - 2003. – № 9. – С. 3-8.
5. Зверева І.Д. Соціально-педагогічна робота з дітьми та молоддю в Україні: теорія і практика. / І.Д. Зверева. - К.: Правда Ярославичів, 1998. — 394 с.
6. Постанова Верховної Ради України від 3 лютого 2011 року N 2992-VI: Про Рекомендації парламентських слухань про становище молоді в Україні "Молодь за здоровий спосіб життя" // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – N 24. – С. 17
7. Пат. 70981 Україна, МПК А61N5/00. Спосіб визначення втомлюваності людини / Горошко І.А., Прасолов Є.Я., Горошко А.І., Прасолов А.А., Бочарова Я.А.; власники Горошко І.А., Прасолов Є.Я. - N2012 00421; заявл. 16.01.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл.№12
8. Пат. 70982 Україна, МПК А61N5/00. Прилад для визначення втомлюваності людини / Горошко І.А., Прасолов Є.Я., Горошко А.І., Прасолов А.А., Бочарова Я.А.; власники Горошко І.А., Прасолов Є.Я. - N2012 00421; заявл. 16.01.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл.№12
9. Кузнєцова О. Технологія кількісної оцінки рівня здоров'я та розумової працездатності студентів / О. Кузнєцова // Молода спортивна наука України: зб. наук. праць в галузі фізичної культури та спорту. –Л.: НВФ "Українські технології", 2005. – Вип. 9. – Т. 4. – 132с.
10. Лебединець Н. Гігієнічна оцінка шкільної тривожності учнів як показника психологічної атмосфери навчального середовища / Н. Лебединець. - К.: Рідна школа, 2007. – № 9. – 59с.
11. Мешко Г. М., Мешко О. І. Емоційне благополуччя учнів у сучасній школі: бажане і реальне / Г. М. Мешко, О. І. Мешко. // Практична психологія та соціальна робота, 2008. – № 4. – С. 11-16.
12. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2012-2021 роки / Уряд. Порт . [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/publish/articlearid7=245571411>

### REFERENCES

1. Bochkova N.L. Vikorbstannya fizichnih vprav v optimizacii rozumovoi pracezdatnosti [Use of physical exercises to optimize mental performance] Science and Technology: A Step into the Future: Inter. scientific-practical Conf., February 27, 2012, March 3, 2012: thesis doc. - Prague: Publishing House "Education and Science" s.r.o., 2012. - P. 83-85.
2. Goroshko A.I. Problemi vtomi suchasnoi molodi [Problems of fatigue of modern youth] Ecology plus. - 2011. - №5. - P. 6-13.
3. Ahmerova N.M. Osobistisno-diyalnisniy pidhid do kontekstnogo navchannya socialnogo pedagoga [Personality-activity approach to contextual education of a social pedagogue] Pedagogy. - 2003. - No. 5. - P. 55-60.
4. Bocharova V.G. Socialna pedagogika: dialog nauki i praktiki [ Social pedagogy: a dialogue of science and practice] Pedagogy. - 2003. - No. 9. - P. 3-8.
5. Zvereva I.D. Socialno-pedagogichna robota z ditmi ta molody v Ukraini: teoriya I praktika [Socio-pedagogical work with children and youth in Ukraine: theory and practice.] Pravda Yaroslavichiv, 1998. - 394 p.
6. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated February 3, 2011 N 2992-VI: On the Recommendations of the Parliamentary Hearings on the Situation of Youth in Ukraine "Youth for a Healthy Lifestyle" // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. - 2011. - N 24. - P. 17.
7. Pat. 70981 Ukraine, IPC A61N5 / 00. Method of determination of human tiredness / Goroshko I.A., Prasolov E.Ya., Goroshko A.I., Prasolov AA, Bocharova Ya.A. ; owners Goroshko IA, Prasolov Ye.Ya. - N2012 00421; stated. 16/01/2012; has published 25.06.2012, Bulletin No.12.
8. Pat. 70982 Ukraine, IPC A61N5 / 00. Device for determining fatigue of a person / Goroshko IA, Prasolov Ye.Ya., Goroshko A.I., Prasolov AA, Bocharova Ya.A. ; owners Goroshko IA, Prasolov Ye.Ya. - N2012 00421; stated. 16/01/2012; has published 25.06.2012, Bulletin No.12.



9. Kuznecova O Tehnologija kilkisnoi ocinki rivna zdorovya ta rozumovoi pracedzatnosti studentiv [Technology of quantitative assessment of the level of health and mental ability of students] Young sports science of Ukraine: Sb. sciences works in the field of physical culture and sports. -L.: NPF "Ukrainian Technologies", 2005. - Vip. 9. - T. 4. - 132 s.
10. Lebedinec N Gigienichna ocinka shkilnoi trivozhnosti uchniv yak pokaznika psihologichnoi atmosferi navchalnogo sere-dovischa [Hygienic assessment of school anxiety of students as an indicator of the psychological atmosphere of the learning environment] K.: Native school, 2007. - No. 9. - 59 s.
11. Meshko G.M., Meshko O.S. Emociyne blagopolucha uchniv u suchasniy shkoli: bahzane i realne [Емоційне благополуччя учнів у сучасній школі: бажане і реальне] Practical Psychology and Social Work, 2008. - No. 4. - P. 11-16.
12. The National Strategy for the Development of Education in Ukraine for 2012-2021 / Government. The port [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.kmu.gov.ua/control/publish/articlearid7=245571411>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 10.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.11.2018

### Програмно-аппаратный комплекс для измерения зрительной утомляемости человека

А. И. Горошко, М. И. Демиденко

**Целью работы** является создание программно-аппаратного комплекса по определению функционального состояния и усталости человека. **Предмет исследования:** программно-аппаратный комплекс по определению зрительной утомляемости человека. В статье рассматривается новый программно-аппаратный комплекс по определению утомляемости человека, который обеспечивает высокую точность и гибкость проведения диагностической операции по определению зрительной усталости человека, характеризуется удобством и простотой в своем использовании, имеет возможность дистанционно менять частотно-импульсную и цвето-световую характеристику, состоит с простой электронно-компонентной базы. **Научная новизна и теоретическое значение:** в основу изобретения заложен принцип создания программно-аппаратного комплекса по определению зрительной усталости на основе показателей критической частоты слияния миганий, который имеет возможность дистанционно менять частотно-импульсную и цвето-световую характеристику, состоит из простой электронно-компонентной базы. **Практическое значение.** Заявленная полезная модель может быть использована в сфере безопасности жизнедеятельности человека, производственной санитарии, в частности в системе определения уровня утомляемости программистов, операторов персональных компьютеров, диспансерных наблюдений за состоянием зрения школьников, студентов. Выводы: 1. Привлечение микроконтроллерной техники с беспроводными интерфейсом позволяет существенным образом упростить компонентную базу электронной части разработанного комплекса и расширить функционал средства диагностики утомляемости человека. 2. Привлечение мобильных smart-средств способствует внедрению дистанционного способа контроля и плавности регулирования ключевых параметров процесса диагностирования. 3. Точность измерения увеличилась на 67% по сравнению с предыдущей моделью. 4. Предложенное программное обеспечение делает данную процедуру доступной и легкой для большинства операторов-диагностов. Предложенный комплекс по определению зрительной усталости человека прошел испытания и рекомендован к промышленному внедрению. Заявленное техническое решение может быть использовано в области безопасности жизнедеятельности, производственной санитарии, в частности в системе определения уровня утомляемости программистов, операторов персональных компьютеров, диспансерных наблюдений за состоянием зрения школьников, студентов, спортсменов.

**Ключевые слова:** программно-аппаратный комплекс, электронно-компонентная база, программный продукт, частота пульсаций, мигания.

### Software-hardware system for measurement the excitation of human humanity

A. Goroshko, M. Demydenko

**The purpose of the work** is to create a software-hardware system to determine the person's functional state and fatigue. **The subject of the study** is a software-hardware complex to determine human visual fatigue. The article discusses a new software-hardware complex for the determination of human fatigue, which provides high accuracy and flexibility for carrying out a diagnostic operation to determine human visual fatigue. This complex is characterized by convenience and simplicity in its use, has the ability to remotely change the frequency-impulse and color-light characteristics, and consists of a simple electronic component base. **Scientific novelty and theoretical significance:** the basis of the useful model is the principle of creating a software and hardware complex for determining visual fatigue based on the indicators of the critical frequency fusion flashing, which has the ability to remotely change the frequency pulse and color-light characteristics, consists of a simple electronic component base. **Practical meaning.** The declared useful model can be used in the field of human life safety, industrial sanitation, in particular, in determining the level of fatigue of programmers, operators of personal computers, dispensary observations from the viewpoint of schoolchildren, students. **Conclusions and findings:** 1. The involvement of microcontroller technology with a wireless interface allows us to significantly simplify the component base of the electronic part of the developed complex and expand the functionality of the tool for human fatigue diagnosis. 2. The involvement of mobile smart-tools contributes to the implementation of a remote control method and smoothness of the regulation of key parameters of the diagnostic process. 3. Accuracy measurement increased by 67% compared with the previous model. 4. The proposed software makes this procedure accessible and easy for most diagnostic operators. The proposed complex for visual fatigue determination of a person has been tested and is recommended for industrial implementation. The declared technical solution can be used in the field of life safety, industrial sanitation, in particular, in the system for determining the level of fatigue of programmers, operators of personal computers, dispensary observation of the state of vision of schoolchildren, students, athletes.

**Keywords:** software and hardware complex, electron-component basis, software product, frequency of pulsations, flashing.

Д. С. Гребенюк

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ У СЕРЕДОВИЩАХ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ

Існуючі в хмарних обчислювальних середовищах підходи до початкового виділення і подальшого розподілу ресурсів можна розділити на 3 типи: ручне призначення ресурсів, планування ресурсів диспетчером хмарного обчислювального середовища і планування ресурсів середовищем віртуалізації. Хмарні обчислювальні середовища мають особливості, які створюють специфіку розподілу ресурсів в такому середовищі. Деякі елементи цієї проблематики є спільними з проблемами систем віртуалізації, а деякі мають особливості, характерні для хмарних обчислювальних середовищ. У середовищах віртуалізації проблема планування та оптимізації використання ресурсів вирішується двома способами: перерозподіл ресурсів адміністратором середовища віртуалізації вручну; автоматичне планування ресурсів з використанням методів розподіленого виділення ресурсів DRS (Distributed Resource Scheduling) і розподіленого управління енергоспоживанням DPM (Distributed Power Management). У різних середовищах віртуалізації DRS і DPM працюють по-різному, однак початкова логіка роботи зберігається. **Предметом** статті є дослідження проблематики розподілення ресурсів у середовищах віртуалізації та у хмарних обчислювальних середовищах. **Метою** є оцінка існуючих методів розподілення ресурсів у віртуальних середовищах, виявлення їх відповідності до обов'язкових характеристик хмарних обчислень. **Завдання:** проаналізувати існуючі методи розподілення ресурсів у середовищах віртуалізації та хмарних обчислювальних середовищах, визначити їх переваги і недоліки. За **результатами** порівняльного аналізу можна зробити висновок, що методи, які найчастіше застосовуються в хмарних обчислювальних середовищах, дуже примітивні, і завдання розподілу ресурсів в хмарному середовищі може бути більш ефективно вирішено тими ж методами, що використовуються в середовищах віртуалізації. **Висновки.** Недоліком кожного з проаналізованих методів є те, що потреби застосунків, які працюють всередині екземплярів, враховуються тільки в контексті необхідних обсягів процесорного ресурсу, оперативної пам'яті і наявності вільного дискового простору. При цьому не враховується специфіка роботи застосунків, а також те, як з цим застосунком будуть розділяти ресурси вже розгорнуті на тих же хостах екземпляри. Таким чином, не завжди має місце вибір оптимального хоста / ресурсу зберігання для розміщення екземпляру, що призводить до істотного зниження продуктивності застосунків і ефективності використання «хмарного» ресурсу.

**Ключові слова:** розподілення ресурсів; середовища віртуалізації; хмарні обчислювальні середовища; DRS; DPM.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На теперішній час все більшу популярність здобувають хмарні обчислення. Модель «все як сервіс» є однією з основних світових тенденцій розвитку інформаційних технологій.

Як відомо, існує багато визначень поняття «хмарні обчислення». Найбільш поширеним є наступне: хмарні обчислення - це можливість надання обчислювального ресурсу через Інтернет [1]. Національним інститутом стандартів і технологій США зафіксовані такі обов'язкові характеристики хмарних обчислень:

- *Самообслуговування на вимогу.* Споживач самостійно визначає і змінює обчислювальні потреби, такі як серверний час, швидкість доступу та обробки даних, обсяг збережених даних, без взаємодії з представником постачальника послуг;

- *Універсальний доступ по мережі.* Послуги доступні споживачам через мережу передачі даних незалежно від використовуюваного термінального пристрою;

- *Об'єднання ресурсів.* Постачальник послуг об'єднує ресурси для обслуговування великого числа споживачів в єдиний пул для динамічного перерозподілу потужностей між споживачами в умовах постійної зміни запитів на потужності; при цьому споживачі контролюють тільки основні параметри послуги (наприклад, обсяг даних, швидкість доступу), а фактичний розподіл ресурсів, що надаються

споживачеві, здійснює постачальник (в деяких випадках споживачі все-таки можуть керувати деякими фізичними параметрами перерозподілу, наприклад, вказувати бажаний центр обробки даних з міркувань географічної близькості);

- *Еластичність.* Послуги можуть бути надані, розширені, звужені в будь-який момент часу, без додаткових витрат на взаємодію з постачальником, як правило, в автоматичному режимі;

- *Облік споживання.* Постачальник послуг автоматично обчислює спожиті ресурси на певному рівні абстракції (наприклад, обсяг збережених даних, пропускна здатність, кількість користувачів, кількість транзакцій) і на основі цих даних оцінює обсяг наданих споживачам послуг [2].

Інфраструктура як сервіс (Infrastructure-as-a-Service, IaaS) надається як можливість використання хмарної інфраструктури для самостійного управління ресурсами обробки, зберігання, мережами та іншими фундаментальними обчислювальними ресурсами, наприклад, споживач може встановлювати і запускати будь-яке програмне забезпечення, що може включати в себе операційні системи, платформи і прикладне програмне забезпечення. Споживач може контролювати операційні системи, віртуальні системи зберігання даних і встановлені програми, а також обмежений контроль набору доступних сервісів (наприклад, міжмережевий екран, DNS). Контроль і управління основною фізичною і віртуальною інфраструктурою хмарного обчислювально-

го середовища, в тому числі мережі, серверів, типів використовуваних операційних систем, систем зберігання здійснюється хмарним провайдером [1].

Застосунки в контексті моделі IaaS виконуються в межах так званих екземплярів - віртуальних або фізичних серверів, що надаються як сервіс.

Для екземпляра характерна наявність параметрів, що визначають їх функціонування:

- набір активних застосунків;
- характер і інтенсивність навантаження (до чого чутливі програми: швидкість цілочисельних обчислень, операцій з плаваючою точкою, швидкість довільного доступу до диска, швидкість послідовного читання / запису і т.п.).

### Особливості розподілу ресурсів у хмарних обчислювальних середовищах

Існуючі в хмарних обчислювальних середовищах підходи до початкового виділення і подальшого розподілу ресурсів можна розділити на 3 типи: ручне призначення ресурсів, планування ресурсів диспетчером хмарного обчислювального середовища і планування ресурсів середовищем віртуалізації.

Специфіка розподілу ресурсів в хмарних обчислювальних середовищах «Інфраструктура як сервіс» бере свій початок в основних ідеях, які закладені в цій моделі хмарного сервісу [3]. Зокрема, це:

1. Відсутність у адміністратора інформації про реальні потреби застосунків, які перебувають всередині екземплярів (найчастіше - віртуальних машин);
2. Відсутність у адміністратора можливості ручного призначення ресурсів екземплярів.

Таким чином, хмарні обчислювальні середовища мають особливості, які створюють специфіку розподілу ресурсів в такому середовищі. Деякі елементи цієї проблематики є спільними з проблемами систем віртуалізації, а деякі мають особливості, характерні для хмарних обчислювальних середовищ [4]. На процес розподілу ресурсів в хмарному середовищі впливають такі чинники:

- *різні класи обладнання і поєднання ресурсів.* Однією з основних ідей створення хмарних обчислювальних середовищ є економія коштів на їх створення і розширення. Очевидно, що в складі хмарного обчислювального середовища можуть використовуватися різні класи обладнання - сервери з різною кількістю процесорів, системи зберігання даних з різною продуктивністю, мережеве обладнання з різною пропускну здатністю і т.д.;

- *нерівномірне навантаження кожного з ресурсів.* Процес функціонування хмарного обчислювального середовища передбачає мінімальне втручання адміністратора для підтримки його працездатності. Задля зниження часу, що витрачається адміністратором на обслуговування хмарного обчислювального середовища, і забезпечення його найбільш ефективної роботи, при розподілі ресурсів варто враховувати не лише ємність, а й поточне фактичне навантаження на кожен елемент інфраструктури - це стосується не тільки процесорного часу і оперативної пам'яті, а й багатьох інших параметрів, таких як відгук дискових ресурсів, мережеві затримки і т.п.;

- *відсутність відомостей про реальні потреби застосунків в ресурсах.* Адміністратор хмарного обчислювального середовища не знає, які програми і з якими потребами функціонують усередині екземпляра. Тому необхідний метод, який би без участі людини визначав, на яких ресурсах буде краще функціонувати та чи інша програма, не створюючи проблем для інших застосунків;

- *різні потреби застосунків до ресурсів.* В рамках двох примірників зі схожими або зовсім однаковими параметрами (кількість процесорних ядер, об'єм оперативної пам'яті, диск) можуть перебувати два абсолютно різних за потребами застосунки. Наприклад, в рамках примірника з 4-ма процесорними ядрами і 16 Гб оперативної пам'яті може перебувати як веб-застосунок, що буде використовувати 3-5% процесорного часу і не давати великого навантаження на диск, так і високонавантажена база даних CRM-системи, яка буде навантажена на 80% і мати величезні потреби в дисковому ресурсі. Визначення класу, до якого належить застосунок, суперечить ідеї хмарного обчислювального середовища і призводить до неефективного використання ресурсів, оскільки реальні потреби в них невідомі;

- *невідповідність запитаних ресурсів до споживаних.* Найчастіше рекомендації з виділення ресурсів для інформаційних систем робляться з великим запасом і не відповідають фактичним потребам застосунків та їх складових. В ході експлуатації хмарних обчислювальних середовищ, як правило, мається мета максимально ефективного використання наявних в рамках середовища обчислювальних ресурсів, і конфігурація обчислювального середовища повинна враховувати, що, наприклад, із запитаних 256 Гб оперативної пам'яті фактично може використовуватися не більше 10 Гб. Якщо тарифікація враховує тільки використовувані ресурси, то і постачальник хмарних ресурсів повинен співвідносити це зі своїми витратами;

- *відсутність можливості ручного призначення ресурсів.* Як вже зазначалося вище, в хмарному обчислювальному середовищі не існує методів ручної прив'язки користувачем застосунків до конкретних серверів або систем зберігання даних, тому що це зводить нанівець ідеї, що лежать в основі хмарних обчислень. Адміністратору не відомо, які застосунки знаходяться всередині екземплярів, і він не має можливості ручного розподілення ресурсів ще й тому, що при великій кількості екземплярів це фактично неможливо.

Таким чином, проведений аналіз показав, що хмарні обчислювальні середовища мають ряд характеристик і проблем, не властивих іншим моделям надання ресурсів (рис. 1), що викликає необхідність вдосконалення методів розподілу ресурсів для зазначених середовищ.

### Результати досліджень

Віртуальні середовища є проміжною ланкою між традиційними інфраструктурами (з фізичними серверами) і хмарними обчислювальними середовищами. З одного боку, вони найчастіше мають розмиті межі між адміністратором середовища віртуалізації і



адміністратором застосунків, на відміну від хмарних середовищ, з іншого боку – забезпечують величезну гнучкість у порівнянні з традиційними інфраструктурами за рахунок збільшення щільності застосунків і відсутності прив'язки віртуального сервера до фізичного [5]. Приклади віртуальних середовищ: VMware vCenter, Microsoft System Center Virtual Machine Manager або Red Hat Enterprise Virtualization.

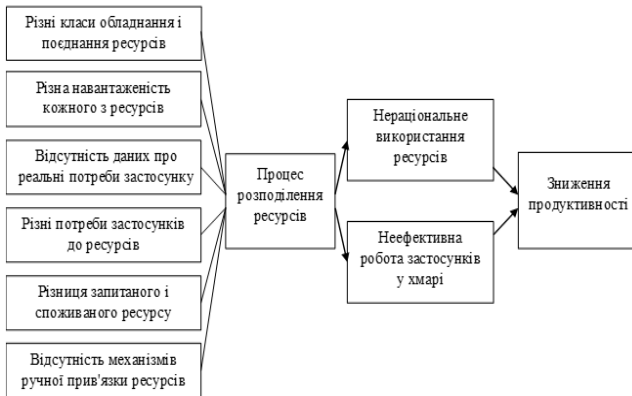


Рис. 1. Проблематика розподілення ресурсів у хмарному обчислювальному середовищі

У середовищах віртуалізації проблема планування та оптимізації використання ресурсів вирішується двома способами [6–11]:

1. Перерозподіл ресурсів адміністратором середовища віртуалізації вручну.

2. Автоматичне планування ресурсів з використанням методів розподіленого виділення ресурсів DRS (Distributed Resource Scheduling) і розподіленого управління енергоспоживанням DPM (Distributed Power Management). У різних середовищах віртуалізації DRS і DPM працюють по-різному, однак початкова логіка роботи зберігається.

#### Метод динамічного розподілення ресурсів.

При запуску віртуальної машини (VM) в кластері метод DRS розміщує її на найменш навантаженому вузлі. Метод DRS також вирішує завдання розподілу робочих навантажень VM по вузлах всередині кластера віртуалізації і відстежує доступні ресурси. Крім того, в залежності від рівня автоматизації, DRS забезпечує максимальну продуктивність, автоматично переносючи віртуальні машини на інші вузли в межах кластера. Алгоритм роботи DRS в загальному випадку складається з набору простих кроків:

1. При запуску віртуальної машини відбувається вибір найменш навантаженого хоста серед тих, які мають достатню кількість вільної оперативної пам'яті;

2. Під час роботи хостів збирається статистика навантаження ЦП на них;

3. Якщо ЦП на одному з вузлів протягом встановленого інтервалу (наприклад, 10 хвилин) навантажений більше певного порогу (наприклад, 80%), приймається рішення про перерозподіл ресурсів;

4. Якщо приймається рішення про перерозподіл ресурсів, метод DRS або переносить більш навантажену VM на більш продуктивний або менш навантажений хост, або переносить інші VM на інші сер-

вери. Приклад роботи методу показано на рис. 2 - в цьому випадку на хості залишається тільки VM, безпосередньо наражена на високе навантаження.

В результаті роботи методу DRS вдається оптимально розподілити навантаження між гіпервізорами віртуального середовища - найменш навантажені віртуальні машини виявляються консолідованими на одних гіпервізорах, а віртуальні машини, що створюють високе навантаження, - на інших гіпервізорах. Це підвищує як пікову продуктивність віртуальних машин, так і ефективність використання ресурсів в середовищі віртуалізації. Однак, метод оцінює лише навантаження на ЦП і не прогнозує зміну навантаження за іншими параметрами (такими як число операцій введення-виведення і завантаженість мережі), і з цієї причини є дуже примітивним і не підходить для застосування в середовищах хмарних обчислень, де адміністратор хмарного обчислювального середовища не в змозі передбачити всі небажані наслідки від перерозподілу ресурсів у такий спосіб.

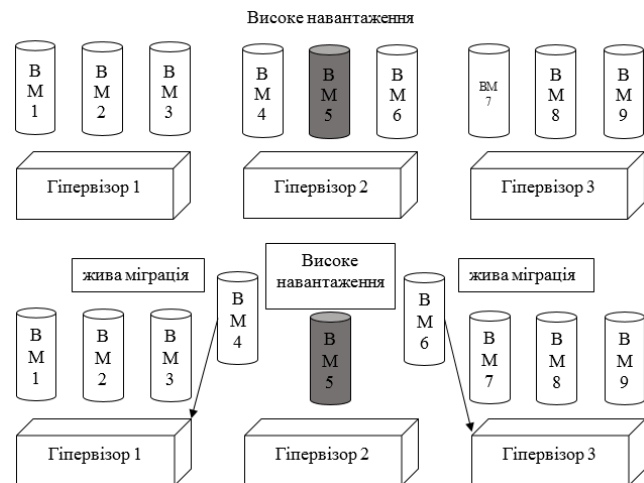


Рис. 2. Розподіл ресурсів на основі методу DRS

#### Метод динамічного управління ресурсами з урахуванням енергоспоживання.

Метод DPM оптимізує енергоспоживання на рівні кластера або вузла. При запуску методу DPM виконується порівняння ресурсів вузла і кластера з потребами віртуальної машини, включаючи попередню статистику потреб, відповідно до чого вузли віртуалізації переводяться в режим очікування (рис. 3). При зростанні потреби в ресурсах метод DPM запускає вільні вузли і підключає до них додаткове робоче навантаження. Алгоритм роботи DPM в загальному випадку виглядає таким чином:

1. При запуску віртуальної машини відбувається вибір найменш навантаженого хоста серед тих, які мають достатню кількість вільної оперативної пам'яті і задіяні в даний момент для інших віртуальних машин.

2. Під час роботи хостів збирається статистика навантаження ЦП на них.

3. Якщо ЦП на одному з вузлів протягом встановленого інтервалу (наприклад, 10 хвилин) навантажений менше певного порогу (наприклад, 10%), приймається рішення про перерозподіл ресурсів.

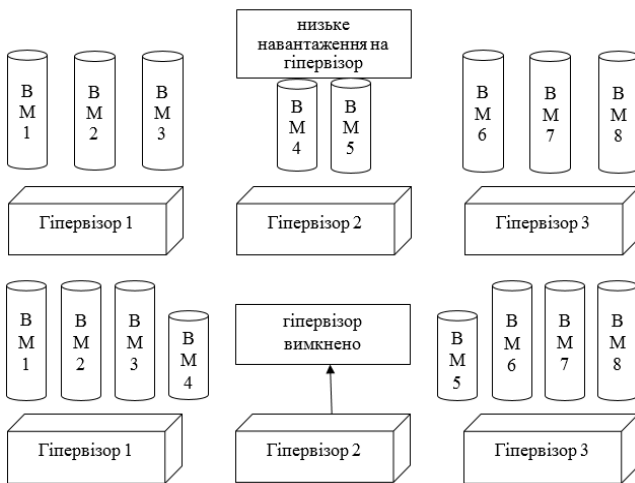


Рис. 3. Розподіл ресурсів на основі методу DPM

4. Якщо приймається рішення про перерозподіл ресурсів, метод DPM переносить VM з малонавантаженого хоста на один з більш навантажених хостів.

5. Звільнений хост позначається як неактивний і вимикається до тих пір, поки він не знадобиться - в цьому випадку він включається за допомогою технології Wake-on-LAN.

У підсумку, метод DPM вирішує завдання зниження енергоспоживання в середовищі віртуалізації, однак не вирішує завдання максимізації ефективного використання наявних ресурсів.

**Аналіз методів розподілення ресурсів в хмарних обчислювальних середовищах на основі моделі IaaS.** За функціоналом, хмарні обчислювальні середовища на основі моделі «Інфраструктура як сервіс» (IaaS) багато в чому схожі на віртуальні середовища, однак є і відмінності. Основним з них є так звана мультитенантність (multitenancy) - підтримка наявності великої кількості власників, які мають набір прав на використання загального пулу ресурсів і можуть використовувати його самостійно в рамках виділених їм потужностей. В платформах віртуалізації такого поняття не існує, і діє традиційна рольова модель управління.

Зазначена модель змінює підхід до вирішення задачі надання ресурсів. У середовищах корпоративної віртуалізації адміністратор виступає як єдиний власник ресурсів, який вирішує завдання розміщення та консолідації систем на рівні апаратної платформи. У хмарних обчислювальних середовищах це неможливо за визначенням.

Аналіз показав, що в хмарних обчислювальних середовищах на основі моделі IaaS виникають проблеми оптимального планування ресурсів як на етапі їх надання, так і під час використання. Ці проблеми неможливо вирішити вручну, як у випадку з віртуалізацією. Причин цьому дві. По-перше, адміністратору хмарної інфраструктури невідомо, якими є потреби застосунків для ефективного їх використання. І, по-друге, наявність «статичності» платформи - відсутність реакції на зміну цих потреб у часі. Тобто, в моделі IaaS не вирішується завдання оптимального перерозподілу обчислювальних ресурсів в хмарному середовищі.

Так, наприклад, одне з найбільш популярних в даний час рішень з управління хмарною інфраструктурою OpenStack, підтримує всього 3 методи виділення ресурсів: випадковий, випадковий в межах зони доступності і простий (виділення ресурсів відбувається по черзі). Що стосується перерозподілу навантаження при його нерівномірності, таких підходів в середовищах хмарних обчислень поки не існує.

**Простий метод розподілення ресурсів.** Простий метод розподілу виділяє ресурси кожного з хостів по черзі, поки вони не закінчаться (рис. 4).

**Метод випадкового розподілення ресурсів.** При випадковому методі розподілу хост для запуску екземпляра вибирається випадковим чином серед хостів, на яких є необхідна кількість ресурсів ЦП і оперативної пам'яті (рис. 5).

Метод розподілу «випадковий в межах зони доступності» працює за тим самим принципом, що і випадковий, однак задіє лише ті хости, які заздалегідь визначені адміністратором хмарного обчислювального середовища як зона доступності для даного екземпляра (рис. 6).

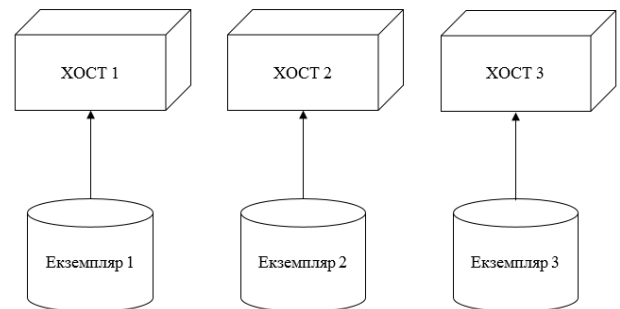


Рис. 4. Простий метод розподілення ресурсів у хмарному обчислювальному середовищі

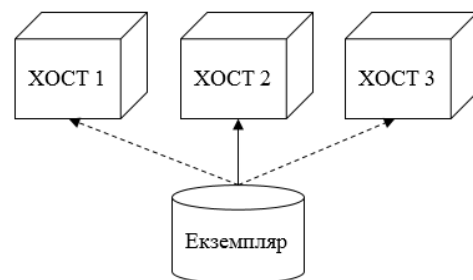


Рис. 5. Випадковий метод розподілення ресурсів у хмарному обчислювальному середовищі

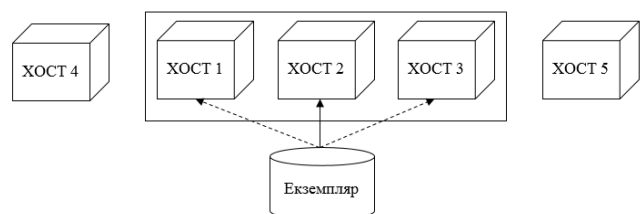


Рис. 6. Випадковий в межах зони доступності метод розподілення ресурсів у хмарному обчислювальному середовищі

Таким чином, порівняльний аналіз показав, що всі три описані методи розподілу ресурсів володіють двома істотними недоліками. Перший полягає в

тому, що під час прийняття рішення про використання того чи іншого ресурсу не проводиться оцінка оптимальності прийнятого рішення. Другий недолік полягає в тому, що ці методи працюють тільки на етапі початкового виділення ресурсів екземпляру.

**Порівняльний аналіз підходів до розподілення ресурсів у віртуальних та хмарних обчислювальних середовищах.** Порівняльний аналіз загальноприйнятих методів розподілення наведено у

табл. 1. За результатами порівняльного аналізу можна зробити висновок, що методи, які найчастіше застосовуються в хмарних обчислювальних середовищах, дуже примітивні, і завдання розподілу ресурсів в хмарному середовищі може бути більш ефективно вирішено тими ж методами, що використовуються в середовищах віртуалізації. Однак хмарні обчислення мають ряд особливостей, які перешкоджають використанню методів DRS і DPM в певних сценаріях.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз підходів до розподілення ресурсів

Параметр	Віртуалізація		Хмарні обчислювальні середовища		
	DRS	DPM	Простий	Випадковий	В межах зони доступності
Збільшення ресурсомісткості	Частково	Частково	-	-	-
Зменшення енергоспоживання	-	Так	-	-	-
Підвищення продуктивності застосунків	Частково	-	-	-	-
Облік кількості ЦП	-	-	-	-	-
Облік кількості ядер ЦП	-	-	-	-	-
Облік тактової частоти ЦП	-	-	-	-	-
Облік навантаження ЦП	Так	Так	-	-	-
Облік об'єму оперативної пам'яті	-	-	-	-	-
Облік використання оперативної пам'яті	Так	Так	Так	Так	Так
Облік навантаження на дискову підсистему	Ні	Ні	-	-	-
Облік відгуку дискової підсистеми	-	-	-	-	-
Облік навантаження на мережу	Ні	Ні	-	-	-
Облік відгуку мережі	-	-	-	-	-
Облік кількості екземплярів, що виконуються	-	-	-	-	-
Можливість перерозподілення ресурсів	Так	Так	Ні	Ні	Ні

Крім того, жоден з розглянутих методів розподілу обчислювальних ресурсів не враховує такі важливі складові, як дискова підсистема і мережа, - фактично, застосунки з підвищеними вимогами до продуктивності диску (бази даних, аналітичні системи) і підвищені вимоги до продуктивності мережі (відеоконференції, інтернет-шлюзи) випадають з логіки розподілу ресурсів. У зв'язку зі специфікою хмарних обчислювальних середовищ, обґрунтовано необхідність враховувати при розподілі ресурсів розширений набір показників, в тому числі ті, що змінюються з часом, серед яких продуктивність, надійність, завантаженість.

## Висновки

Недоліком кожного з перерахованих методів є те, що потреби застосунків, які працюють всередині екземплярів, враховуються тільки в контексті необхідних обсягів процесорного ресурсу, оперативної пам'яті і наявності вільного дискового простору.

При цьому не враховується специфіка роботи застосунків, а також те, як з цим застосунком будуть розділяти ресурси вже розгорнуті на тих же хостах екземпляри. Таким чином, не завжди має місце вибір оптимального хоста / ресурсу зберігання для розміщення екземпляру, що часто призводить до істотного зниження продуктивності застосунків і ефективності використання «хмарного» ресурсу.

Завдання полягає в тому, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження на всі сервери хмарного обчислювального середовища різної продуктивності, надавши при цьому найкращі умови для функціонування програм і в той же час максимально ефективно використання наявних обчислювальних ресурсів. Рішення поставленого завдання дозволить підвищити ефективність використання ресурсів хмарного обчислювального середовища в цілому, підвищити продуктивність застосунків і знизити витрати на інфраструктуру і його супровід.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теленик С. Ф., Ролік А. А., Букасов М. М. Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі. *Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2006. № 44. С. 243–246.
2. Хантимиров Р.И. Интеллектуальное планирование ресурсов в облачных средах на основе модели «Инфраструктура как сервис». *Инновационное развитие российской экономики*. Москва, 2013. С. 507–512.
3. Вишнівський В.В., Василенко В.В., Гринкевич Г.О., Куклов В.М. Імплементация сучасних технологій хмарних обчислень в рамках центрів обробки даних. *Інформаційна безпека*. Северодонецьк, 2016. №3 (23). С. 118–125.
4. Стіренко С.Г., Шаурін, Д.О. Підвищення ефективності роботи ІТ інфраструктури на основі технології віртуалізації. *Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2008. № 49. С. 127–133.
5. vSphere Resource Scheduler & Distributed Power Management – Russia. Режим доступу: <http://www.vmware.com/ru/products/vsphere/features-drs-dpm> (останнє звернення 20.10.2018)
6. Теленик С. Ф., Ролік О. І., Букасов М. М., Лабунський А. Ю. Моделі управління віртуальними машинами при серверній віртуалізації. *Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2009. № 51. С. 147–152.

7. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
8. Коваленко А. А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук, И. В. Рубан // Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности. – 2018. – № 2(4). – С. 12-18. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>.
9. Коваленко А. А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
10. Saranya.S, Murugan.B.S Intelligent Scheduling System for Dynamic Resource Allocation in Cloud Computing. International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology - 2014.
11. Sugang Ma. A Review on Cloud Computing Development. Journal of Networks – 2012. – No. 7(2). - С. 305-310.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 31.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Анализ методов распределения ресурсов в средах виртуализации

Д. С. Гребенюк

Существующие в облачных вычислительных средах подходы к начальному выделению и последующему распределению ресурсов можно разделить на 3 типа: ручное назначение ресурсов, планирование ресурсов диспетчером облачной вычислительной среды и планирование ресурсов средой виртуализации. Облачные вычислительные среды имеют особенности, которые создают специфику распределения ресурсов в такой среде. Некоторые элементы этой проблематики являются общими с проблемами сред виртуализации, а некоторые имеют особенности, характерные для облачных вычислительных сред. В средах виртуализации проблема планирования и оптимизации использования ресурсов решается двумя способами: перераспределение ресурсов администратором среды виртуализации вручную; автоматическое планирование ресурсов с использованием методов распределенного выделения ресурсов DRS (Distributed Resource Scheduling) и распределенного управления энергопотреблением DPM (Distributed Power Management). В различных средах виртуализации DRS и DPM работают по-разному, однако начальная логика работы сохраняется. **Предметом** статьи является исследование проблематики распределения ресурсов в средах виртуализации и в облачных вычислительных средах. **Целью** является оценка существующих методов распределения ресурсов в средах виртуализации, выявления их соответствия обязательным характеристикам облачных вычислений. **Задача:** проанализировать существующие методы распределения ресурсов в средах виртуализации и облачных вычислительных средах, определить их преимущества и недостатки. По **результатам** сравнительного анализа можно сделать вывод, что методы, которые чаще всего применяются в облачных вычислительных средах, очень примитивные, и задача распределения ресурсов в облачной среде может быть более эффективно решена теми же методами, которые используются в средах виртуализации. **Выводы.** Недостатком каждого из проанализированных методов является то, что потребности приложений, работающих внутри экземпляров, учитываются только в контексте необходимых объемов процессорного ресурса, оперативной памяти и наличия свободного дискового пространства. При этом не учитывается специфика работы приложений, а также то, как с этим приложением будут разделять ресурсы уже развернутые на тех же хостах экземпляры. Таким образом, не всегда имеет место выбор оптимального хоста / ресурса хранения для размещения экземпляра, что приводит к существенному снижению производительности приложений и эффективности использования «облачного» ресурса.

**Ключевые слова:** распределение ресурсов; среды виртуализации; облачные вычислительные среды; DRS; DPM.

### Analysis of methods of distribution of resources in the virtualization media

D. Hrebenyuk

Existing cloud computing environments approach to initial allocation and further resources distribution can be divided into 3 types: manual assignment of resources, resource planning by the cloud computing environment manager and resource planning by the virtualization environment. Cloud computing environments have features that create the specifics of resource allocation in such environment. Some elements of this issue are common to virtualization problems, and some have features specific to cloud computing environments. In virtualization environments, the problem of planning and optimizing the resource usage is solved in two ways: resource redistribution by the virtualization manager manually; automated resource planning using Distributed Resource Scheduling (DRS) and Distributed Power Management (DPM). In various virtualization environments, DRS and DPM work differently, but the original logic of work is kept. **The subject** of this article is to study the resource distribution in virtualization environments and in cloud computing environments. **The goal** is to evaluate existing resource distribution methods in virtual environments, to identify their compliance with the mandatory characteristics of cloud computing. **The task:** to analyze existing resource distribution methods in virtualization environments and cloud computing environments, to determine their advantages and disadvantages. According to the **results** of the comparative analysis, it can be concluded that the methods most often used in cloud computing environments are very primitive, and the problem of resource allocation in a cloud environment can be more effectively solved by the same methods, what are used in virtualization environments. **Conclusions.** The disadvantage of each of the methods analyzed is that the needs of applications that run inside instances are counted only in the context of the required amount of processor resources, RAM, and free disk space. This does not take into account the specificity of the applications, and how this application will split the resources with already deployed on the same instance applications. Therefore, it does not always take place the selection of optimal host / storage resource for placing an instance, which leads to a significant reduction in application performance and the effectiveness of using the "cloud" resource.

**Keywords:** resource allocation; virtualization environment; cloud computing environments; DRS; DPM.

Т. А. Дмитренко<sup>1</sup>, Т. Н. Деркач<sup>1</sup>, А. О. Дмитренко<sup>1</sup>, І. А. Івасько<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

<sup>2</sup> Шведсько-українська ІТ-компанія "Beetroot", Полтава, Україна

## РОЗРОБКА МОДУЛЯ УПРАВЛІННЯ НАУКОВОЮ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ КАФЕДРИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «ПОРТАЛ-КАФЕДРА»

Розглянуто актуальне питання побудови системи для управління навчальним закладом в цілому та науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи «Портал-кафедра». Проаналізовано характерні особливості існуючих на даний час ресурсів ВНЗ України. Досліджено можливості проектування та програмної реалізації модуля управління. Визначено функції інформаційної системи, вимоги до контенту й наповнення модуля та системи керування контентом компонування сторінок. Наведено розроблену зручну структуру модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри. Представлено розроблену архітектуру інформаційної інтелектуальної системи, обрано та обґрунтовано використання мови програмування, обрано та обґрунтовано використання системи управління базами даних, розглянуті джерела вихідних даних та варіанти початкового інформаційного наповнення системи та концепція призначення прав доступу та повноваження користувачів та адміністрування. Запропоновано модуль управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи «Портал-кафедра», який дозволить оптимізувати процедуру ведення звітів про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність, знизити витрати на організацію наукової діяльності кафедри за рахунок оптимізації використання всіх ресурсів кафедри, підвищити продуктивність праці персоналу та ефективного управління наданням платних науково-дослідницьких послуг, сприятиме розвитку академічних свобод шляхом забезпечення прозорості діяльності всіх суб'єктів, задіяних в системі. Особлива увага звертається на можливості даного інтелектуального модулю серед яких можна виділити такі, як автоматичне генерування звітів про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність, перевірка тексту на унікальність та можливість включати систему планування дати та часу публікації наукового матеріалу заздалегідь, що дасть можливість автоматичного опублікування статті в указану дату та час.

**Ключові слова:** інформаційна інтелектуальна система управління, інтелектуальний модуль, семантичний аналіз тексту, наукова діяльність кафедри.

### Вступ

**Актуальність роботи.** Сучасна інформатизація суспільства вимагає побудови сучасних інформаційних систем управління різними об'єктами. На даний час актуальним питанням є побудова системи для управління навчальним закладом в цілому та науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи «Портал-кафедра». Цією проблемою займаються університети в Україні та за її межами, але точних аналогів, що відповідали б вимогам поставленого технічного завдання, віднайти не вдалось. Саме тому дане питання набуває ще більшої актуальності [13]. Це пов'язано з стрімким розвитком науки та техніки в цілому та модернізацією національних систем освіти, які вимагають сучасних рішень та впровадження прогресивних моделей, засобів, методів та технологій побудови сучасних інтелектуальних інформаційних систем управління, зокрема управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри [3, 4].

**Постановка задачі.** Задачею даного дослідження було спроектувати та програмно реалізувати модуль управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи «Портал-кафедра».

**Призначення модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри (МУННТДК).** Основним призначенням МУННТДК є створення web-модуля, який матиме функції публікації наукових матеріалів та автоматично згенерованих звітів для кафедри.

**Мета створення модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри.**

Метою МУННТДК є підвищення якості науково-дослідницької діяльності кафедри, забезпечення публікування наукових матеріалів, можливість перевірки тексту на унікальність та генерування автоматичних звітів, що значно полегшить роботу викладача чи наукового співробітника.

**Цільова аудиторія модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри.** Цільова аудиторія: викладачі, наукові співробітники, студенти, абітурієнти, та люди зацікавлені в даній інформації і т.д.

### Матеріал та результати досліджень

**Огляд існуючих інформаційних ресурсів.** Для створення ключових характеристик моделі програмного модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри освіти, був проведений аналіз існуючих сервісів та визначені їх особливості та недоліки [6, 7].

Наведемо декілька з розглянутих сайтів:

1. Сайт Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого «Наукова бібліотека». Містять статті опубліковані у форматі pdf (рис. 1, доступ: <http://library.nlu.edu.ua/>).

2. Сайт Львівського торговельно-економічного університету «Інформація про наукову діяльність Університету». Вся інформація представлена у вигляді окремих статей, у яких описано наукову діяльність за кожен рік (рис. 2) (Режим доступу: <http://www.lute.lviv.ua/education/nauk/zvit/>).



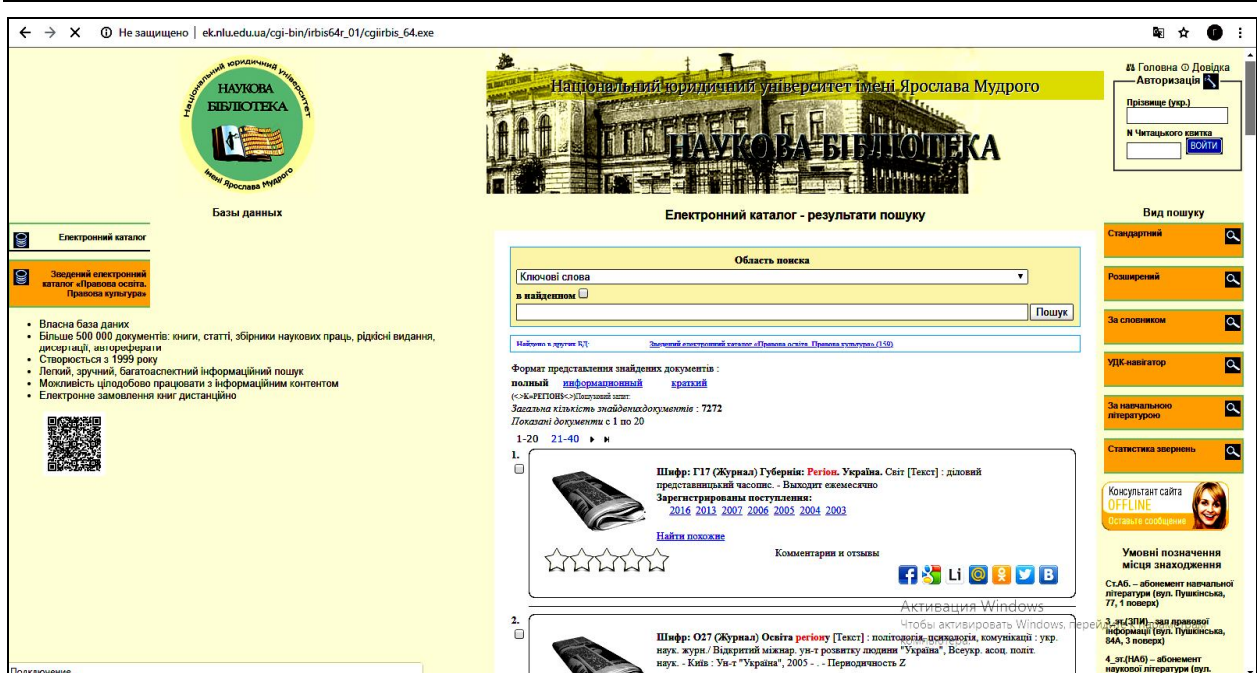


Рис. 1. Сторінка “Наукова бібліотека” сайту Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого

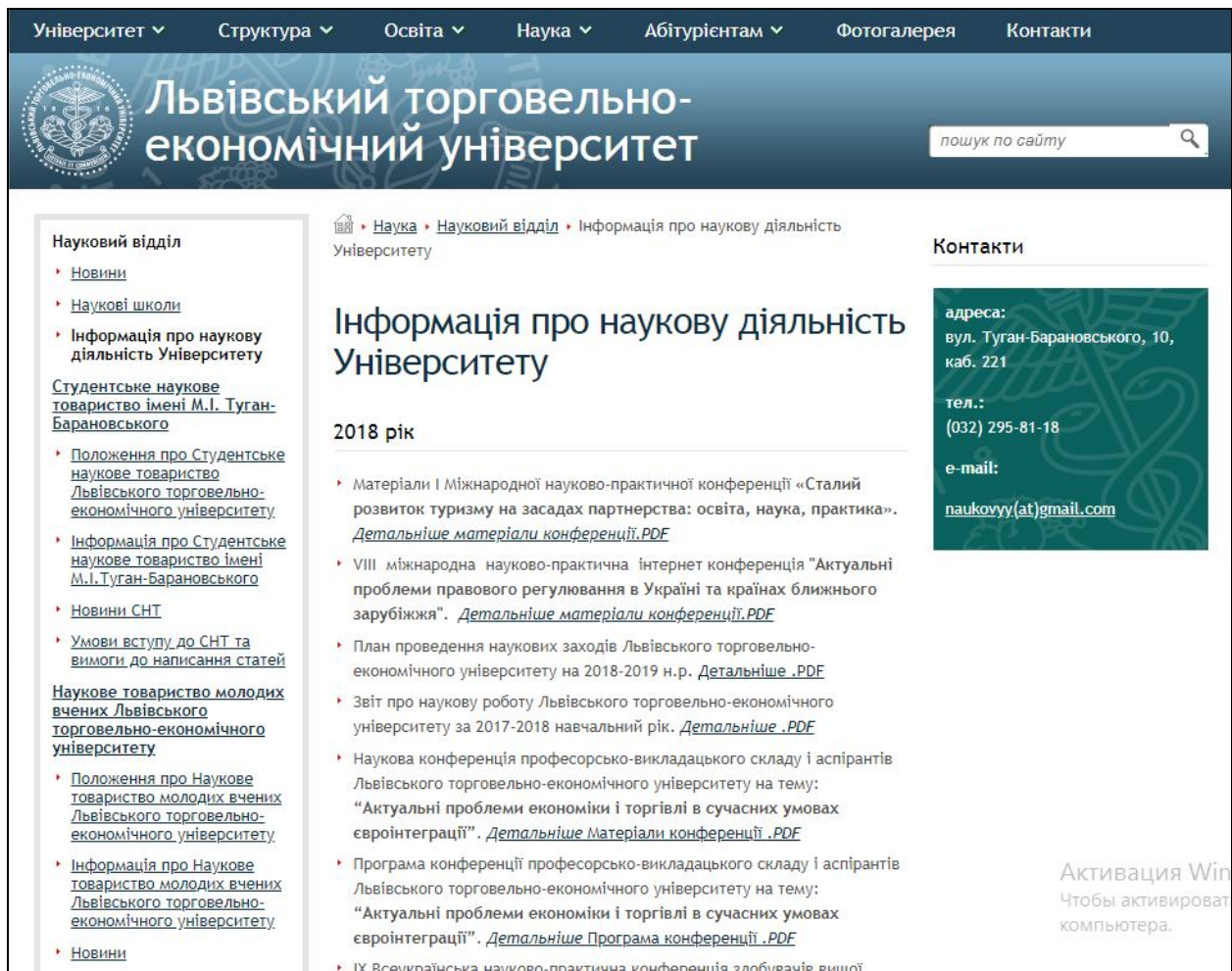


Рис. 2. Сторінка “Інформація про наукову діяльність Університету” сайту Львівського торговельно-економічного університету

3. Сайт Університету імені Альфреда Нобеля. Звітність представлена у формі таблиці. Кожна таблиця створюється вручну при створенні кожної

форми звітності (рис. 3), сайт знаходиться за електронною адресою: <http://duan.edu.ua/uk/research/naukovi-konferentsiji-2018>.



Рис. 3. Сторінка “Інформація про наукову діяльність Університету” сайту Львівського торговельно-економічного університету

Проведений аналіз існуючих на даний час ресурсів ВНЗ України показав необхідність розробки інтелектуального модулю інформаційної системи «Портал-кафедра», яка матиме функції автоматизованого створення звітностей, виконання перевірки тексту на унікальність та розмежування користувальницької і адміністративної частини програмного комплексу, що значно полегшить роботу наукового співробітника. Інтелектуальна інформаційна система (ІС) – це інформаційна система, яка заснована на концепції використання бази знань для генерації алгоритмів рішення задач різних класів в залежності від конкретних інформаційних потреб користувачів [12].

**Вимоги до модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи «Портал-кафедра».** Вимоги до стилістичного оформлення модуля. Стилiстичне оформлення сайту повинно відповідати стилю організації і використовувати його кольорові схеми, графічні елементи, шрифти, логотипи.

**Графічне оформлення модуля повинне відповідати таким вимогам:**

- При розробці дизайну модуля використовувати голубий, синій та білий та жовтий кольори.
- Дизайн модуля повинен бути лаконічним і в той же час виглядати стильно та сучасно.
- Вітається використання невеликих, стильних анімаційних елементів в оформленні контенту сайту.

**Вимоги до форматів використаних шрифтів при оформленні модуля:**

- Шрифти, використовувані для оформлення графічних елементів модуля, не повинні суперечити загальному стилю організації.
- Шрифти, використовувані для оформлення текстових матеріалів модуля, не повинні суперечити

корпоративному стилю підприємства. У випадку відсутності необхідних шрифтів на комп'ютері користувача необхідно передбачити використання стандартних груп шрифтів браузерів (Arial/Helvetica, Times New Roman, Courier) таким чином, щоб заміна шрифтів з відповідної групи не приводила до візуального перекручування тексту.

– Розмір (кегель) шрифтів повинен забезпечувати зручність сприйняття тексту при мінімальному припустимому розмірі екрана.

**Передбачити забезпечення перегляду модуля у найбільш розповсюджених браузерах таких як:**

- Opera;
- Internet Explorer;
- Mozilla Firefox;
- Yandex;
- Google Chrome.

**Вимоги до контенту й наповнення модуля**

Первинна розробка й верстка контенту (інформаційного вмісту) модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри повинна виконуватися силами **Виконавця** при особистій участі **Замовника**. Виконавець створює основну оболонку модуля, та його графічне обладнання.

**Вимоги до системи керування контентом модуля**

МУННТДК повинен бути реалізований в вигляді Web-додатку.

Система керування контентом МУННТДК повинна забезпечити адміністраторові сайту можливість виконання таких дій:

- реєстрування нових користувачів;
- додавання й видалення тексту;
- редагування тексту;
- додавання й видалення графічного оформлення;



- редагування допоміжних матеріалів та додатків;
- керування відображенням наукових та науково-технічних та інформаційних публікацій;
- додавання й видалення нових категорій для публікацій.

**Вимоги до компоновки сторінок модуля.** Компоновка сторінок модуля повинна забезпечувати автоматичне масштабування сторінок залежно від ширини робочого поля браузера користувача. Мінімальний розмір (ширина) робочого поля браузера, при якому необхідно забезпечити повноцінне відображення сторінок (без смуги горизонтального прокручування), становить 320 пікселів.

Для реалізації даного технічного завдання була поставлена задача спроектувати модуль для управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи "Портал-кафедра".

При проектуванні інтерфейсу користувача було змодельовані функції користувача. Для прототипування, по-перше, створили паперові макети інтерфейсу, по-друге, розробили екранні форми, які відображають взаємодію з користувачами.

При розробці інтерфейсів необхідно враховувати можливості користувачів.

За основу принципів проектування інтерфейсів GUI беруться людські можливості.

Основною вимогою в розробці інтерфейсу є доступність та зрозумілість для усіх користувачів. Тому було обрано популярну модель побудови інтерфейсу кабінетів викладача (редактора) та викладача з розширеними правами (адміністратора), яка містить в собі 2 колонки (меню та основний блок з інформацією).

**Використання в GUI кольорів.** Для вірного використання кольорової гами був застосований основний принцип розробників GUI, який обмежує застосування кольорів на екранах та правила ефективного використання кольору у GUI.

**Засоби підтримки користувача.** Важливою функцією проектування інтерфейсу є передбачення підказок до використання певної функції, описання самої функції та оброблення повідомлень про помилки, пошук необхідної інформації.

Оскільки проектування корисної і місткої інформації для користувача – справа серйозна, то воно повинно оцінюватися на тому ж рівні, що й архітектура системи або програмний код. Проектування повідомлень потребує значного часу та чи малих зусиль.

Обробка повідомлень про помилку – це один з засобів навчання користувачем працювати з системою. Випадково виконавши певну дію з помилкою користувач повинен отримати повідомлення про це, в інтуїтивно зрозумілій формі, що саме користувач зробив неправильно та що необхідно зробити для виправлення цієї помилки.

Пошук інформації – засіб надання користувачеві отримання лише тої інформації, яку він хоче бачити, з великої кількості іншої інформації. Тому дана функція повинна бути передбачена в інтерфейсі системи в зручному місці. Прикладом її використання в МУННТДК є форма входу у систему, увівши невалідні дані, користувач отримує відповідне повідомлення та посилення за яким можна вирішити проблему.

**Карта модуля.** Для використання поставленої задачі була продумана і розроблена зручна структура модуля, яка представлена на рис. 4.

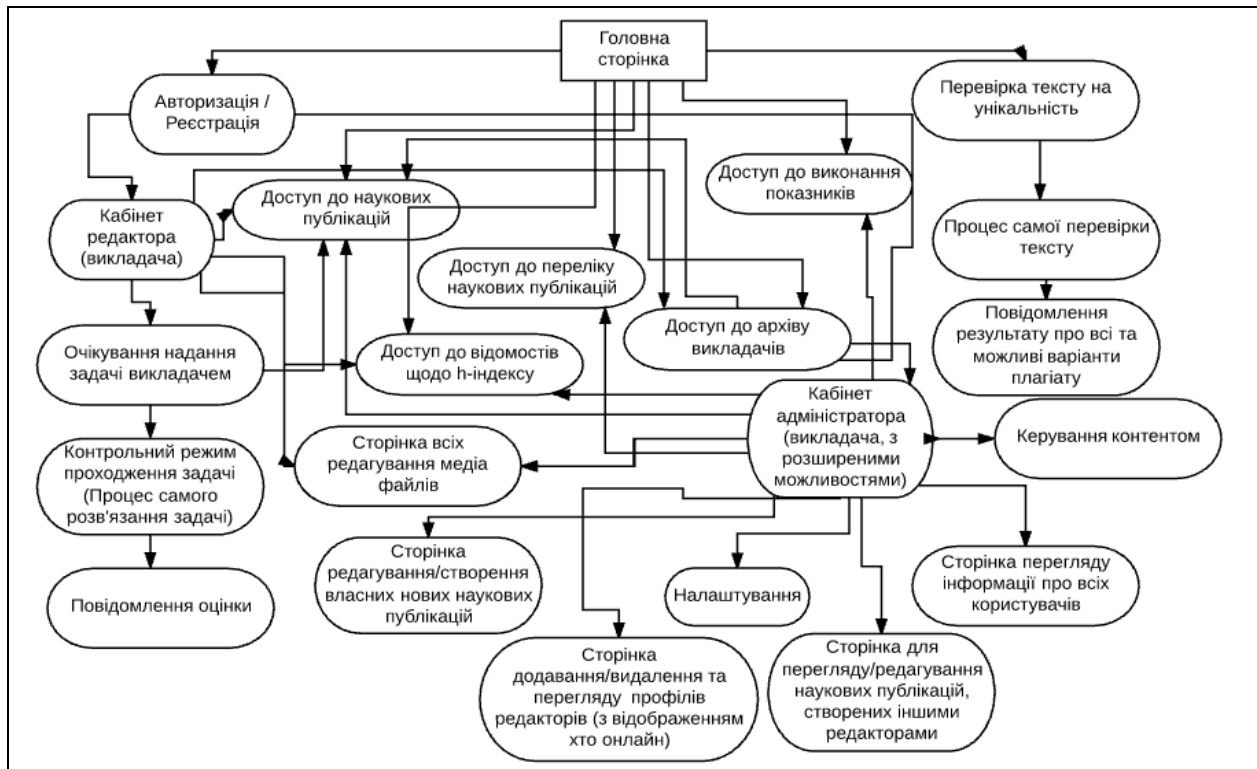


Рис. 4. Структура МУННТДК

Для більш детального проектування модуля управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри було використано UML-моделі.

Для більш чіткого уявлення програмного забезпечення, що проектується необхідно побудувати загальну модель діаграми прецедентів для подальшого розширення (Use Case діаграму).

Діаграма прецедентів візуально відображає різноманітні сценарії взаємодії між акторами (користувачами) і прецедентами (випадками використання); описує функціональні аспекти системи (бізнес логіку). У найпростішому випадку діаграма прецедентів визначається в процесі обговорення з користувачем тих функцій, які він хотів реалізувати. Ці діаграми є основою для досягнення взаєморозуміння між програмістом, що розробляє проект, і замовниками проекту.

Діюча особа (Actor) – це роль, що користувач грає стосовно системи. Діючі особи являють собою

ролі, а не конкретних людей або найменування ролей.

В даному Web-додатку передбачені три види користувачів (акторів):

- Editor (редактор, може додавати/ видаляти/ змінювати наукові публікації, перевіряти текст на унікальність, доступний викладачам чи науковим діячам, які були зареєстровані адміністратором).

- Administrator (адміністратор, може додавати/ видаляти/ змінювати наукові публікації, перевіряти текст на унікальність, а також має права на додавання/ видалення нових користувачів, а саме редакторів).

- Guest (гість, звичайний користувач тобто гості, можуть переглядати публікації, звіти про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність кафедри).

Діаграма варіантів використання системи наведена на рис. 5.

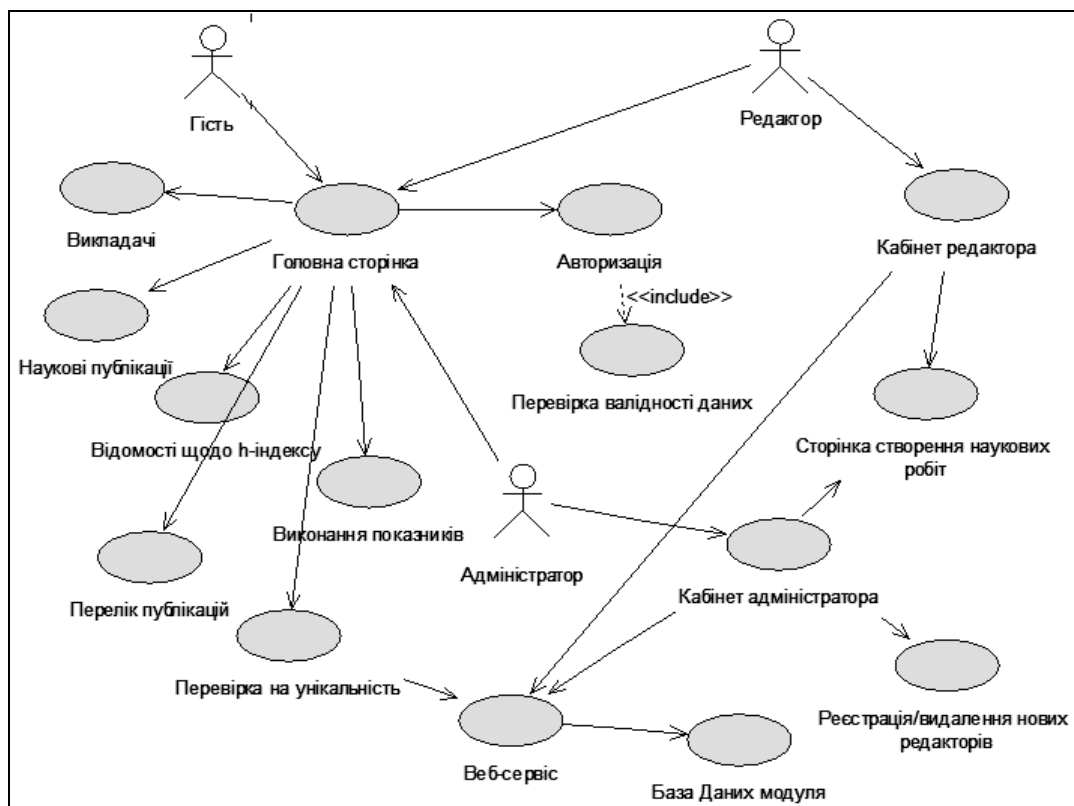


Рис. 5. Діаграма прецедентів (Use Case Diagram)

Для варіантів використання застосовуються наступні позначення:

- суб'єкт як зовнішня сутність, взаємодіюча із системою; їм може бути й людина, і пристрій, і інша система;
- аспект використання як певний засіб, наданий системою;
- однібічна асоціація, як взаємодія, спрямована від одного суб'єкта або аспекту до інших;
- узагальнення від одного суб'єкта або аспекту до іншого.

Для відображення рядів об'єктів і повідомлень, якими вони обмінюються між собою в рамках одного варіанта побудовані діаграми взаємодії.

В нашому випадку користувач заходить в модуль та проходить авторизацію. Після вдалої авторизації він може отримати право доступу як редактор (викладач чи науковий діяч) або адміністратор (викладач з розширеними правами). Відповідно до обраного варіанту буде вибрано інтерфейс з певними можливостями. До діаграм, які описують динаміку роботи системи, належать діаграми діяльності. Діаграма діяльності англ. activity diagram – діаграма, на якій показано розкладання деякої діяльності на її складові частини. На рис. 6 представлена діаграма діяльності для адміністратора сайту. Для деталізації операцій, які виконує система було використано діаграму активності (Activity diagram).

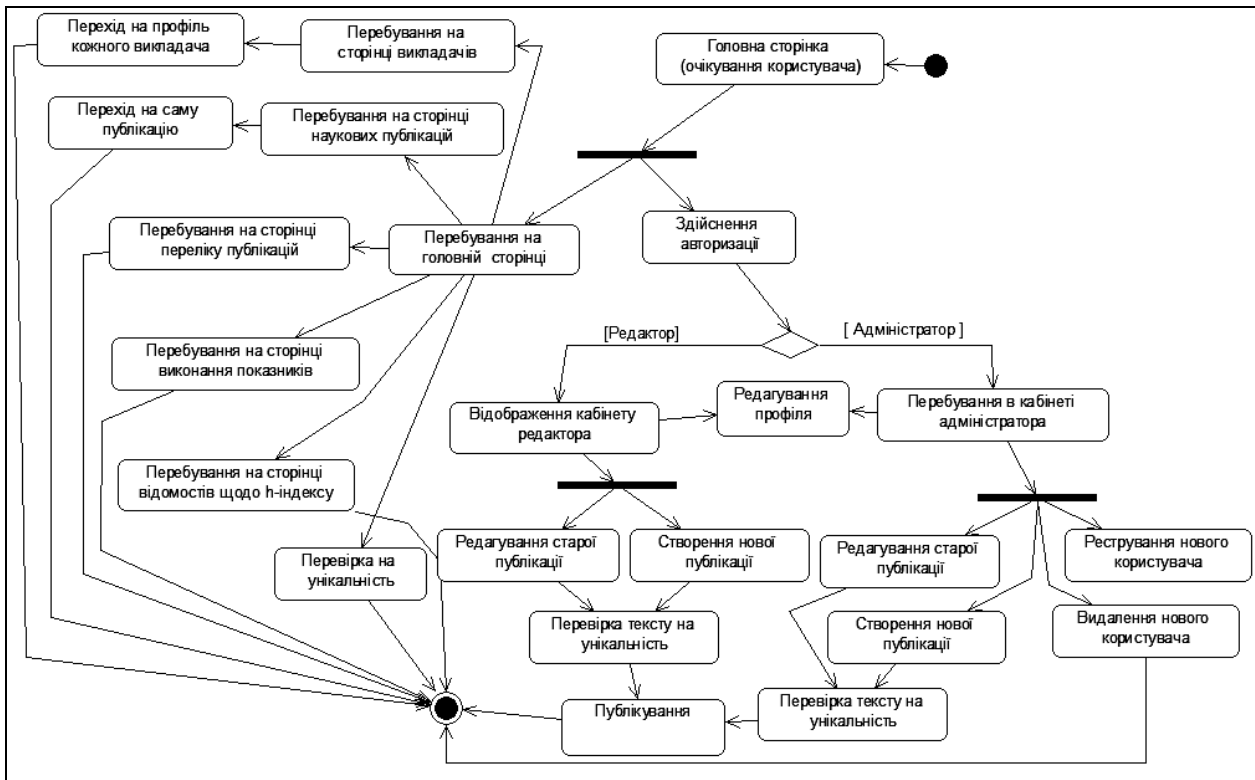


Рис. 6. Діаграма діяльності (Activity Diagram)

**Проектування Баз Даних.** При проектуванні бази даних інформаційної системи була розроблена ER-модель (entity-relationship diagram), яка дозволяє

описувати концептуальні схеми за допомогою узагальнених конструкцій блоків. На базі якої побудована схема даних (рис. 7) [5, 8, 9].

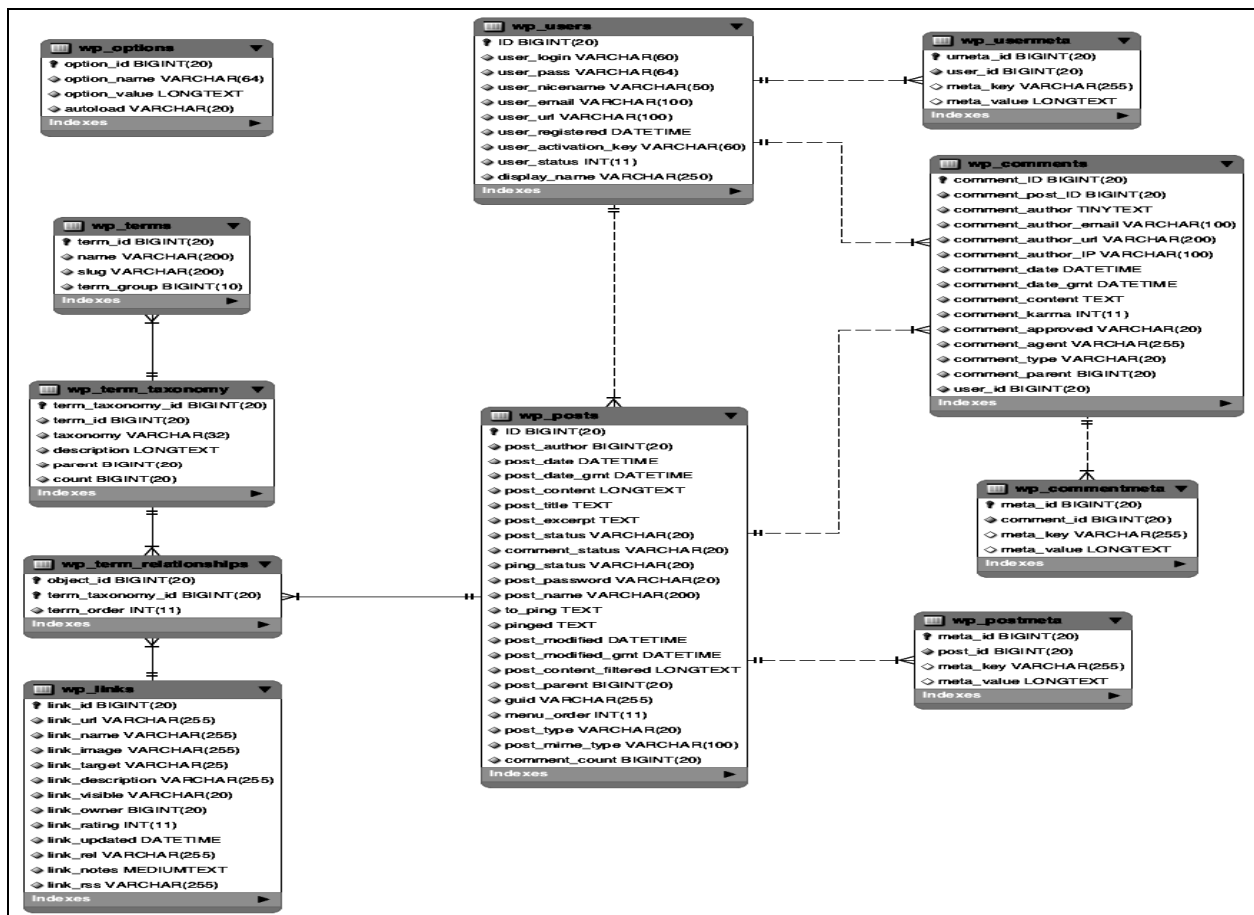


Рис. 7. Модель "сутність-зв'язок"



Як і планувалося на етапі постановки завдання, модуль містить всі необхідні структурні і навігаційні елементи.

Вхід в кабінет адміністратора здійснюється через кнопку “увійти”. При вводі логіну і паролю адміністратора з’являються панель адміністратора для редагування інформації (рис. 8).

Представлений модуль орієнтований на викладачів та наукових співробітників університету, студентів та звичайних користувачів. Метою створення модуля є забезпечення управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи “Портал-кафедра”, що значно полегшить роботу вищезазначених користувачів.

При розробці програмного продукту були вибрані та обґрунтовані сучасні web-технології, що дозволяють створювати інтерактивні web-сторінки.

### Висновки

Результатом дослідження став розроблений та програмно реалізований модуль управління науковою та науково-технічною діяльністю кафедри для інформаційної інтелектуальної системи “Портал-кафедра”.

В даній системі були враховані недоліки існуючих інформаційних систем управління ВНЗ, зокрема забезпечення публікування наукових матеріалів, можливість перевірки тексту на унікальність та генерування автоматичних звітів, що значно полегшить роботу викладача чи наукового діяча.

Інформаційна система забезпечує виконання наступних функцій:

- розмежування користувальницької та адміністративної частини програмного комплексу (адміністратор/редактор/звичайні користувачі):
  - редактор (може додавати/ видаляти/ змінювати наукові публікації, перевіряти текст на унікальність, доступний викладачам чи науковим діячам, які були зареєстровані адміністратором)
  - адміністратор (може додавати/ видаляти/ змінювати наукові публікації, перевіряти текст на унікальність, а також має права на додавання/ вида-

лення нових користувачів, а саме редакторів)

- звичайні користувачі (можуть переглядати публікації, звіти про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність кафедри)

- зареєстрований викладач чи науковий співробітник повинен мати можливість безперешкодного входу в модуль управління науковою та науково-технічною діяльністю з використанням індивідуальних унікальних логіна і пароля. При вході в систему він отримує доступ до наукових публікацій (де може додати нову публікацію, з можливістю додати співавтора, обрати відповідні категорії та інші деталі);

- автоматичного формування звітів про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність;

- забезпечення розробки чи додавання (поповнення) нових публікацій та їх категорій;

- зміни статусу опублікована статті – приватний статус (публікація не буде відображатися на сайті, навіть у випадку, якщо вона була опублікована раніше) або публічний статус (публікація буде відображатися на сайті, навіть у випадку, якщо вона не була опублікована раніше).

- можливість адміністратора очищувати базу даних від вже неактуальних даних; очищення бази від вже неактуальних даних (функція адміністратора);

- інформаційна присутність кафедри в мережі Інтернет, доступність звітів про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність та наукових матеріалів;

- простота та зручність в навігації, тобто інтуїтивно зрозумілий інтерфейс як студенту так і викладачу.

Серед можливостей даного інтелектуального модулю можна виділити наступні:

- автоматичного генерування звітів про наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність;

- перевірка тексту на унікальність.

- включати систему планування дати та часу публікації наукового матеріалу заздалегідь, що дасть можливість автоматичного опублікування статті в указану дату та час).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.
2. Інтелектуальна обробка текстів: [навчальний посібник] / В. Ю. Тарануха. Київ: електронна публікація на сайті факультету, 2014. – 80 с.
3. Інформаційні технології як фактор суспільних перетворень в Україні : зб. аналіт. доп. / за ред. Д. В. Дубова. – К.: НІСД, 2011. – 96 с.
4. Писаревська Т.А. Інформаційні системи і технології в управлінні трудовими ресурсами: Навч. посібник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2000. – 279 с.
5. Рамський Ю.С. Проектування й опрацювання баз даних Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2005. – 115 с.
6. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход. 2-ое изд. / С. Рассел, П. Норвиг; [пер. з англ. К.А. Птицина]. – М.: Видавничий дім «Вільямс», 2006. – 1409 с. – ISBN 5-8459-0887-6
7. Дмитренко Т.А. Деркач Т.М., Демиденко М. І., Дмитренко А. О Розробка автоматизованої інформаційної системи «Портал кафедри ВНЗ» / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Випуск 1(102) – С. 32-40.
8. Руденко В.Д. Бази даних в інформаційних системах К.: Фенікс, 2010, – 235 с.
9. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.

10. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – P. 136-140.  
DOI: 10.1109/DESSERT.2018.8409114
11. Шматков С.І. Аналіз інформаційних технологій у системах мобільного навчання / С.І. Шматков, Н.Г. Кучук, Ж.О. Коломієць // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 4(44). – С. 143-149.
12. Ситник В.Ф. та ін. Основи інформаційних систем: навч. посібник. – К.:КНЕУ, 2001. – 420с.
13. Смолін Д.В. Введення у штучний інтелект: конспект лекцій [навчальне видання]/ Д.В. Смолін – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 208 с. – ISBN 5-9221-0513-2
14. Чапайкина Н. Е. Семантический анализ текстов. Основные положения // Молодой ученый. – 2012. – №5. – С. 112-115.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. В. Семко,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава  
Received (Надійшла) 29.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.11.2018

### **Разработка модуля управление научной и научно-технической деятельности кафедры для информационной интеллектуальной системы "Портал-Кафедра"**

Т. А. Дмитренко, Т. Н. Деркач, А. А. Дмитренко, И. А. Иваско

Рассмотрены актуальные вопросы построения системы управления учебным заведением в целом и научной и научно-технической деятельностью кафедры для информационной интеллектуальной системы «Портал-кафедра». Проанализированы характерные особенности существующих в настоящее время ресурсов вузов Украины. Исследованы возможности проектирования и программной реализации модуля управления. Определены функции информационной системы, требования к контенту и наполнение модуля и системы управления контентом компоновки страниц. Приведена разработанная структура модуля управления научной и научно-технической деятельностью кафедры. Представлена разработанная архитектура информационной интеллектуальной системы, обосновано выбран язык программирования, обосновано использование системы управления базами данных, рассмотрены источники исходных данных и варианты начального информационного наполнения системы и концепция прав доступа и полномочия пользователей и администрирования. Предложен модуль управления научной и научно-технической деятельностью кафедры для информационной интеллектуальной системы «Портал-кафедра», который позволит оптимизировать процедуру ведения отчетов о научной, научно-технической и инновационной деятельности, снизить затраты на организацию научной деятельности кафедры за счет оптимизации использования всех ресурсов кафедры, повысить производительность труда персонала и эффективного управления предоставлением платных научно-исследовательских услуг, будет способствовать развитию академических свобод путем обеспечения прозрачности деятельности всех субъектов, задействованных в системе. Особое внимание обращается на возможности данного интеллектуального модуля среди которых можно выделить такие, как автоматическое генерирование отчетов о научной, научно-технической и инновационной деятельности, проверка текста на уникальность и возможность включать систему планирования даты и времени публикации научного материала заранее, что даст возможность автоматического опубликования статьи в указанную дату и время.

**Ключевые слова:** информационная интеллектуальная система управления, интеллектуальный модуль, семантический анализ текста, научная деятельность кафедры.

### **Management department development of scientific and technological activities and of the department for information intellectual system "portal-department"**

T. Dmitrenko, T. Derkach, A. Dmitrenko, I. Ivasco

The actual issues of building the educational institution management system at all and the scientific, scientific and technical activity of the department for the information intellectual system "Portal Department" are considered. Analyzed the characteristic features of the universities currently existing resources in Ukraine. The design and software implementation possibilities of the control module are investigated. The information system functions, the content requirements and content of the module and content management system of page layout are defined. The developed structure of the department scientific and scientific-technical activities management module. The information intelligent system developed architecture is presented, the programming language is justified, the use of the database management system is justified, the sources of the initial data and options for the initial content of the system and the concept of access rights and the powers of users and administration are considered. A management module for scientific and scientific-technical activities of the department for the information intellectual system "Portal-department" is proposed, which will optimize the procedure for keeping reports on scientific, scientific-technical and innovation activities, and reduce the costs of organizing scientific activities of the department by optimizing the use of all the resources of the department, increase staff productivity and effective management of the provision of paid research and development services, will contribute to the development of academic freedoms by ensuring the transparency of the activities of all entities involved in the system. Particular attention is paid to the capabilities of this intellectual module, among which are the automatic generation of reports on scientific, technical and innovation activities, checking the text for uniqueness and the ability to include a system for scheduling the date and time of publication of scientific material in advance, which will allow automatic publication articles at a specified date and time.

**Keywords:** information intellectual control system, intellectual module, semantic text analysis, scientific activity of the department.

В. М. Рудницький<sup>1</sup>, Н. В. Лада<sup>1</sup>, І. М. Федотова-Півень<sup>1</sup>, М. О. Пустовіт<sup>2</sup>, О. Б. Нестеренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

<sup>2</sup>Інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, Черкаси, Україна

## ПОБУДОВА ДВОХРОЗЯДНИХ ДВОХОПЕРАНДНИХ ОПЕРАЦІЙ СТРОГОГО СТІЙКОГО КРИПТОГРАФІЧНОГО КОДУВАННЯ

**Метою роботи** є розробка моделей двохрозрядних двохоперандних операцій строгого стійкого криптографічного перетворення придатних для практичного застосування в потокових і блокових шифрах. **Результати.** Основний критерій строгого стійкого кодування полягає в досягненні максимальної невизначеності результатів шифрування при мінімальних затратах. Проте, дооперандні операції, незважаючи на те, що вони відповідають критерію строгого стійкого кодування, не мають широкого застосування в криптографічних алгоритмах. Це зумовлено тим, що вони є однооперандними. Для практичного застосування даних результатів доцільно їх адаптувати до обробки двох операндів. У статті побудована модель операції криптографічного додавання яка забезпечила двохрозрядне двохоперандне строге стійке криптографічне кодування: Отримана в статті операція забезпечує реалізацію строгого стійкого криптографічного кодування при її застосуванні в потокових шифрах. Основною перевагою синтезованої операції над моделлю строгого стійкого криптографічного кодування є простота її реалізації як на апаратному так і програмному рівні. Застосовуючи інші поєднання однооперандних операцій строгого стійкого криптографічного перетворення можна отримувати інші аналогічні двохоперандні операції. **Висновки.** На основі дослідження і поєднання однооперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування синтезовано двохрозрядну двохоперандну операцію строгого стійкого криптографічного перетворення, придатну для практичного застосування в потокових і блокових шифрах як на апаратному так і програмному рівні. Запропонований в роботі підхід дозволяє розширити, за рахунок синтезу нових моделей операцій строгого стійкого перетворення, інструментальні засоби побудови крипто примітивів нового покоління.

**Ключові слова:** криптографічне кодування, криптоперетворення, додавання за модулем два, перестановки, надійність шифрування, строге стійке криптографічне кодування, синтез операцій.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день криптографічний захист інформації залишається одним із найважливіших при забезпеченні інформаційної безпеки [1]. Один з перспективних напрямів розвитку криптографії полягає у розширенні спектра операцій криптографічного перетворення інформації з заданими властивостями на основі логічних функцій [2]. Особливе місце при дослідженні даних операцій криптоперетворення є операції що забезпечують максимальну криптостійкість. Саме такими операціями і є операції строгого стійкого криптографічного кодування [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [4–6] представлено синтез двохоперандних операцій крипто перетворення для потокового шифрування на основі додавання за модулем з точністю до перестановки. Дані операції будуються на основі перестановок операндів та перестановок результатів виконання додавання за модулем. Для оцінки ефективності операцій криптоперетворення в [3], вводяться критерії криптографічного та строгого криптографічного кодування. Сутність даних критеріїв полягає в ймовірності зміни біта інформації при виконанні над нею криптоперетворення. Строге криптографічне кодування забезпечує невизначеність кожного перетвореного біта інформації з ймовірністю одна друга. Побудові однооперандних операцій строгого стійкого кодування присвячені роботи [4–6]. Проте, застосування операцій строгого стійкого криптографічного кодування в потокових шифрах потребують подальшого дослідження. Це пов'язано з тим що в потокових шифрах необхідно одночасно обробляти інформаційну послідовність і гамуючу двохоперандними операціями.

**Метою роботи** є розробка моделей двохрозрядних двохоперандних операцій строгого стійкого криптографічного перетворення придатних для практичного застосування в потокових і блокових шифрах.

### Основний матеріал

В [6] наведена повна множина дворозрядних операцій криптографічного перетворення інформації, а також виділено чотири дворозрядні операції, які відповідають критерію строгого стійкого кодування:

$$F_{3,10} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \quad F_{12,5} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$F_{5,12} = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \quad F_{10,3} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Основний критерій строгого стійкого кодування полягає в досягненні максимальної невизначеності результатів шифрування при мінімальних затратах [4]. Саме тому використання операцій (1, 2) дає змогу підвищувати якість криптографічних алгоритмів та швидкості їх реалізації [4]. Проте, дані операції, незважаючи на те, що вони відповідають критерію строгого стійкого кодування, не мають широкого застосування в криптографічних алгоритмах. Це зумовлено тим, що вони є однооперандними. Для практичного застосування даних результатів доцільно їх адаптувати до обробки двох операндів.

Прикладом множини двохоперандних операцій, які можуть застосовуватись в перспективних потокових шифрах є операції додавання за модулем два з точністю до перестановки. Для подальшого дослідження необхідно побудувати операцію по аналогії з операціями додавання по модулю два з точністю



до перестановки побудованими в [3,4], і наведеними в наведену в табл. 1. Необхідність побудови аналогічних операцій обумовлена тим, що їх застосування в потокових шифрах забезпечує підвищення стійкості і надійності шифрування [4, 7].

Таблиця 1 – Група операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки

$O_{1,1}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,1} \\ x_{1,2} \oplus x_{2,2} \end{bmatrix}$	$O_{2,1}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,2} \\ x_{1,2} \oplus x_{2,1} \end{bmatrix}$
$O_{1,2}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,1} \\ x_{1,2} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{2,2}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,2} \\ x_{1,2} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \end{bmatrix}$
$O_{1,3}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \\ x_{1,2} \oplus x_{2,2} \end{bmatrix}$	$O_{2,3}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \\ x_{1,2} \oplus x_{2,1} \end{bmatrix}$
$O_{1,4}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \\ x_{1,2} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{2,4}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \\ x_{1,2} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \end{bmatrix}$
$O_{3,1}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,2} \oplus x_{2,1} \\ x_{1,1} \oplus x_{2,2} \end{bmatrix}$	$O_{3,3}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,2} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \\ x_{1,1} \oplus x_{2,2} \end{bmatrix}$
$O_{3,2}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,2} \oplus x_{2,1} \\ x_{1,1} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{3,4}^{\oplus} = \begin{bmatrix} x_{1,2} \oplus x_{2,1} \oplus 1 \\ x_{1,1} \oplus x_{2,2} \oplus 1 \end{bmatrix}$

Виходячи з виразів (1, 2) побудуємо модель операції криптографічного додавання яка забезпечить двоохрозрядне двооперандне строге стійке криптографічне кодування:

$$O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 0; \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 0; \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Скористаємося технологією синтезу двооперандних операцій криптоперетворення на основі однооперандних. Для спрощення побудови операції, придатної для практичного застосування, проведемо побудову в три етапи. На першому етапі побудуємо спрощену операцію, без врахування інверсій розрядів. Виходячи з (3) модель даної операція є такою:

$$O_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 0; \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 0; \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Перетворимо дану операцію з врахуванням значень команд реалізації в якості другого аргументу:

$$O_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Опираючись на отримані взаємоперетворення, операцію  $O_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3}$  можна записати як:

$$O_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

На другому етапі синтезу побудуємо двооперандну операцію обробки сигналів інверсії. Модель даної операції відповідно до (3) можна представити:

$$\bar{O}_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Перетворимо операцію обробки сигналів інверсії з врахуванням значень команд реалізації в якості другого аргументу:

$$\bar{O}_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Операцію  $\bar{O}_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3}$  можна записати як:

$$\bar{O}_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 0; \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

На основі додавання за модулем 2 поєднаємо (4) і (5) і отримаємо операцію  $O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3}$ :

$$O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = O_{3\_5,3\_5,5\_3,5\_3} \oplus \bar{O}_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3}$$

Таким чином,

$$O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix},$$

відповідно:

$$O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \oplus \bar{k}_2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Представимо операцію (6), як операцію обробки двох аргументів.

$$O_{3\_10,12\_5,5\_12,10\_3} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{y}_1 \oplus x_2 \cdot y_1 \oplus y_2 \\ x_1 \cdot y_1 \oplus x_2 \cdot \bar{y}_1 \oplus \bar{y}_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Отримана операція (7) забезпечує реалізацію строгого стійкого криптографічного кодування при її застосуванні в потокових шифрах. Основною перевагою синтезованої операції над моделлю криптографічного кодування (3) є простота її реалізації як на апаратному так і програмному рівні. Застосовуючи інші поєднання однооперандних операцій строгого стійкого криптографічного перетворення можна отримувати аналогічні двооперандні операції.

## Висновки

В процесі дослідження синтезовано двохрану двохоперандну операцію строгого стійкого криптографічного перетворення, придатну для практичного застосування в потокових і блокових

шифрах як на апаратному так і програмному рівні. Запропонований в роботі підхід дозволяє розширити, за рахунок синтезу нових моделей операцій строгого стійкого перетворення, інструментальні засоби побудови крипто примітивів нового покоління.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбенко І.Д., Горбенко Ю.І. Прикладна криптологія: Теорія. Практика. Застосування: Монографія. Вид.2-ге, перероб. і доп. – Харків: Видавництво «Форт», 2012. – 880 с.
2. Криптографічне кодування: обробка та захист інформації: колективна монографія / під ред. В.М.Рудницького. — Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – 139 с.
3. Lada N.V. Застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в потокових шифрах / N.V. Lada, S.H. Kozlovska // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Вип. 1 (47). – С. 127-130.
4. Криптографічне кодування: синтез операцій потокового шифрування з точністю до перестановки: монографія / В.М.Рудницький, Н.В. Лада, В.Г. Бабенко. - Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – 184 с.
5. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. Вип. 2 (118). С. 116–118.
6. Рудницький В.М. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування / В.М. Рудницький, Л.А. Шувалова, О.Б. Нестеренко // “Вісник ЧДТУ”. - Черкаси, 2017. – Вип. 1. – С.5-10.
7. Бабенко В. Г. Застосування операцій криптографічного перетворення для синтезу криптоалгоритмів. Сучасна спеціальна техніка. 2014. № 3 (38). С. 49–55.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет “ХАІ”, Київ  
Received (Надійшла) 16.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

**Построение двохрану двохоперандных операций строгого устойчивого криптографического кодирования**

В. Н. Рудницкий, Н. В. Лада, И. Н. Федотова-Пивень, М. А. Пустовит, О. Б. Нестеренко

**Целью работы** является разработка моделей двохрану двохоперандных операций строгого устойчивого криптографически преобразования пригодных для практического применения в поточных и блочных шифрах. **Результаты.** Основной критерий строгого устойчивого кодирования заключается в достижении максимальной неопределенности результатов шифрования при минимальных затратах. Однако, однооперандны операции, несмотря на то, что они соответствуют критерию строгого устойчивого кодирования, не имеют широкого применения в криптографических алгоритмах. Это обусловлено тем, что они однооперандными. Для практического применения данных результатов целесообразно их адаптировать к обработке двух операндов. Авторами выстроена модель операции криптографической добавления которая обеспечивает двохрану двохоперандных строгое устойчивое криптографическое кодирование. Полученная операция обеспечивает реализацию строгого устойчивого криптографической кодирования при ее применении в потоковых шифрах. Основным преимуществом синтезированной операции над моделью строгого устойчивого криптографической кодирования является простота ее реализации как на аппаратном так и программном уровне. Применяя другие сочетания однооперандных операций строгого устойчивого криптографически преобразования можно получать другие аналогичные двохоперандных операции. **Выводы.** На основе исследования и сочетания однооперандных операций строгого устойчивого криптографического кодирования синтезированы двохрану двохоперандную операцию строгого устойчивого криптографического преобразования, пригодную для практического применения в поточных и блочных шифрах как на аппаратном так и программном уровне. Предложенный в работе подход позволяет расширить за счет синтеза новых моделей операций строгого устойчивого преобразования, инструментальные средства построения криптопримитивов нового поколения.

**Ключевые слова:** криптографическое кодирование, криптопреобразования, сложение по модулю два, перестановки, надежность шифрования, строгое устойчивое криптографическое кодирование, синтез операций.

**Construction of two-digit two-operand operations of strict and stable cryptographic coding**

V. Rudnitsky, N. Lada, I. Fedotova-Piven, M. Pustovit, O. Nesterenko

**The purpose of the work** is to develop models of two-bit two-operand operations of strictly stable cryptographic transformation suitable for practical application in current and block ciphers. **Results.** The main criterion for strictly stable encryption is to achieve maximum uncertainty of encryption results at minimal cost. However, single-operand operations, despite the fact that they meet the criterion of strictly stable coding, do not have wide application in cryptographic algorithms. This is due to the fact that they are single-operand. For practical application of these results, it is advisable to adapt them to the processing of two operands. The authors constructed a cryptographic add-on operation model that provides a two-part two-operand-day two-operand strictly stable cryptographic encoding. The resulting operation provides the implementation of strict, stable cryptographic encoding when used in stream ciphers. The main advantage of the synthesized operation over the model of strictly stable cryptographic coding is the simplicity of its implementation, both at the hardware and software level. By using other combinations of single-operand operations of a strictly stable cryptographic transformation, other similar two-operand operations can be obtained. **Conclusions.** On the basis of research and a combination of one-operand operations of strict and stable cryptographic coding, a two-digit two-operand operation of a strict, stable cryptographic transformation, suitable for practical application in stream and block cipher both on the hardware and software level, is synthesized. The proposed approach allows expanding, due to the synthesis of new models of operations of strict and stable transformation, instrumental means of constructing new generation crypto primitives.

**Keywords:** cryptographic coding, cryptographic transformation, adding by module of two, permutations, encryption reliability, strict cryptographic encryption, synthesis of operations.

Серпухов О. В.<sup>1</sup>, Макогон О. А.<sup>1</sup>, Новік С. А.<sup>2</sup>, Клімов О. П.<sup>1</sup>, Ковальов І. О.<sup>1</sup>, Базелюк В. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Військовий інститут танкових військ НТУ “ХПИ”, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ МІЖНАРОДНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ З МЕТОЮ ПОШУКУ ЕФЕКТИВНИХ МЕХАНІЗМІВ ЗАХИСТУ НАЦІОНАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СУВЕРЕНІТЕТУ

**Предметом** вивчення в статті є процес виникнення та розвитку інформаційних загроз безпеці України у воєнній сфері. **Метою дослідження** є аналіз деструктивних впливів на національний інформаційний суверенітет, пошук ефективних шляхів протидії і механізмів захисту. **Задачі:** на основі структурно-функціонального аналізу моделі міжнародного інформаційного простору (МІП) визначити загрози та потенційні небезпеки інтеграції України у міжнародний інформаційний простір, смоделювати процес проведення інформаційних атак, що здійснюються у МІП, та розробити оптимальний порядок профілактичних заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері. Використовуваними є **методи** системного аналізу та статистичної обробки даних. Отримані такі **результати**. За умов глобальної інтеграції та жорсткої міжнародної конкуренції МІП стає ареною зіткнень і боротьби різновекторних національних інтересів. У зв'язку з цим дослідження реальних та потенційних загроз негативних впливів на Україну у міжнародному інформаційному просторі та створення дієвої системи захисту і протидії дискредитації України на міжнародному рівні набувають значимої актуальності. Застосування “м'якої” сили у сучасних інформаційних технологіях дає змогу реалізувати власні інтереси у МІП. Контент-моніторинг МІП має бути спрямований на виявлення інформаційно-психологічних операцій, об'єктами впливу яких можуть бути: інформаційно-технічні та аналітичні системи, бази даних та інформаційні ресурси, психіка людини, настрої суспільства та імідж Збройних Сил і держави в цілому. Основними профілактичними заходами щодо забезпечення інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері є своєчасне виявлення, класифікація та контроль факторів дестабілізації, ідентифікація загроз та розробка і виконання заходів щодо їх нейтралізації. Ефективне здійснення заходів захисту національного інформаційного суверенітету та протидії дискредитації України на міжнародному рівні неможливе без виховання інформаційної культури суспільства у цілому, і у майбутніх офіцерів зокрема. **Висновки.** У роботі проведено дослідження моделі міжнародного інформаційного простору з метою аналізу деструктивних впливів та пошуку шляхів протидії дискредитації України на міжнародному рівні. На основі аналізу умов і чинників, які впливають на процес виникнення та розвиток інформаційних загроз, визначено таку динаміку розвитку інформаційного деструктивного впливу: “чинник інформаційної загрози – прояв інформаційної загрози – реалізація загрози (інформаційний вплив) – результати впливу”. В якості профілактичного заходу щодо забезпечення інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері пропонується контент-моніторинг МІП. У роботі розглядаються шляхи реалізації основних етапів контент-моніторингу МІП із своєчасного виявлення та ефективної протидії інформаційно-психологічним операціям. Крім того, зазначено необхідність виховання інформаційної культури майбутніх офіцерів у фокусі проблем інформаційної безпеки України та протидії деструктивним інформаційним впливам.

**Ключові слова:** модель міжнародного інформаційного простору, контент-моніторинг, інформаційний суверенітет.

### Вступ

**Постановка проблеми та завдання дослідження.** Конфлікти політичних та економічних інтересів держав загострюють проблеми у сфері інформаційних відносин, формування інформаційних ресурсів і користування ними. У теперішній час найбільш актуальною формою конфронтації між державами стають так звані “гібридні” війни. Методи саме такої війни активно використовують могутні країни в сучасному міжнародному інформаційному просторі для впливу на супротивника.

Питання забезпечення інформаційної безпеки України та протидії деструктивним інформаційним впливам сьогодні набуває актуальності, оскільки основними загрозами, визначеними Стратегією національної безпеки України, є ведення інформаційної війни проти нашої країни та відсутність цілісної комунікативної політики держави, недостатній рівень медіакультури суспільства [1].

Створення потужного національного інформаційного простору (НІП) як головного аспекту присутності держави в міжнародному інформаційному

просторі є стратегічним завданням інформаційної безпеки України. Таке завдання включає створення системи захисту власного інформаційного суверенітету.

З цього приводу пріоритетними завданнями забезпечення інформаційної безпеки держави дослідники вважають: виявлення, оцінку та прогнозування поведінки джерел загроз інформаційній безпеці; вироблення, координацію та введення єдиної державної політики у галузі інформаційної безпеки; створення та експлуатацію систем забезпечення інформаційної безпеки; розробку, координацію та запровадження єдиної державної політики у галузі міжнародних інформаційних відносин, зокрема у напрямку формування іміджу держави [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Специфіка забезпечення інформаційної безпеки знайшла відображення в Законі України “Про національну безпеку України” [2], в Законі України “Про національну програму інформатизації” [3], у Концепції національної програми інформатизації, схваленої Законом України “Про Концепцію Національної програми інформатизації” [4].

Проблемам інформаційної безпеки у цілому та України зокрема присвятили свої наукові розробки М. Галамба, Ф. Медвідь, В. Остроухов, В. Петрик, М. Присяжнюк та інші вчені [6 – 9].

Незважаючи на значну увагу до дослідження інформаційного компоненту гібридних війн, механізми протидії дискредитації України у міжнародному інформаційному просторі та запобігання порушенню національного інформаційного суверенитету, вивчені недостатньо.

**Метою роботи** є дослідження моделі міжнародного інформаційного простору з метою аналізу деструктивних впливів на національну безпеку та пошуку шляхів протидії дискредитації України на міжнародному рівні і ефективних механізмів захисту національного інформаційного суверенитету.

## Виклад основного матеріалу

**1. Основні чинники використання міжнародного інформаційного простору в деструкційних цілях.** Міжнародний інформаційний простір (МІП) визначається як сума складних інформаційних технологій, які є основою і визначальним компонентом промислово-економічного комплексу транснаціональних спільнот, які впливають на формування світоглядних процесів у суспільстві [10].

Основними структурними складовими моделі інформаційного простору в синергетичному поданні є інформаційні поля та інформаційні потоки.

Використання МІП у деструктивних цілях може характеризуватися такими чинниками:

- територія розповсюдження інформації за допомогою глобальної системи комунікацій;
- інфраструктура або технологічні засоби і можливості зберігання, обробки і розповсюдження інформації по вертикалі та горизонталі;
- наявність міжнародної та національної інформаційної політики, комплексу норм і принципів, що регулюють функціонування та використання міжнародної інформації;
- наявність міжнародних угод в галузі комунікацій, які базуються на розумінні світової ролі МІП, і його впливу на розвиток цивілізацій;
- доступ до інформації світової громадськості і участь суб'єктів міжнародних відносин у загальній системі зв'язку.

**1.1 Міжнародний інформаційний простір як об'єкт інформаційно-психологічних операцій.** У наш час очевидно, що інформація стала чинником, здатним призвести до масових протестних акцій, проявів сепаратизму, військових конфліктів, дезорганізації державного управління, тощо [6].

Саме формування іноземними засобами масової інформації альтернативної до дійсності викривленої інформаційної картини світу, в тому числі через призму подій в Україні, приниження української мови і культури, фальшування української історії тощо, є однією з форм ведення інформаційної війни проти нашої держави [1].

В умовах формування міжнародного інформаційного простору в сучасних конфліктах з'явилася нова фаза – інформаційно-психологічна війна. Та-

кож необхідно збереження негативну тенденцію до розміщення публікацій з гострими і упередженими висловлюваннями іноземних громадських та державних діячів, що межують із відвертим нехтуванням вимог міжнародного та українського права. Головними інформаційним спрямуваннями іноземних країн, які використовують МІП не тільки для пропагування власних інтересів, а й у деструктивних цілях на територіях, що являються об'єктами геополітичних інтересів суміжних держав, є наступні:

- підірив авторитету вищих органів державної влади в Україні;
- ідеологічне обґрунтування федералізації України із трактуванням приналежності в минулому окремих регіонів України до суміжних країн;
- поширення автономістських та сепаратистських настроїв у регіонах геополітичних інтересів;
- інформаційна підтримка громадських об'єднань та рухів радикального і сепаратистського налаштування з відвертою антиукраїнською ідеологією;
- створення передумов виникнення конфліктів на національному підґрунті, що може бути використано для “виправдання” самопроголошення нових територіальних автономних утворень.

Основними складовими МІП, які становляться об'єктами деструктивного інформаційного впливу, визначеними В. Остроуховим, є:

- ідеологічно-психологічне середовище суспільства, пов'язане з використанням інформації, інформаційних ресурсів та інформаційної інфраструктури для здійснення впливу на психіку й поведінку людей;
- ресурси, які розкривають духовні, культурні, історичні, національні цінності, традиції, надбання держави, нації в різних сферах життя суспільства (кінематограф, художнє мистецтво, література, тощо);
- інформаційна інфраструктура, тобто усі проміжні ланки між інформацією та людиною;
- система формування суспільної свідомості (світогляд, політичні погляди, загальноприйняті правила поведінки тощо);
- система формування громадської думки;
- система розроблення та прийняття політичних рішень;
- свідомість та поведінка людини [9].

**1.2 Загрози та потенційні небезпеки інтеграції України у міжнародний інформаційний простір.** Інформаційний простір є однією з основних категорій інформаційної безпеки. Національний інформаційний простір являє собою сферу інформаційних обмінів щодо створення нової інформації, її захисту та використання. Розбудова власного інформаційного простору є однією з передумов соціально-економічного, політичного й культурного розвитку.

Основними напрямками реалізації інформаційної політики можна вважати такі:

- розбудова національного інформаційного простору (ЗМІ);
- розвиток інформаційного суспільства (е-уряд, е-банкінг);

- розвиток офіційної комунікації (інформування громадян, формування позитивного іміджу держави);

- забезпечення інформаційної безпеки держави (захист інформаційного суверенітету та інформаційних прав та свобод громадян, визначення режимів функціонування інформації, тощо).

Аналізуючи весь спектр засобів для реалізації зовнішньої інформаційної експансії, можна стверджувати, що головними потенційними небезпеками для України можуть бути наступні:

### 1.3 Використання Інтернет-ресурсів з метою дискредитацію України на міжнародному рівні.

Поруч із застосуванням традиційних засобів масової інформації, варто також відзначити важливу роль у розгортанні та проведенні інформаційних війн через можливості Інтернет-ресурсів, соціальних мереж та блогосфери. Як свідчить аналіз останніх подій в Україні та за її межами, широкого застосування набули соціально орієнтовані інформаційно-комунікаційні сервіси – соціальні мережі, мікроблоги, блоги, відеоблоги. Якщо раніше використання таких сервісів розглядалося як виняток, то на сьогодні цей механізм перетворився на технологію, яка становить загрозу національній безпеці. З огляду на транскордонний характер Інтернет-сервісів, майданчиком для застосування подібної технології може стати будь-яка держава. Соціально орієнтовані інформаційно-комунікаційні сервіси забезпечують швидке, анонімне (за винятком окремих випадків), майже безкоштовне оповіщення великої кількості людей.

З урахуванням мобільності клієнтських пристроїв інформацію щодо координації дій розрізних груп людей можна оперативного змінювати. Соціальні сервіси забезпечують самоорганізацію користувачів у “групи за інтересами”, що зумовлює ефективність інформаційного впливу: завдяки сегментації соціального простору є можливість абсолютно точно вибрати цільову аудиторію. Аналіз інформаційних загроз показує, що потрібно враховувати умови і чинники, які впливають на процес виникнення та розвитку загроз. Якщо узагальнити ці процеси, то можна визначити динаміку розвитку інформаційного деструктивного впливу: “чинник інформаційної загрози – проява інформаційної загрози – реалізація загрози (інформаційний вплив) – результати впливу”.

Загалом, механізми, які впроваджуються для здійснення інформаційного тиску як на населення України, так і на країни-“союзники”, є тотожними, вирізняючись тільки інформаційним наповненням залежно від поставленої мети у той чи інший період.

Для досягнення кінцевого результату, який полягає у створенні вигідного інформаційного поля, використовуються підконтрольні ЗМІ, представники еліти, політичні партії, фінансовий сектор, неурядові організації, експертне та культурне середовище.

**1.4 Механізми використання МІП у деструктивних цілях.** Характеризуючи можливі інструменти, які застосовуються країнами-агресорами як для модератії українських та закордонних інформаційних потоків, так і для “знешкодження небажаних”, варто виокремити такі:

- розрив комунікацій (купівля рейтингових ЗМІ, блокування роботи “ворожих” ЗМІ, їх дискредитація, адміністративний тиск, організація DDoS-атак на інформаційні Internet-сайти, тощо);

- інформаційна деморалізація (залякування населення шляхом поширення суперечливих і взаємовиключних даних, підкуп авторитетних експертів-спікерів для їх участі в інформаційних проектах, систематична дезінформація населення і керівництва “ворожих” держав, тощо);

- розбалансування системи управління інформаційним полем (поширення компромату на провідні ЗМІ та журналістів, придбання і створення власних позицій у адміністративно-регуляторному секторі та ін.).

В цьому контексті слід також згадати поняття “м'якої” сили, застосування якої спрямовано на досягнення переваг внаслідок використання інформаційно-психологічних впливів дипломатичного, політично-пропагандистського та суспільно-культурного характеру.

У “м'якій силі” в концентрованому вигляді знаходить своє вираження національна ідея країни та її місія в глобальному світі. Сукупність даних факторів сприяє створенню привабливого й ефективного іміджу країни на міжнародному рівні. Саме процеси глобалізації у МІП, розвиток новітніх інформаційних технологій радикально підвищили значення комунікаційних процесів та інформаційних впливів. Так, подальших досліджень потребують як питання протидії зовнішньої “м'якої” силі так і вбудовування власної стратегії розвитку стратегії “м'якої” сили через реалізацію гуманітарного потенціалу, пропаганду культурних цінностей, ідей демократії і т.ін. [11].

Викладене вище схематично можна проілюструвати схематично, виділивши структуру міжнародного та національного інформаційного простору як показано на рис. 1.



Рис. 1. Модель міжнародного та національного інформаційного простору

**2. Заходи щодо протидії дискредитації України на міжнародному рівні.** Враховуючи сучасний стан захисту національного інформаційного простору, а також особливості ведення сучасної інформаційної війни, її методи та механізми реалізації деструктивних інформаційних акцій, Україні доцільно вибудувати ефективну стратегію захисту інформаційного суверенітету із врахуванням усіх наявних викликів та загроз, особливо у воєнній сфері.

Фахівці зазвичай поділяють заходи щодо зміцнення інформаційного суверенітету на 4 рівня: *законодавчий* (закони, нормативні акти, стандарти, тощо); *адміністративний* (дії загального характеру з боку керівництва установи); *процедурний* (конкретні заходи стосовно людей); *програмно-технічний* (конкретні технічні заходи) [4].

На сьогоднішній день методи і способи реалізації цих заходів опрацьовані в достатньому обсязі. Але у більшості випадків вони мають переважно техніко-прикладний характер та орієнтовані на розв'язання конкретних науково-технічних задач. Тим не менш, необхідною умовою для їх ефективного втілення на практиці є розробка ефективної процедури моніторингу інформаційного простору та формування в суспільстві інформаційної культури.

**2.1 Контент-моніторинг міжнародного інформаційного простору з метою виявлення загроз інформаційній безпеці України у воєнній сфері.** На стан інформаційної безпеки впливає безліч різних факторів, які або перешкоджають, або сприяють забезпеченню безпеки держави. Саме при невірному або несвоєчасному реагуванні на негативні фактори інформаційного впливу (поширення неправдивої або негативної інформації) проявляється посилення їх дестабілізуючого впливу, а сам фактор при цьому визначається вже як загроза.

Своєчасне втручання в розвиток факторів інформаційної безпеки сприяє запобіганню появі кризових ситуацій, що є найбільш ефективним розвитком подій.

Актуальність контент-моніторингу МІП обумовлюється необхідністю передбачення ситуацій переростання факторів дестабілізації в загрози безпеці та збереження інформаційного суверенітету в цілому.

Оптимальним порядком дій по забезпеченню інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері є своєчасне виявлення, класифікація та контроль факторів дестабілізації, ідентифікація загроз та розробка і виконання заходів щодо їх нейтралізації.

Контент-моніторинг МІП має бути спрямований на виявлення інформаційно-психологічних операцій, об'єктами впливу яких можуть бути: інформаційно-технічні та аналітичні системи, бази даних та інформаційні ресурси, психіка людини, настрої суспільства та імідж Збройних Сил і держави в цілому. Для своєчасного виявлення інформаційно-психологічних операцій необхідно уважно стежити за динамікою публікацій щодо відповідної тематики з урахуванням їх тональності користуючись доступними інформаційно-аналітичними засобами моніторингу.

На основі проведеного дослідження можна смоделювати процес проведення інформаційних атак, що здійснюються у МІП, та виділити такі їх умовні фази: "фонові публікації", "затишок", "артпідготовка", "затишок", "атака". Типову хронологічну послідовність тематичних публікацій та поведінку їх рядів інтенсивності показано на рис. 2. При цьому варто враховувати моделі проведення інформаційних атак, наприклад, якщо ця модель охоплює фази: "фонові публікації" – "затишок" – "артпідготовка" – "затишок" – "атака", то вже за першими трьома компонентами можна з великою ймовірністю передбачити майбутні події (рис. 2) [12, 13].



Рис. 2. Типова поведінка рядів інтенсивності тематичних публікацій

**2.2 Визначення оптимального порядку профілактичних заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері.** Основними профілактичними заходами є своєчасне виявлення, класифікація та контроль факторів дестабілізації, ідентифікація загроз та розробка і виконання заходів щодо їх нейтралізації. З метою своєчасного виявлення та ефективної протидії інформаційно-психологічним операціям доцільним є реалізація таких етапів моніторингу:

- первинний аналіз інформації в засобах масової інформації щодо визначеної тематики та об'єкту;
- часовий аналіз появи публікацій, побудова графіків та визначення критичних точок у інтенсивності тематичних публікацій;
- детальний аналіз динаміки публікацій з визначенням моментів, тривалості;
- прив'язка моментів появи повідомлень до інших подій, виявлення взаємозв'язків;
- визначення джерел, що публікують найбільшу кількість негативу;
- визначення "першоджерел" публікацій та ймовірних "замовників";
- оцінка ймовірних наслідків та прогнозування подальших кроків;
- організація інформаційної протидії.

**2.3 Виховання інформаційної культури майбутніх офіцерів у фокусі проблем інформаційної безпеки.** Ефективне здійснення заходів захисту національного інформаційного суверенітету та України на міжнародному рівні неможливе без виховання інформаційної культури суспільства у цілому, і у майбутніх офіцерів зокрема.

Інформаційну культуру пропонується визначати як певний рівень знань, що дає людині змогу вільно орієнтуватися в інформаційному просторі, брати участь в його формуванні та сприяти здійсненню інформаційних комунікацій [10]. Критеріями

сформованості інформаційної культури можна вважати наступні: вміння адекватно формулювати свою потребу в інформації, ефективно здійснювати пошук потрібної інформації; вміння переробляти інформацію і створювати нову; вміння адекватно відбирати та оцінювати інформацію; наявність комп'ютерної грамотності [15]. Найбільш ефективно сформувати інформаційну культуру у закладі вищої військової освіти можливо за умови максимального використання потенціалу предметів гуманітарного циклу – правознавства, іноземної мови, соціальної військової педагогіки, військової психології та ін.

Вивчення цих дисциплін дає можливість курсанту навчитися думати, розвивати інтелектуальні здібності, прораховувати і моделювати життєві ситуації; аналізувати інформацію та ідентифікувати ідеологічні впливи “неекологічного” контенту; засвоїти культуру обміну інформацією як складову норму морально-етичної поведінки у суспільстві. Засобами, які би забезпечили таку міждисциплінарну взаємодію, повинні стати єдиний підхід та єдність понятійного апарату. Так, викладачам слід спрямувати зусилля на те, щоб прищепити майбутнім офіцерам знання основних законів функціонування інформаційних потоків в суспільстві та прийоми та методи аналітико – синтетичної переробки інформації.

### Висновки

Питання забезпечення інформаційної безпеки України та протидії деструктивним інформаційним впливам сьогодні набуває актуальності, оскільки ведення інформаційної війни проти нашої країни, відсутність цілісної комунікативної політики держави, недостатній рівень медіакультури суспільства

становить загрозу національній безпеці країни. Створення потужного національного інформаційного простору як головного аспекту присутності держави в міжнародному інформаційному просторі є стратегічним завданням інформаційної безпеки України. Таке завдання включає створення системи захисту власного інформаційного суверенітету.

Важливу роль у розгортанні та проведенні інформаційних війн відіграє застосування “м'якої” сили як традиційними засобами масової інформації так і через можливості Інтернет-ресурсів, соціальних мереж та блогосфери.

У роботі проведено дослідження моделі міжнародного інформаційного простору з метою аналізу деструктивних впливів та пошуку шляхів протидії дискредитації України на міжнародному рівні.

На основі аналізу умов і чинників, які впливають на процес виникнення та розвиток інформаційних загроз, визначено таку динаміку розвитку інформаційного деструктивного впливу: “чинник інформаційної загрози – прояв інформаційної загрози – реалізація загрози (інформаційний вплив) – результати впливу”. В якості профілактичного заходу щодо забезпечення інформаційної безпеки та інформаційного суверенітету у воєнній сфері пропонується контент-моніторинг МІП.

У роботі розглядаються шляхи реалізації основних етапів контент-моніторингу МІП із своєчасного виявлення та ефективної протидії інформаційно-психологічним операціям.

Крім того, зазначено необхідність виховання інформаційної культури майбутніх офіцерів у фокусі проблем інформаційної безпеки України та протидії деструктивним інформаційним впливам.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 червня 2015 року № 287/2015 “Про Стратегію національної безпеки України” [Електронний ресурс]: Указ Президента України від 26.05.2015 № 287/2015. Законодавство України // Платформа LIGA:ZAKON. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/U287\\_15.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/U287_15.html).
2. Про національну безпеку України: Закон України від 19 червня 2003 року № 2469-VIII в редакції від 21 червня 2018 року. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2018. – № 31, ст.241.
3. Про національну програму інформатизації: Закон України від 4 лютого 1998 року № 74/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*, 1998. – № 27–28. ст. 181.
4. Про концепцію національної програми інформатизації : Закон України від 4 лютого 1998 року № 75/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*, 1998. – № 27–28. ст. 182.
5. Бондаренко В. О. Інформаційна безпека сучасної держави: концептуальні роздуми / В. О. Бондаренко, О. В. Литвиненко // Стратегічна панорама. – 1999. – № 1–2. – С. 127–133.
6. Галамба М. Інформаційна безпека України: поняття, сутність та загрози/ М. Галамба, В. Петрик // *Юридичний журнал*. – 2006 – № 12. – С. 133-136.
7. Медвідь Ф. М. Інформаційна безпека України: генеза і становлення / Ф. М. Медвідь // *Наукові праці МАУП* / редкол.: В. Б. Захожай (гол. ред.) та ін. – К. : ДП Вид. дім “Персонал”, 2010. – Вип. 2(25). – С. 116–122.
8. Присяжнюк М.М. Інформаційна безпека України в сучасних умовах / М. М. Присяжнюк, Я. С. Белошевич // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. □ 2013. □ Вип. 30. □ С.42-46.
9. Інформаційна безпека (соціально-правові аспекти): підручник / [Остроухов В. В., Петрик В. М., Присяжнюк М. М. та ін. ] ; за заг. ред. С. Д. Скулиша. – К. : КНТ, 2010. – 776 с.
10. Шрейдер, В.Г. Теорія комунікацій / В.Г. Шрейдер. – К. : Ваклер, 1998. – 395 с.
11. Гай-Нижник П. П. Росія проти України (1990–2016 рр.): від політики шантажу і примусу до війни на поглинання та спроби знищення / Павло Гай-Нижник. – К.: “МП Леся”, 2017 – 332 с.
12. Горбулін В. П. Інформаційні операції та безпека суспільства: загрози, протидія, моделювання: Монографія / В. П. Горбулін, О. Г. Додонов, Д. В. Ланде. – К.: Інтертехнологія, 2009 – 164 с.
13. Федоренко Р. М.. Контент-моніторинг інформаційного простору як чинник забезпечення інформаційної безпеки держави у воєнній сфері/ Сучасний захист інформації Київ, 2015. – №2. – С. 21-26.13
14. Медведєва Е. А. Основы информационной культуры / Е. А. Медведєва // *СоцИс*. –1994. – №11. – С. 52-67.
15. Матвійчик О. Є. Формування інформаційної культури викладача//Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2006. – №6. – С. 16-17.



**Исследование модели международного информационного пространства  
с целью поиска эффективных механизмов защиты национального информационного суверенитета**

А. В. Серпухов, Е. А. Макогон, С. А. Новик, А. П. Климов, И. А. Ковалев, В. Н. Базелиук

**Предметом** изучения в статье является процесс возникновения и развития информационных угроз безопасности Украины в военной сфере. **Целью исследования** является анализ деструктивных воздействий на национальное информационное суверинитет, поиск эффективных путей противодействия и механизмов защиты. **Задачи:** на основе структурно-функционального анализа модели международного информационного пространства (МИП) определить угрозы и потенциальные опасности интеграции Украины в международное информационное пространство, смоделировать процесс проведения информационных атак, осуществляемых в МИП, и разработать оптимальный порядок профилактических мероприятий по обеспечению информационной безопасности и информационного суверинитета в военной сфере. Используются **методы** системного анализа и статистической обработки данных. **Получены следующие результаты.** В условиях глобальной интеграции и жесткой международной конкуренции МИП становится ареной столкновений и борьбы разновекторных национальных интересов. В связи с этим исследования реальных и потенциальных угроз негативных воздействий на Украине в международном информационном пространстве и создание действенной системы защиты и противодействия дискредитации Украины на международном уровне приобретают значимую актуальность. Основными профилактическими мероприятиями по обеспечению информационной безопасности и информационного суверинитета в военной сфере является своевременное выявление, классификация и контроль факторов дестабилизации, идентификация угроз и разработка и выполнение мероприятий по их нейтрализации. Эффективное осуществление мер защиты национального информационного суверинитета и противодействия дискредитации Украины на международном уровне невозможно без воспитания информационной культуры общества в целом, и в будущих офицеров в частности. **Выводы.** В работе проведено исследование модели международного информационного пространства с целью анализа деструктивных воздействий и поиска путей противодействия дискредитации Украины на международном уровне. На основе анализа условий и факторов, влияющих на процесс возникновения и развития информационных угроз, определено такую динамику развития информационного деструктивного воздействия: “фактор информационной угрозы - проявление информационной угрозы - реализация угрозы (информационное воздействие) - результаты влияния”. В качестве профилактической меры по обеспечению информационной безопасности и информационного суверинитета в военной сфере предлагается контент-мониторинг МИП. В работе рассматриваются пути реализации основных этапов контент-мониторинга МИП по своевременному выявлению и эффективного противодействия информационно-психологическим операциям. Кроме того, отмечена необходимость воспитания информационной культуры будущих офицеров в фокусе проблем информационной безопасности Украины и противодействия деструктивным информационным воздействиям.

**Ключевые слова:** модель международного информационного пространства, контент-мониторинг, информационный суверинитет.

**Study of the international informational space model with the goal of the search  
for efficient mechanisms of national information sovereignty protection**

O. Serpukhov, H. Makogon, S. Novik, A. Klimov, I. Kovalov, V. Bazeliuk

The **subject matter** of the article is the process of the emergence and development of information threats to Ukraine's security in the military sphere. The **goal** of the study is to analyze the destructive effects on national informational sovereignty, the search for effective ways of counteraction and mechanisms of protection. The **tasks** to be solved are: on the basis of structural and functional analysis of the model of the international information space (IIS), to identify the threats and potential dangers of Ukraine's integration into the international information space, to simulate the process of information attacks carried out in the IPP and to develop the optimal order of preventive measures to ensure information security and information superstitious in the military sphere. The **methods** of system analysis and data statistical processing are used. The following **results** are obtained. Under the conditions of global integration and tight international competition, the IIS becomes an arena of collisions and the struggle between different national interests. In this regard, the study of real and potential threats of negative influences on Ukraine in the international information space and the creation of an effective protection system and counteraction to Ukraine's discredit at the international level are becoming relevant. Using of “soft” force in modern information technologies allows you to realize your own interests in the IIS. The content monitoring of the IIS should be aimed at identifying information and psychological operations, the objects of influence of which may be: information and technical and analytical systems, databases and information resources, the human psyche, the mood of society and the image of the Armed Forces and the state as a whole. The main preventive measures to ensure information security and information security in the military sphere are the timely detection, classification and control of the factors of destabilization, identification of threats and development and implementation of measures to neutralize them. Effective implementation of measures to protect national information superstition and counteracting the discredit of Ukraine at the international level is impossible without raising the information culture of society as a whole, and future officers in particular. **Conclusions.** The article examines the model of the international information space in order to analyze destructive influences and to find ways to counter Ukraine's discredit on the international level. On the basis of the analysis of the conditions and factors influencing the process of the emergence and development of information threats, the following dynamics of the development of information destructive influence are determined: “the factor of the information threat - the manifestation of the information threat - the realization of the threat (information influence) - the results of influence”. Content monitoring of IIS is proposed as a preventive measure to ensure information security and information security in the military sphere. The paper considers ways of realization of the main stages of the content-monitoring of the IIS on timely detection and effective counteraction to information-psychological operations. In addition, the necessity of raising the informational culture of future officers in the focus of Ukraine's information security and counteracting destructive information influences is noted.

**Keywords:** model of the international information space, content-monitoring, informational supercontinue.

О. В. Чала

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕМПОРАЛЬНОЇ БАЗИ ЗНАТЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

**Предметом** вивчення в статті є процеси автоматизованої побудови й використання бази темпоральних знань для підтримки управління підприємством в умовах невизначеності, яка виникає в результаті неповноти інформації про стан підприємства як об'єкту управління. **Мета** полягає в розробці концепції автоматизованої побудови темпоральної бази знань, що містить контекстно-залежні знання про процеси управління в інформаційній системі та забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з тактичного управління, а також можливість підтримки виконання на рівні стратегічного управління. **Задачі:** розробка принципів автоматизованої побудови темпоральної бази знань; впровадження розроблених принципів у вигляді концепції використання темпоральної бази знань для підтримки управління підприємством. **Методами**, що використовуються, є: методи побудови темпоральних правил та темпоральної бази знань, а також методи ймовірнісного виводу. Отримані такі **результати**. Розроблено принципи автоматизованої побудови й використання бази знань для підтримки управління підприємством в умовах невизначеності. На базі розроблених принципів запропоновано концепцію побудови темпоральної бази знань та реалізації логічного виводу для вирішення неструктурованих та частково структурованих задач. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: Запропоновано принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань для підтримки прийняття рішень в інформаційній системі, що відрізняються врахуванням темпоральних залежностей як для процесу управління, так і для об'єкту управління, а також можливостями інтеграції залежностей на різних рівнях організаційної ієрархії. Розроблені принципи та концепція забезпечують можливість побудови множини ймовірнісних рішень вирішення частково структурованих задач на тактичному рівні та неструктурованих задач на стратегічному рівні в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів та стану підприємства.

**Ключові слова:** темпоральна база знань; темпоральні правила; послідовність станів об'єкту управління.

### Вступ

Темпоральна база знань містить у собі залежності у часі між управлінськими діями в інформаційній системі, або ж результатами цих дій, що представлені станами підприємства як об'єкту управління.

Така база знань забезпечує можливість виявлення нетипових станів об'єкту управління в умовах невизначеності з подальшим прогнозуванням ймовірних послідовностей дій з управління, що забезпечують досягнення цільового стану об'єкту. Невизначеність характеризується неповнотою інформації як про поточні зовнішні впливи, так і про поточні характеристики стану об'єкту управління.

Невизначеність пов'язана з неповнотою моделей процесів та об'єкту управління внаслідок використання комбінації неформалізованих знань виконавців та формалізованих послідовностей дій при функціонуванні інформаційної системи. Виконавці можуть вибирати одну із можливих послідовностей дій з управління на основі свого досвіду та знань [1], а також наявних даних про поточний стан предметної області.

Однак цей вибір не завжди відображений у відповідних моделях.

Ключова перевага темпоральної бази знань полягає у можливості її автоматизованої побудови на основі аналізу послідовності станів об'єкту, що є наслідком реалізації процесу управління. Таким чином, проблема автоматизованої побудови темпоральної бази знань та її використання в задачах управління безумовно є актуальною.

Питання автоматизованої побудови темпоральної бази знань були розглянуті в роботах [2-7]. В цих роботах в якості елементів представлення знань запропоновано використовувати темпоральні правила, що задають відношення у часі між парою послідовних дій з управління [3, 4] (або парою послідовних станів об'єктів управління) з урахуванням контексту виконання дій [5].

Для цих правил в залежності від ймовірності їх появи розраховується вага [6]. Запропонований метод побудови такої бази знань містить у собі цикл пошуку темпоральних правил на основі аналізу послідовності станів об'єкту управління та обчислення їх ваги [7].

Підходи до прогнозування процесу управління на основі ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань були представлені в роботах [8, 9]. Вони забезпечують формування упорядкованого набору ймовірних послідовностей дій з урахуванням організаційної структури підприємства для досягнення цільового стану об'єкту управління.

Однак питання реалізації повної послідовності побудови й використання темпоральної бази знань на основі інтеграції запропонованих моделей та методів у цикл функціонування інформаційних систем підприємства потребують подальшого розгляду.

**Метою статті** є розробка концепції автоматизованої побудови темпоральної бази знань, що містить контекстно-залежні знання про процеси управління в інформаційній системі та забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з тактичного управління, а також можливість підтримки виконання на рівні стратегічного управління.

## Принципи та концепція автоматизованої побудови темпоральної бази знань з урахуванням невизначеності щодо стану об'єкту управління

Інформаційні системи підприємства вирішують структуровані, частково структуровані, та неструктуровані задачі (табл. 1). Структуровані задачі вирішуються виконавцями на оперативному рівні та реалізують рутинну обробку даних згідно апріорно відомого алгоритму. Такі задачі підлягають повній автоматизації. Для вирішення цих задач використовуються інформаційні системи TPS (Transaction

Processing Systems), що базуються на використанні послідовності специфікованих діалогів. Частково структуровані задачі частково описують елементи об'єкту управління та зв'язки між ними, тобто такі задачі характеризуються частковою невизначеністю. Тому при їх вирішенні поєднують формалізовані алгоритми управління та неформалізовані процедури вибору цих алгоритмів. Вказаний вибір виконується менеджерами середньої ланки на основі свого досвіду та знань. Ці задачі вирішуються на тактичному рівні управління в рамках інформаційно-управляючих систем (IUC, MIS) та систем підтримки прийняття рішень (СППР, DSS).

Таблиця 1 – Ієрархія задач управління з урахуванням невизначеності

Рівень управління	Задачі	Невизначеність	Рівень організаційної структури
Стратегічний	Неструктуровані	Вирішення задач в умовах невизначеності щодо стану об'єкту управління та зовнішніх впливів (з-за меж організації)	Вище керівництво
Тактичний	Частково структуровані	Вирішення задач в умовах невизначеності щодо стану об'єкту управління (стан відображає зовнішні впливи в межах організації)	Середній рівень
Оперативний	Структуровані	-	Безпосередні виконавці

Неструктуровані задачі характеризуються неможливістю виділити необхідні для її вирішення елементи та зв'язки між ними, що не дозволяє побудувати її формальну модель та автоматизувати її вирішення. При вирішенні таких задач реалізується управління в умовах невизначеності на стратегічному рівні. Вони вирішуються вищим керівництвом на основі досвіду, знань та інформації із зовнішнього середовища й нижніх рівнів організаційної ієрархії.

Для підтримки формування й виконання таких рішень використовуються інтелектуальні системи підтримки виконання рішень ESS (Executive Support Systems). Ці системи використовують статистичні алгоритми та методи інтелектуального аналізу для виявлення залежностей, що забезпечують прийняття стратегічних рішень з управління підприємством.

Проведений аналіз ієрархії задач дозволяє зробити висновки про таке. По-перше, в результаті вирішення задач на оперативному рівні може бути отримана інформація про стани об'єкту управління, пов'язані із ними дії, а також час виникнення цих станів. Дана інформація дозволяє упорядкувати ці стани у часовому вимірі для груп отриманих виробів або послуг. По-друге, така інформація може бути використана для виявлення зв'язаних темпоральних правил, що задають типові послідовності дій з управління у часі. По-третє, отримані правила можуть бути інтегровані у відповідності до рівня управління, що дозволяє не тільки забезпечити можливість підтримки прийняття рішень на тактичному рівні, а й створює умови для підтримки виконання рішень на стратегічному рівні з використанням загальних правил. Зазначене є обґрунтування наступних принципів та концепції (рис. 1) автоматизованої побудови темпоральних баз знань та їх використання для підтримки управління й забезпечення виконання управлінських рішень.

1. Принцип автоматизованої побудови темпоральних залежностей щодо послідовності дій з управління на основі визначення типових послідовних станів об'єкту управління.

2. Принцип автоматизованої побудови темпоральних залежностей щодо дій з управління з урахуванням стану предметної області на основі визначення постійних та змінних властивостей вказаних станів.

Перші два принципи передбачають виявлення темпоральних знань на основі аналізу даних про поведінку об'єкту управління. Відмінність між ними полягає в тому, що перший принцип враховує невизначеність щодо процесу управління, а другий щодо об'єкту управління.

3. Принцип інтеграції темпоральних залежностей згідно рівня управління за ознакою належності до відповідного рівня організаційної ієрархії підприємства. Даний принцип дозволяє інтегрувати отримані автоматизованим способом темпоральні знання як у тактичний, так і у стратегічний рівні управління. На стратегічному рівні використовуються інтегральні залежності, що поєднують декілька правил тактичного рівня. Такі інтегровані залежності як правило відображають шаблони функціонування організаційних підрозділів підприємства.

4. Принцип еволюційної побудови темпоральної бази знань шляхом виявлення нових темпоральних правил по мірі появи нових даних про при зміні стану об'єкту управління. Даний принцип передбачає постійне розширення бази темпоральних знань при реалізації процесу управління. Згідно даного принципу поповнення бази знань реалізується на основі еволюційної стратегії. Тобто при зміні функціональних вимог змінюється послідовність дій з управління. Відповідно, виявляються нові темпоральні залежності, які включаються до складу бази знань.

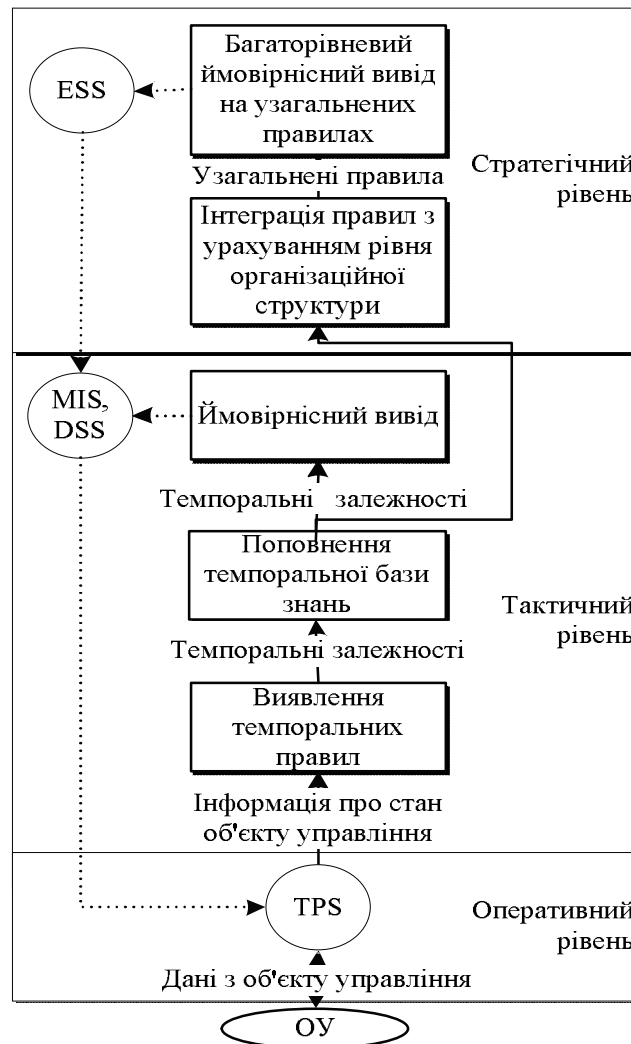


Рис. 1. Схематичне представлення концепції побудови та використання темпоральної бази знань

5. Принцип підтримки управління на основі інтеграції детермінованої моделі об'єкту управління та ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань. Даний принцип дозволяє реалізувати удосконалення моделей об'єкту та процесу управління на основі водоспадної стратегії на тактичному рівні. Тобто після завершення поточного циклу випуску продукції або послуг на етапі аналізу результатів виконання на основі темпоральних правил можуть бути отримані детерміновані залежності, що доповнюють існуючі моделі об'єкту та процесу управління.

### Висновки

Запропоновано принципи та засновану на них концепцію автоматизованої побудови та викорис-

тання темпоральної бази знань для підтримки прийняття рішень в інформаційній системі.

Розроблені принципи відрізняються врахуванням темпоральних залежностей як для процесу управління, так і для об'єкту управління, а також можливостями інтеграції залежностей згідно рівня організаційної ієрархії.

Розроблені принципи та концепція забезпечують можливість побудови множини ймовірнісних рішень вирішення частково структурованих задач на тактичному рівні та неструктурованих задач на стратегічному рівні з тим, щоб забезпечити формування та підтримку виконання рішень в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів та стану підприємства як об'єкту управління.

### REFERENCES

1. Kalynychenko, O., Chalyi, S., Bodyanskiy, Y., Golian, V., Golian, N. (2013, September). Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining. *2013 IEEE 7th Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. IEEE. Available: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>
2. Shin J., Wu S., Wang F., De Sa C. Zhang C, R'e C. (2015). Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. *41th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. Vol. 8(11).
3. Левикін В. М., Чала О. В. (2018). Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 21 (1297), 48-53.

4. Чала О. В. (2018). Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. Науково-технічний журнал, Сучасні інформаційні системи, Том 2, № 3. С. 54-59.
5. Chala O. (2018). Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. Econtechmod, 7/3, 53 – 58.
6. Levykin V., Chala O. (2018). Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. EUREKA: Physics and Engineering, 5(18), 3-10.
7. Levykin V., Chala O. (2018). Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 29-35.
8. Levykin V., Chala O. (2018). Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/3(95). С. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664.
9. Chala O. (2018). Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge. EUREKA: Physics and Engineering, 6, 28-35. DOI: 10.21303/2461-4262.2018.00787.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 25.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Принципы автоматизированного построения и использования темпоральной базы знаний для поддержки принятия решений по управлению предприятием

О.В. Чала

**Предметом** изучения в статье являются процессы автоматизированного построения и использования базы темпоральных знаний для поддержки управления предприятием в условиях неопределенности, которая возникает в результате неполноты информации о состоянии предприятия как объекта управления. **Цель** заключается в разработке концепции автоматизированного построения темпоральной базы знаний, содержащей контекстно-зависимые знания о процессах управления в информационной системе, что обеспечивает возможность поддержки принятия решений на уровне тактического управления, а также возможность поддержки выполнения на уровне стратегического управления. **Задачи:** разработка принципов автоматизированного построения темпоральной базы знаний; внедрение разработанных принципов в виде концепции использования темпоральной базы знаний для поддержки управления предприятием. Используемыми **методами** являются: методы построения темпоральных правил и темпоральной баз знаний, а также методы вероятностного вывода. Получены следующие **результаты**. Разработаны принципы автоматизированного построения и использования базы знаний для поддержки управления предприятием в условиях неопределенности. На базе разработанных принципов предложена концепция построения темпоральной базы знаний и реализации логического вывода для решения неструктурированных и частично структурированных задач. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: Предложены принципы автоматизированного построения и использования темпоральной базы знаний для поддержки принятия решений в информационной системе, которые отличаются учетом темпоральных зависимостей как для процесса управления, так и для объекта управления, а также возможностями интеграции зависимостей на разных уровнях организационной иерархии. Разработанные принципы обеспечивают возможность построения множества вероятностных решений частично структурированных задач на тактическом уровне и неструктурированных задач на стратегическом уровне в условиях неполноты информации о внешних воздействиях и состоянии предприятия.

**Ключевые слова:** темпоральная база знаний; темпоральные правила; последовательность состояний объекта управления.

### Principles of automated construction and use of a temporal knowledge base to support decision-making on enterprise management

O. Chala

The **subject matter** of the article is the processes of automated construction and use of a database of temporal knowledge to support enterprise management in the face of uncertainty, which arises as a result of incomplete information about the state of the enterprise as an object of management. **The goal** is to develop a concept for the automated construction of a temporal knowledge base containing context-sensitive knowledge of management processes in the information system, which provides decision support at the tactical management level, as well as the ability to support execution at the strategic management level. **Tasks:** development of principles for the automated construction of a temporal knowledge base; introduction of the developed principles in the form of the concept of using a temporal knowledge base to support enterprise management. **The methods** used are: methods for constructing temporal rules and temporal knowledge bases, as well as methods for probabilistic inference. The following **results** were obtained. The principles of the automated construction and use of the knowledge base to support enterprise management in conditions of uncertainty have been developed. On the basis of the developed principles, the concept of building a temporal knowledge base and implementing logical inference for solving unstructured and partially structured tasks is proposed. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows: The principles of automated construction and use of a temporal knowledge base for decision support in an information system are proposed, which differ in taking into account temporal dependencies for both the management process and the control object, as well as the integration capabilities of dependencies at different levels of organizational hierarchy. The developed principles provide the possibility of constructing a set of probabilistic solutions of partially structured tasks at the tactical level and unstructured tasks at the strategic level in the context of incomplete information about external influences and the state of the enterprise.

**Keywords:** temporal knowledge base; temporal rules; sequence of states of the control object.

П. М. Шутка, А. М. Філоненко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ОГЛЯД ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ СТАТИЧНИХ ГРАФІВ

**Предметом** вивчення в статті є проблемно-орієнтовані мови програмування для паралельного аналізу статичних графів. **Метою** даної статті є огляд підходів до реалізації проблемно-орієнтованих мов програмування на прикладі Green-Marl, OptiGraph, Elixir і Falcon, призначених для аналізу статичних графів. **Завдання:** показати ефективність використання предметно-орієнтованих мов програмування в аналізі статичних графів, якими можуть оперувати не тільки спеціалісти в області програмування, а й фахівці розробки математичних моделей і алгоритмів аналізу даних, зокрема із застосуванням теорії графів; розглянути існуючі DSL для аналізу статичних графів із застосуванням паралельних і розподілених обчислень; відзначити існуючі предметно-орієнтовані мови для побудови алгоритмів обходів графа; порівняти DSL з точки зору виразності паралелізму і застосовності для генерації високоефективних паралельних програм для суперкомп'ютерів і кластерних систем у вигляді зведеної таблиці з основними властивостями мов і їх компіляторів. Використовуваємо **методом** є: проведення порівняльного аналізу предметно-орієнтованих мов програмування. Отримані такі **результати:** виявлено рівень ефективності використання предметно-орієнтованих мов програмування в аналізі статичних графів; розглянуто існуючі DSL; проведено порівняльний аналіз DSL. **Висновки.** В статті були розглянуті чотири проблемно-орієнтованих мови програмування, призначених для розробки і реалізації алгоритмів аналізу статичних графів.

**Ключові слова:** DSL, предметно-орієнтовані, аналіз статичних графів, паралелізм, генерація, таблиця, математичні моделі, виявлення.

### Вступ

Аналіз статичних графів використовується в ряді прикладних областей, таких як аналіз веб-графів, аналіз соціальних мереж, біоінформатика, інформаційна безпека та ін. Досить часто реальні графи можуть досягати дуже великих розмірів, так що обробка таких графів вимагає величезних обчислювальних ресурсів і використання технологій розподілених і / або паралельних обчислень. У контексті майбутніх тенденцій на зближення технологій обробки великих даних (Big Data) і паралельних обчислень із застосуванням високо-продуктивних обчислювальних комплексів (ВОК) [1], паралельна обробка великих графів є тією прикладною областю, де злиття цих двох технологічних парадигм виявляє себе найпомітніше. Як і будь-яка інша інженерно-технічна дисципліна, паралельне програмування вимагає певної кваліфікації, яку можна отримати тільки маючи реальний практичний досвід. З іншого боку, фахівці з аналізу даних, як правило, не мають такого досвіду, оскільки їх основне завдання - це розробка математичних моделей і алгоритмів аналізу даних, зокрема із застосуванням теорії графів.

Таким чином, між кінцевими користувачами і існуючими технологіями паралельної обробки графів існує розрив, ліквідувати який покликані спеціалізовані фреймворки, такі як Pregel [2], GraphLab [3], GraphX [4] та ін., і проблемно-орієнтовані мови програмування (DSL). Відмінність підходів в тому, що в DSL використовуються нові синтаксичні конструкції, які можуть бути реалізовані як «зовнішня» мова, тобто із залученням зовнішнього компілятора DSL, так і з допомогою перевантаження операторів базової мови, тоді говорять про вбудовуваний DSL. Другий спосіб часто застосовується при реалізації DSL на базі функціональних мов, наприклад Scala. Графові фреймворки, такі як Pregel, GraphLab,

GraphX, як правило, обмежуються наданням простого і зручного інтерфейсу (API), але з досить потужною підтримкою з боку runtime-системи.

В даній статті ми розглядаємо кілька існуючих DSL для аналізу статичних графів із застосуванням технологій паралельних (OpenMP, MPI, CUDA і ін.) і розподілених (Hadoop [5], Giraph [6], Spark [7] та ін.) обчислень. Для аналізу були обрано кілька існуючих DSL, зокрема Green-Marl [11, 12], OptiGraph, Elixir і Falcon. Всі перераховані DSL є відносно новими академічними розробками. Відзначимо також, що крім DSL для аналізу статичних графів існують проблемно-орієнтовані мови для побудови алгоритмів обходів графа. Прикладами таких мов є SPARQL [8], Cypher [9], Gremlin [10] та ін. Розгляд подібних DSL виходить за рамки даної статті.

**Мета статті:** опис та порівняльний аналіз розглянутих DSL (Green-Marl, OptiGraph, Elixir і Falcon), а також наведення міркувань щодо перспективності застосування мов і їх компіляторів для розробки інструментального середовища аналізу великих статичних графів.

### Green-Marl

Green-Marl [11, 12] – проблемно-орієнтована мова розробки паралельних програм аналізу графів, розроблена в науково-дослідній лабораторії PPL в Стенфордському університеті. Мова Green-Marl призначена для розробки паралельних алгоритмів аналізу статичних графів. Мова Green-Marl є зовнішньою DSL-мовою з власним компілятором. Компілятор підтримує трансляцію програм на Green-Marl в наступні паралельні моделі програмування: OpenMP - для багатоядерних систем зі спільною пам'яттю, і Pregel - для розподілених систем (в якості реалізації Pregel підтримуються GPS і Giraph). Компілятор Green-Marl продовжує розвиватися в одній з дослідницьких лабораторій Oracle в рамках проекту PGX.D,

але вже як комерційний проект. В Green-Marl введені спеціальні типи для опису графа (тип Graph), вершини (Node), ребра (Edge), а також для опису атрибутів вершин (N\_P <тип атрибута>) і ребер (N\_E <тип атрибута>). Можна вказувати сусідів заданих вершин (Nbrs). Крім звичайних операторів, таких як While, Do-While, If, If-Else визначають послідовне виконання програм-ми, в Green-Marl підтримуються оператори для опису паралельних обчислень. Для опису циклів, ітерації яких можуть бути виконані паралельно і незалежно один від одного, в Green-Marl використовується спеціальна конструкція:

```
Foreach (Iterator: Set) (cond) {...} ,
```

де Set – ітераційна множина (наприклад, множина вершин графа, множина сусідів заданої вершини, колекції - впорядковані і неупорядковані підмножини вершин), it - ітератор. Додатково може бути визначена умова, яка задає які з ітерацій повинні бути виконані, тобто можна фільтрувати ітерації.

Семантика Foreach передбачає, що для кожного елемента множини Set будуть виконані операції, визначені в тілі циклу, при цьому порядок виконання ітерацій циклу не заданий. Допускається використання вкладених Foreach-циклів, при цьому операції fork / join для різних витків циклу виконуються незалежно. Приклад вкладеного циклу:

```
Foreach (I: G.Nodes)
```

```
Foreach (J: i.nbrs)
```

```
Foreach (K: j.nbrs) {...} .
```

Також в Green-Marl підтримується цикл For, який відрізняється від Foreach тим, що виконання циклу For з точки зору зміни пам'яті завжди однозначно визначено й існує еквівалентне послідовне виконання For, яке дає такий самий результат.

З точки зору консистентності пам'яті в Green-Marl виділяють послідовну і паралельну моделі. Послідовна модель відповідає послідовним ділянкам коду (наприклад, Do-While), при цьому результат виконання інструкції, що модифікує якусь змінну (або елемент пам'яті), буде доступний для наступних інструкцій. У паралельній моделі консистентності пам'яті порядок виконання записів і видимість результату гарантується тільки в середині паралельного фрагмента для кожного процесу окремо, відповідно, загальний порядок виконання звернень до пам'яті для всіх процесів не визначений. Проте гарантується, що на момент завершення паралельної ділянки коду всі записи будуть виконані. В Green-Marl введена підтримка редукцій, для цього в тілі циклу Foreach використовуються спеціальні оператори: + =, \* =, max =, min =, && =, || =, що позначають додавання, множення, максимум, мінімум, логічне І і логічне АБО, відповідно. Результат редукції може присвоюватися як скалярним змінним, так і атрибутам вершин або ребер. Найпростіший приклад редукції в Green-Marl:

```
int sum = 0;
Foreach (I: G.Nodes) {
  sum += ix;
}
```

Крім того, в Green-Marl підтримуються вбудовані ітератори, що реалізують паралельні обходи

DFS і BFS, що сильно спрощує розробку алгоритмів, так як дані операції (обхід в ширину і обхід вглибину), часто зустрічаються в різних алгоритмах. Синтаксично обхід в ширину виглядає таким чином:

```
inBFS (Iterator: G.Nodes [from |:] root)
((Filter_expr) ([navigator_expr]) {statement_block1}
(inReverse ((filter2_expr)) {statement_block2})
```

Для виконання обходу задається коренева вершина (root), можуть бути задані фільтр для відкидання непотрібних вершин (filter\_expr) і навігатор для задання точки зупину обходу (navigator\_expr); якщо навігатор не заданий, то обхід завершується тільки після відвідування всіх досяжних вершин. При виконанні обходу для кожної аналізованої вершини (якщо значення фільтра для даної вершини істинно) виконується заданий блок інструкцій (statement\_block1). Також можна описати дії, які будуть виконані при зворотньому обході (statement\_block2). Обхід вглибину (DFS) визначається аналогічним чином.

Подання графа (тобто те, яким чином граф буде зберігатися, а також як будуть зберігатися атрибути вершин і ребер) визначається компілятором мови і конкретною платформою, в яку здійснюється трансляція. При трансляції програм в модель Pregel граф представляється стандартним (і єдиним) способом у вигляді вершин, які мають атрибутами, станом (активне і неактивне) і методом compute, що описує програму вершини. На рис. 1 показано процес роботи компілятора Green-Marl мови.

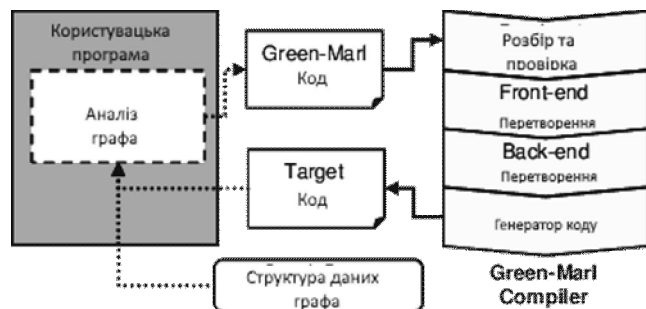


Рис. 1. Процес роботи Green-Marl компілятора

## OptiGraph

Мова OptiGraph - DSL для аналізу статичних графів, оснований на специфікації Green-Marl. Мова OptiGraph, також як і Green-Marl, розроблена в лабораторії PPL в Стенфордському університеті. Концептуальних нововведень з точки зору мови в OptiGraph немає. На відміну від Green-Marl, OptiGraph - вбудований DSL, в якості базової мови використовується функціональна мова Scala. OptiGraph розроблений з використанням систем Delite [20] і Forge [21], призначених для розробки проблемно-орієнтованих мов, також розробляються в Стенфордському університеті. Система розробки високоєфективних проблемно-орієнтованих мов Delite включає генератори коду для багатоядерних систем із загальною пам'яттю (OpenMP), графічних прискорювачів (OpenCL, CUDA). У процесі розробки знаходяться генератори коду для обчислювальних кластерів, а також для ПЛІС (Verilog).



## Elixir

Іншим прикладом проблемно-орієнтованої мови, призначеної для розробки і реалізації паралельних алгоритмів аналізу статичних графів, є Elixir [22]. Мова Elixir розроблена в Техаському університеті в Остіні. Elixir використовує як декларативні, так і імперативні конструкції для визначення обчислень над графом. У Elixir не підтримується структурна трансформація графа (т. Додавання і видалення вершин і дуг). З точки зору реалізації мова Elixir є зовнішньою DSL, тобто для Elixir розроблена своя атрибутивна граматики і транслятор, що перетворює програму на Elixir в паралельний код на C++ з викликами системи підтримки паралельного виконання програм Galois [23]. Основною особливістю Elixir є поділ операцій над графом (в термінах програмної моделі Elixir - операторів) і планування виконання операцій, тобто визначення порядку виконання операторів (в термінах Elixir - планувальників). Для завдання способу застосування операторів до графу використовуються такі вирази: `foreach op`, `for i = low..high op`, `iterate op`, де `op` - це оператор. Вираз `foreach op` одноразово застосовує оператор до всіх співставлених підграфів, `for i = low..high op` застосовує оператор задану кількість разів, `iterate op` застосовує оператор до тих пір поки є хоча б одне коректне зіставлення. Для визначення порядку виконання операцій вибірки підграфів, використовуються планувальники. У Elixir підтримуються статичні і динамічні політики планування.

Таким чином, Elixir є декларативною мовою програмування (з елементами імперативного програмування, наприклад, цикли `for`, `foreach`), заснованою на визначенні операторів над графом і специфікації порядку застосування операторів.

## Falcon

Ще одним прикладом проблемно-орієнтованої мови для обробки статичних графів є Falcon. Falcon розробляється в Indian Institute of Science. Falcon (також як Green-Marl і Elixir) відноситься до класу зовнішніх DSL, але є розширенням C (стандарт C99). В Falcon реалізована підтримка як багатоядерних систем зі спільною пам'яттю, так і графічних прискорювачів. Крім того, підтримуються конфігурації з декількох графічних процесорів, а також гібридна схема обчислень, тобто з одночасним використанням і CPU, і GPU. Falcon є мовою зі строгою типізацією. В доповнення до стандартних типів C Falcon підтримуються такі типи: `Graph` - граф, `Point` - вершина, `Edge` - ребро, `Set` - множина вершин (визначається статично), `Collection` - множина вершин (визначається динамічно). Для визначення паралельних ділянок коду, а також для синхронізації обчислень в Falcon використовуються спеціальні оператори.

## Висновки

В статті розглянуті 4 проблемно-орієнтованих мови програмування, призначених для розробки і реалізації алгоритмів аналізу статичних графів. Особливості розглянутих DSL представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння DSL для аналізу статичних графів

	Green-Marl	OptiGraph	Elixir	Falcon
Тип DSL	Зовнішній	Вбудований (в Scala)	Зовнішній	Зовнішній
Тип мови	Імперативний, процедурний	Імперативний, процедурний	Декларативний з елементами імпер.	Імперативний, процедурний
Підтримка структурних трансф. графа	-	-	-	+
Підтримка багатоядерних систем з загальною пам'яттю	+	+	+	+
	C++/OpenMP		Galois	C++/OpenMP, Galois
Підтримка графічних прискорювачів	-	+	-	+
Підтримка обчисл. кластерів (HPC)	-	-	-	-
Підтримка обчислювальних кластерів (BigData)	+	-	-	-
Відкритий вихідний код	+	+	-	-

Всі розглянуті мови є академічними розробками, спрямованими на дослідження підходів з створення проблемно-орієнтованих мов для паралельного аналізу графів. Концептуально, Green-Marl, OptiGraph і Falcon представляють один підхід до побудови мови, заснований на паралельних конструкціях циклів `foreach` і системі спеціальних типів і ітераторів, що відображають специфіку графових алгоритмів. OptiGraph відрізняється від Green-Marl і Falcon методом реалізації, будучи вбудованим DSL на базі функціональної мови Scala. Крім того, OptiGraph є представником сімейства генерованих DSL для різних областей додатків за допомогою інструментів Forge і Delite. У Elixir використовується зовсім інший підхід до побудови паралельних програм, а саме декларати-

вний з виділенням операторів і специфікації їх застосування. Єдиним з розглянутих мов, які підтримують масово-паралельні обчислювальні комплекси є Green-Marl. Однак ця підтримка реалізована на базі програмних платформ для роботи з великими даними (Giraph і GPS використовують платформу Hadoop для завантаження і вивантаження графів, розроблені на Java), що спочатку є рішенням, орієнтованим на відмовостійкість і масштабування додатків.

Як показав аналіз, підтримки високо-продуктивних кластерів (суперкомп'ютерів) в проблемно-орієнтованих мовах програмування для обробки великих графів на даний момент немає. Беручи до уваги тенденцію на розширення спектра прикладних задач, які виконуються на суперкомп'ютерах, а саме

використання суперкомп'ютерів для рішення аналітичних задач (розуміння даних, машинне навчання, штучний інтелект), стає очевидною потреба в реалі-

зації подібних мовних засобів з нуля або на базі існуючих з орієнтацією на обчислювальні комплекси класу HPC.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Reed DA, Dongarra J. Exascale computing and big data // Communications of the ACM. - 2015. - Т. 58. - №. 7. - С. 56-68.
2. Malewicz G. et al. Pregel: a system for large-scale graph processing // Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data. - ACM, 2010. - С. 135-146.
3. Low Y. et al. Distributed GraphLab: a framework for machine learning and data mining in the cloud // Proceedings of the VLDB Endowment. - 2012. - Т. 5. - №. 8. - С. 716-727.
4. Gonzalez JE et al. Graphx: Graph processing in a distributed dataflow framework // 11th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 14). - 2014. - С. 599-613.
5. Shvachko K. et al. The hadoop distributed file system // 2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST). - IEEE 2010. - С. 1-10.
6. Avery C. Giraph: Large-scale graph processing infrastructure on hadoop Proceedings of the Hadoop Summit. Santa Clara. - 2011. - Т. 11.
7. Zaharia M. et al. Spark: cluster computing with working sets // Hot-Cloud. - 2010. - Т. 10. - С. 10-10.
8. Quilitz B., Leser U. Querying distributed RDF data sources with SPARQL European Semantic Web Conference. - Springer Berlin Heidelberg, 2008. - С. 524-538.
9. Webber J. A programmatic introduction to Neo4j // Proceedings of the 3rd annual conference on Systems, programming, and applications: soft-ware for humanity. - ACM, 2012. - С. 217-218.
10. Rodriguez MA The Gremlin graph traversal machine and language (invited talk) // Proceedings of the 15th Symposium on Database Programming Languages. - ACM, 2015. - С. 1-10.
11. Green-Marl Specification 0.7.1 [https://docs.oracle.com/cd/E56133\\_01/1.2.0/Green\\_Marl\\_Language\\_Specification.pdf](https://docs.oracle.com/cd/E56133_01/1.2.0/Green_Marl_Language_Specification.pdf)
12. Hong S. et al. Green-Marl: a DSL for easy and efficient graph analysis // ACM SIGARCH Computer Architecture News. - ACM, 2012. - Т. 40. - №. 1. - 349-362.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. В. Вишневський,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 22.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

**Обзор проблемно-ориентированных языков программирования для параллельного анализа статических графов**

П. М. Шутка, А. М. Филоненко

**Предметом** изучения в статье являются проблемно-ориентированные языки программирования для параллельного анализа статических графов. **Целью** данной статьи является обзор подходов к реализации проблемно-ориентированных языков программирования на примере Green-Marl, OptiGraph, Elixir и Falcon, предназначенных для анализа статических графов. **Задача:** показать эффективность использования предметно-ориентированных языков программирования в анализе статических графов, которыми могут оперировать не только специалисты в области программирования, но и специалисты разработки математических моделей и алгоритмов анализа данных, в частности с применением теории графов; рассмотреть существующие DSL для анализа статических графов с применением параллельных и распределенных вычислений; отметить существующие предметно-ориентированные языки для построения алгоритмов обходов графа; сравнить DSL с точки зрения выразительности параллелизма и применимости для генерации высокоэффективных параллельных программ для суперкомпьютеров и кластерных систем в виде сводной таблицы с основными свойствами как и их компиляторов. Используемым **методом** является: проведение сравнительного анализа предметно-ориентированных языков программирования. Получены следующие **результаты:** выявлены уровень эффективности использования предметно-ориентированных языков программирования в анализе статических графов; рассмотрены существующие DSL; проведен сравнительный анализ DSL. **Выводы.** В статье были рассмотрены четыре проблемно-ориентированных языка программирования, предназначенных для разработки и реализации алгоритмов анализа статических графов.

**Ключевые слова:** DSL, предметно-ориентированные, анализ статических графов, параллелизм, генерация, таблица, математические модели, обнаружения.

**Review of problem-oriented programming languages for partial analysis of static graphics**

P. Shutka, A. Filonenko

**The subject** of study in the article are problem-oriented programming languages for parallel analysis of static graphs. **The purpose** of this article is to review the approaches to the implementation of problem-oriented programming languages on the example of Green-Marl, OptiGraph, Elixir and Falcon, intended for the analysis of static graphs. **Task:** to show the effectiveness of using domain-specific programming languages in the analysis of static graphs that can be operated not only by specialists in the field of programming, but also by specialists in the development of mathematical models and data analysis algorithms, in particular, using graph theory; consider existing DSL for analyzing static graphs using parallel and distributed computing; compare existing domain-specific languages for building graph traversal algorithms; compare DSL in terms of expressiveness of parallelism and applicability for generating high-performance parallel programs for supercomputers and cluster systems in the form of a pivot table with basic properties as their compilers. **The method used is:** conducting a comparative analysis of domain-specific programming languages. **The following results** were obtained: the level of efficiency of using domain-specific programming languages in the analysis of static graphs was revealed; reviewed existing DSL; A comparative analysis of DSL. **Findings.** The article reviewed four problem-oriented programming languages designed to develop and implement algorithms for analyzing static graphs.

**Keywords:** DSL, domain-specific, analysis of static graphs, parallelism, generation, table, mathematical models, detection.

Н. О. Князева, І. В. Колумба

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

## ВИКОРИСТАННЯ БАЗОВИХ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖІ НЕВИЗНАЧЕНОЇ ТОПОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЇЇ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ

В статті зазначено, що характерними ознаками сучасних мереж є пріоритетне використання бездротового доступу і впровадження в мережу механізмів самоорганізації. При цьому питання оцінки структурної надійності мереж невизначеної топології, в тому числі і самоорганізованих мереж, стають все більш актуальними. Відзначено, що існуючі методи оцінки структурної надійності орієнтовані на застосування для мереж із заздалегідь відомою топологією і в випадках, коли структура мережі постійно змінюється, ці методи виявляються малоприматними. Запропоновано підхід, що передбачає отримання оцінок структурної надійності мереж невизначеною топологією, заснований на урахуванні базових структурних характеристик – розмірності мережі, ступеня її зв'язності, максимально допустимого рангу шляхів (ранг – число гілок (ділянок), що складають шлях), що використовуються для організації зв'язку, який складається в визначенні верхньої і нижньої меж структурної надійності. Верхня межа структурної надійності формується на основі множини шляхів, які можуть використовуватися для організації зв'язків. Нижня межа структурної надійності формується на основі множини розрізів, які поділяють використані шляхи. Множина розрізів визначається на основі отримання двоїстої булевої функції відносно використаних шляхів, представлених в диз'юнктивній нормальній формі. Надано вирази для визначення числа шляхів різних рангів, які можуть бути використані для обслуговування заявок, що надходять в мережу невизначеної топології, а також розрізів, які поділяють шляхи. Представлені вирази, що дозволяють визначити верхню і нижню межі структурної надійності для кожного зв'язку. Надано спосіб отримання середньозваженої оцінки структурної надійності мережі з невизначеною топологією. Виконано приклад реалізації запропонованого способу визначення показника структурної надійності мережі невизначеної топології. Визначено напрямки подальших досліджень.

**Ключові слова:** мережа невизначеної топології, самоорганізовані мережі, структурна надійність, нижня і верхня межа структурної надійності, шлях, розріз.

### Вступ

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних мереж (ТКМ) обумовлює необхідність постійного ускладнення структури мереж і розширення переліку сервісів за рахунок включення нових галузей знань. В останні роки з'являються нові види трафіку і простежується тенденція до збільшення обсягів переданих даних, в першу чергу за рахунок відео і аудіо інформації.

Характерними ознаками сучасних мереж є пріоритетне використання бездротового доступу і впровадження в мережу механізмів самоорганізації. Нові мережі перестають володіти стійкою структурою і перетворюються в так звані самоорганізовані мережі (СМ). Це децентралізовані бездротові мережі, які не мають постійної структури, в яких число вузлів і число зв'язків між вузлами є випадковими в часі величинами, що можуть змінюватися до деякого максимального значення [1]. Будь-який вузол такої мережі може переслати дані, призначені іншим вузлом. При цьому визначення того, якому вузлу переслати дані, проводиться динамічно, на підставі зв'язності мережі в певний момент часу.

Необхідність у використанні нового типу мереж, без визначеної заздалегідь топології і здатної адаптуватися до мінливих характеристик каналів зв'язку, виникла з розвитком всепроникаючих мереж. Перші комерційні самоорганізовані мобільні мережі були розгорнуті в США і Японії в 2009-2010 роках.

Вивченню питань проектування та розвитку СМ присвячений ряд праць (А.С. Кучерявого, О.В. Рослякова, О.І. Пармонова, Є.А. Кучерявого, В.Г. Карташевського, Д.О. Молчанова, С.С. Махрова, Neha Rathi, G. Bianchi та інших). У більшості праць відзначається, що застосування СМ має ряд переваг над бездротовими мережами традиційної (визначеної) топології за рахунок можливості самоконфігурації, самооптимізації і самовідновлення. Такі характеристики СМ дозволяють забезпечувати адаптацію пристроїв мережі при зміні її параметрів (наприклад, кількості користувачів, рівня сигналу, рівня зовнішніх перешкод та ін.); забезпечувати перерозподіл функцій між пристроями при виході з ладу будь-яких вузлів мережі для підвищення її надійності та відмовостійкості [1].

Забезпечення надійності в СМ стає все більш актуальним питанням у зв'язку з інтенсивним розвитком цих мереж в останнє десятиліття.

Під надійністю мережі розуміють її властивість зберігати в часі у встановлених межах значення певних параметрів, що характеризують здатність мережі виконувати необхідні функції в заданих умовах застосування і технічного обслуговування [2]. Оскільки ТКМ відносяться до структурних систем, особливе значення для ТКМ набувають питання оцінки структурної надійності.

Структурний аспект надійності відображає функціонування мережі в залежності від працездатності або відмов вузлів або ліній, магістралей, пучків каналів мережі, тобто він пов'язаний з можливістю

існування в мережі шляхів доставки інформації. Тому, коли говорять про структурну надійність (СН), як правило, мають на увазі надійність шляхів і зв'язків [3-5].

На сьогодні методичний апарат аналізу СН достатньо розроблений: відома безліч методів і моделей оцінки СН мереж. Серед них можна виділити універсальні, придатні для аналізу довільних мережевих структур, і спеціалізовані, що враховують певні особливості мережі і за рахунок цього дозволяють отримати для них більш точні оцінки. Велика частина цих методів розрахована на застосування в задачах аналізу мереж визначеної топології.

Питанням оцінки СН складних систем і мереж присвячені праці В.О. Нетеса, М.М. Єгунова, А.В. Харибіна. Проблеми оцінки структурної надійності ТКМ присвячений ряд робіт Ю.М. Руденко, О. Л. Ненова. Для мереж з визначеною топологією в роботі [3] представлений метод отримання СН, заснований на урахуванні базових структурних характеристик. В роботі [4] розглянута можливість використання структурних характеристик для оцінки СН мережі з невизначеною топологією, наведено метод отримання верхньої і нижньої меж СН для окремого зв'язку в мережі.

### Постановка задачі

Існуючі методи оцінки СН орієнтовані на застосування для мереж із заздалегідь відомою топологією. Однак у випадках, коли структура мережі постійно змінюється, ці методи виявляються малопридатними. У ТКМ невизначеної топології (тим більше, коли мова йде про СМ) невідома множина шляхів, які можуть бути використані для обслуговування кожної заявки. Це ускладнює завдання оцінки СН таких мереж.

У цих умовах більш доцільним є підхід, що передбачає отримання оцінок СН ТКМ на підставі урахування одних лише базових структурних характеристик – розмірності мережі, ступеня її зв'язності, максимально допустимого рангу шляхів (ранг – число гілок (ділянок), що складають шлях), які використовуються для організації зв'язку [3]. Таким чином, виникає задача оцінки СН ТКМ з відомим на певний момент часу числом вузлів і шляхів, але заздалегідь невідомою (невизначеною) топологією.

Структура мережі описується традиційною моделлю графа, що представляє мережу у вигляді множини вузлів (вершин)  $N$ , що моделюють пункти мережі,  $|N| = n$ , і множини гілок (ребер)  $L$ , що моделюють прямі зв'язки, які з'єднують пари вузлів,  $|L| = L$ . Зв'язність між парами вузлів забезпечується шляхами у вигляді послідовностей гілок. Ступінь зв'язності характеризується числом шляхів (в загальному випадку залежних), що реалізують зв'язок між парою вузлів, які тяжіють один до одного. В мережі невизначеної топології саме множина  $L$  не задана, але задається її потужність  $L$ , а надійність всіх гілок ( $P_{xy}$ ) вважається відомою. Вузли мережі вважаються абсолютно надійними. Необхідно визначити значення показника структурної надійності ТКМ невизначеної топології при зміні ступеня її зв'язності

(при видаленні певної кількості гілок).

В роботі [3] представлено, що оцінним показником СН ТКМ може виступати показник СН довільного зв'язку в даній мережі. Зв'язок між парою вузлів, наприклад  $i$  і  $j$ , забезпечується шляхами, отже, для оцінки СН цього зв'язку необхідно в першу чергу визначити кількість незалежних для даного зв'язку шляхів.

Для оцінки структурної надійності мережі в роботі [3] отримано вирази для обчислення числа шляхів деякого рангу і числа шляхів рангу не більше  $R$  для зв'язку з  $i$  в  $j$ .

Число  $m$  шляхів деякого рангу  $r$  ( $r = \overline{1, R}$ ) між вузлами  $i$  і  $j$  визначається як число розміщень з  $(n-2)$  елементів по  $r$  елементів:

$$m_{rij} = A_{n-2}^{r-1}. \quad (1)$$

Тоді число шляхів рангу не більше  $R$ , які реалізують один зв'язок з  $i$  в  $j$ , визначається на основі виразу

$$m_{1\dots Rij} = \sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}. \quad (2)$$

Число шляхів певного рангу  $M_r$  у всій повнозв'язаній мережі може бути знайдено за допомогою виразу

$$M_r = \frac{n(n-1)}{2} A_{n-2}^{r-1}. \quad (3)$$

Число шляхів всіх можливих рангів  $M_{1\dots R}$  (від 1 до  $R_{max} = n-1$ ) в повнозв'язній мережі визначається на основі виразу

$$M_{1\dots R} = \frac{n(n-1)}{2} \sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}. \quad (4)$$

В повнозв'язній мережі кількість шляхів першого рангу зв'язку з  $i$  в  $j$  дорівнює 1 (пряма гілка). Кількість шляхів рангу вище першого буде різною і залежить від структури мережі. У реальних ТКМ для реалізації одного зв'язку практично не використовуються шляхи максимальних рангів з міркувань ефективності роботи ТКМ. Обмеження зазвичай виконується на рівні третього-четвертого рангу.

Знаючи загальну кількість шляхів  $m_{1\dots Rij}$  і кількість шляхів деякого рангу  $r$  між вузлами  $m_{rij}$ , можна визначити частку шляхів кожного рангу:

$$X_{ij} = \frac{m_{rij}}{m_{1\dots Rij}} = A_{n-2}^{r-1} / \sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}, \quad (5)$$

де  $m_{rij}$  – число шляхів деякого рангу  $r$  ( $r = \overline{1, R}$ ) між вузлами  $i$  і  $j$ ;  $m_{1\dots Rij}$  – число шляхів рангу не більше  $R$ , які реалізують один зв'язок між вузлами  $i$  і  $j$ .

У разі, якщо мережа є повнозв'язною і її структура відома і не змінюється, можна вважати, що частка шляхів кожного рангу для окремої пари вузлів буде такою ж як і для інших пар, тобто часткове співвідношення кількості шляхів певних рангів зберігається для всіх пар.

При зміні структури мережі, наприклад, збільшенні або зменшенні кількості пунктів, видаленні окремих гілок, часткове співвідношення кількості шляхів різного рангу змінюється. Так, зі збільшенням кількості пунктів мережі  $n$  збільшується і кількість гілок  $L$ . У цьому випадку кількість шляхів більш високих рангів ( $r > 1$ ) істотно зростає, стає більш вагомим, а кількість прямих зв'язків (ранг  $r = 1$ ) істотно не змінюється. У таких ситуаціях оцінити кількість шляхів кожного рангу при різних значеннях  $n$  і  $L$  і потім отримати часткові співвідношення дозволяє моделювання структури мережі.

Таким чином, частка зв'язків кожного рангу може бути обчислена на основі виразу (5), якщо часткове співвідношення зберігається, в протилежному випадку може бути визначена, наприклад, на основі імітаційного моделювання.

ТКМ стає неповнозв'язною при відсутності однієї або декількох гілок. Для переходу від повнозв'язаної мережі до мережі довільної зв'язності використовуємо співвідношення, що дозволяють знайти загальне число шляхів в мережі при відомому числі гілок мережі. У такому випадку число шляхів рангу  $r$  в мережі з деяким числом пунктів  $n$  і деяким числом гілок  $L$  визначається виразом [3]:

$$M_{r,L} = \frac{n(n-1)}{2} C_{n-2}^{r-1} \cdot \left( 1 - \frac{2m_{r,L \max}}{n(n-1)A_{n-2}^{r-1}} \right), \quad (6)$$

де  $L_{\max} = n(n-1)$  – кількість гілок в повнозв'язній мережі;  $l$  – кількість гілок, відсутніх в мережі (відносно числа гілок в повнозв'язній мережі,  $l = L_{\max} - L$ ).

З виразу (6) можна визначити число шляхів рангу  $r$ , що припадають на один зв'язок ( $i-j$ ), в мережі з  $n$  пунктами і  $L$  гілками (7):

$$m_{(ij)r,L} = \frac{M_{r,L}}{g} = \frac{M_{r,L}}{n(n-1)}, \quad (7)$$

де  $g$  — загальне число зв'язків [3].

Число шляхів рангу не більше  $R$ , які можуть використовуватися для одного зв'язку ( $i-j$ ) –  $M_{ij}$ , – визначається на основі виразу (8):

$$M_{st(1...R)} = \sum_{r=1}^R A_{n-2}^{r-1}. \quad (8)$$

Представлені вирази дозволяють перейти до розрахунку верхньої і нижньої меж СН для зв'язку ( $i-j$ ) в мережі з невизначеною топологією.

Пошук всіх альтернативних шляхів рангу не більше  $R$ , що реалізують зв'язок у напрямку, і розгляд їх в якості незалежних для даного зв'язку, дає верхню межу надійності зв'язку між вузлами. Розрахунок верхньої межі СН  $P_{VMCHij}$  для зв'язку ( $i-j$ ) в мережі з невизначеною топологією згідно [4-5] можна виконати таким чином:

$$P_{VMCHij} = 1 - \prod_{\mu_{ij}^k \in M_{ij}} \left( 1 - \prod_{\beta_{xy} \in \mu_{ij}^k} P_{xy} \right) \quad (9)$$

де  $\beta_{xy}$  – ділянка шляху  $\mu_{ij}^k$ ;  $P_{xy}$  – ймовірність безвідмовної роботи ділянки  $\beta_{xy}$ .

Кількість ділянок шляхів відповідного рангу визначається на основі виразу (7).

Відзначимо, що в отриманій множині шляхів  $M_{ij}$  фіксується не послідовність ділянок  $\beta_{xy}$  шляхів,

а кількість ділянок кожного  $k$ -го шляху  $\mu_{ij}^k \in M_{ij}$  з відповідними значеннями  $P_{xy}$ , які можуть визначатися на основі експертних оцінок або статистичних даних. На етапі моделювання роботи мережі можна скористатися одним з чисельних методів (наприклад, методом Монте-Карло, методом Неймана), які дозволяють отримати значення ймовірностей безвідмовної роботи окремих ділянок зв'язків  $P_{xy}$ .

В основі методу Монте-Карло лежить генерація випадкових чисел, які повинні бути рівномірно розподілені в інтервалі (0; 1) [6]. Якщо потрібно, щоб випадкове число  $x$  знаходилося в інтервалі ( $a$ ;  $b$ ), відмінному від (0; 1), потрібно скористатися виразом для завдання зміщення :

$$x = a + (b - a) \cdot r, \quad (10)$$

де  $r$  — випадкове число з інтервалу (0; 1);  $a$  — початкове значення нового інтервалу;  $b$  — кінцеве значення нового інтервалу.

У реальних системах не застосовуються пристрої з низьким значенням надійності, згідно зі статистичними даними ймовірність безвідмовної роботи зазвичай має значення не нижче 0,9. Виходячи з цього при моделюванні для значень  $P_{xy}$ , що генеруються, слід задати інтервал (0,9; 1).

На основі отриманої кількості шляхів  $M_{ij}$  формується множина розділяючих їх розрізів  $\delta_{ij}$  (наприклад, як двоїста булева функція), причому, як і в разі множини шляхів  $M_{ij}$ , для кожного  $q$ -го розрізу  $\delta_{ij}^q \in \delta_{ij}$  фіксується кількість ділянок  $\beta_{xy}$ , які складають розріз, з відповідними значеннями  $P_{xy}$ . Ці дані дозволяють виконати розрахунок нижньої межі СН  $P_{HMCHij}$  окремого зв'язку  $i-j$  в мережі з невизначеною топологією [3, 4]:

$$P_{HMCHij} = 1 - \prod_{\delta_{ij}^q \in \delta_{ij}} \left( 1 - \prod_{\beta_{xy} \in \delta_{ij}^q} P_{xy} \right), \quad (11)$$

де  $\delta_{ij}$  – множина розділяючих розрізів,  $\beta_{xy}$  – кількість ділянок, що становлять розріз, з відповідними значеннями  $P_{xy}$ .

Використовуючи розраховані верхню (9) і нижню (11) межі СН, можна перейти до визначення оцінки СН окремого зв'язку ( $i-j$ ) в мережі – для всіх пар ( $i-j$ ), що тяжіють, виконується розрахунок показника СН як середньозваженої величини значень  $P_{VMCHij}$  і  $P_{HMCHij}$ .

$$P_{ПСНij} = P_{VMCHij} \cdot k_B + P_{HMCHij} \cdot k_H, \quad (12)$$

де  $k_B$  и  $k_H$  – вагові нормовані характеристики ( $k_B + k_H = 1$ ), що визначають важливість (значимість) для знаходження показників  $P_{VMCHij}$  і  $P_{HMCHij}$ , відповідно. Значення даних коефіцієнтів доцільно визначати на основі експертного аналізу.

На основі (12) представимо спосіб визначення оцінки СН всієї мережі. Показник СН для мережі



визначається як середньозважене значення за показниками всіх зв'язків (пар, що тяжіють)  $(i-j)$ :

$$P_{ПСНij} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{СНij} w_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}, \quad (13)$$

де  $w_{ij}$  – вагові характеристики окремих зв'язків, які визначають пріоритет кожного зв'язку. Значення коефіцієнтів  $w_{ij}$  ненормовані і можуть бути представлені в балах, наприклад, за 10 або 100-бальною системою оцінки.

Виконаємо приклад розрахунку показника СН для довільного зв'язку  $(i-j)$  за умови, що інтерес для розрахунку представляють шляхи, ранг яких не більше трьох. Нехай на основі виразів (2) і (4) отримане наступне число шляхів множини  $M_{ij}$ : 1 шлях рангу 1; 2 шляхи рангу 2; 4 шляхи рангу 3.

Запишемо множини шляхів  $M_{ij}$  в диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ):

$$M_{ij} = x_1 + x_2x_3 + x_4x_5 + x_6x_7x_8 + x_9x_{10}x_{11} + x_{12}x_{13}x_{14} + x_{15}x_{16}x_{17}. \quad (14)$$

Тут  $x_z$  – позначення гілок, що утворюють дані шляхи з  $i$  в  $j$ . Відзначимо, що відповідно до наведених в даному прикладі позначень, всі шляхи вважаються незалежними, хоча в загальному випадку шляхи можуть бути пересічними.

Будемо вважати відомими ймовірності  $P_z$  безвідмовної роботи ділянок  $x_z$  мережі:

$$\begin{aligned} P_1 = P_3 = P_5 = P_7 = 0,98; \\ P_2 = P_4 = P_6 = P_8 = 0,99; \\ P_9 = P_{11} = P_{13} = P_{15} = 0,985; \\ P_{10} = P_{12} = P_{14} = P_{16} = P_{17} = 0,995. \end{aligned}$$

Тоді верхня межа СН  $P_{ВМСНij}$  визначається відповідно до виразу (9) таким чином:

$$\begin{aligned} P_{ВМСНij} = 1 - (1 - p_1) \cdot ((1 - p_2 p_3)) \cdot (1 - p_4 p_5) \times \\ \times (1 - p_6 p_7 p_8) \cdot (1 - p_9 p_{10} p_{11}) \times \\ \times (1 - p_{12} p_{13} p_{14}) \cdot (1 - p_{15} p_{16} p_{17}). \end{aligned} \quad (15)$$

Використовуючи задані значення ймовірностей  $P_z$  безвідмовної роботи ділянок  $x_z$  мережі, отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{ВМСНij} = 1 - (1 - 0,98)(1 - 0,99 \times 0,98) \times \\ \times (1 - 0,99 \times 0,98)(1 - 0,99 \times 0,98 \times 0,99) \times \\ \times (1 - 0,985 \times 0,995 \times 0,985) \cdot (1 - 0,995 \times 0,985 \times 0,995) \times \\ \times (1 - 0,985 \times 0,995 \times 0,995) = 0,99999999985. \end{aligned}$$

Для отримання значення нижньої межі СН  $P_{НМСНij}$  слід на основі множини шляхів  $M_{ij}$  отримати множини розділяючих розрізів  $\delta_{ij}$ . Для цього для функції (14), представленій в ДНФ, отримаємо двоїсту булеву функцію в кон'юнктивній нормальній формі (КНФ):

$$\begin{aligned} \delta_{ij} = x_1(x_2 + x_3)(x_4 + x_5)(x_6 + x_7 + x_8) \times \\ \times (x_9 + x_{10} + x_{11})(x_{12} + x_{13} + x_{14}) \times (x_{15} + x_{16} + x_{17}). \end{aligned} \quad (16)$$

Виконавши перетворення КНФ в ДНФ, отримаємо множини розрізів (17):

$$\begin{aligned} \delta_{ij} = x_1x_2x_4x_6x_9x_{12}x_{15} + x_1x_3x_4x_6x_9x_{12}x_{15} + \\ + \dots + x_{13}x_5x_8x_{11}x_{14}x_{17}. \end{aligned} \quad (17)$$

Відповідно до (11) отримаємо вираз для розрахунку  $P_{НМСНij}$  (18):

$$\begin{aligned} P_{НМСНij} = (1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_4)(1 - p_6) \times \\ \times (1 - p_9)(1 - p_{12})(1 - p_{15})) \cdot (1 - (1 - p_1)(1 - p_3) \times \\ \times (1 - p_4)(1 - p_6)(1 - p_9)(1 - p_{12})(1 - p_{15})) \times \dots \quad (18) \\ \dots \times (1 - (1 - p_1)(1 - p_3)(1 - p_5)(1 - p_8) \times \\ \times (1 - p_{11})(1 - p_{14})(1 - p_{17})). \end{aligned}$$

Використовуючи задані значення ймовірностей  $P_z$  безвідмовної роботи ділянок  $x_z$  мережі, отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{НМСНij} = (1 - (1 - 0,98)(1 - 0,99)(1 - 0,99) \times \\ \times (1 - 0,99)(1 - 0,985)(1 - 0,995)(1 - 0,985)) \times \\ \times (1 - (1 - 0,98)(1 - 0,98)(1 - 0,99)(1 - 0,99) \times \\ \times (1 - 0,985)(1 - 0,995)(1 - 0,985)) \times \dots \times \\ \times (1 - (1 - 0,98)(1 - 0,98)(1 - 0,98)(1 - 0,99) \times \\ \times (1 - 0,985)(1 - 0,995)(1 - 0,995)) = \\ = 0,999999999775. \end{aligned}$$

На основі виразу (12) для прийнятих значень  $k_B = 0,4$  і  $k_H = 0,6$  визначається значення показника  $P_{ПСНij}$  для зв'язку  $(i-j)$ :

$$\begin{aligned} P_{ПСНij} = P_{ВМСНij} \cdot 0,4 + P_{НМСНij} \cdot 0,6 = \\ = 0,99999999985 \cdot 0,4 + 0,999999999775 \cdot 0,6 = \\ = 0,999999999805. \end{aligned}$$

Після виконання розрахунків для всіх зв'язків  $(i-j)$  на основі виразу (13) з урахуванням значень  $w_{ij}$  (вагових коефіцієнтів зв'язків  $(i-j)$ ) визначається значення показника СН ТКМ з невизначеною топологією.

## Висновки

У даній роботі запропоновано спосіб оцінки структурної надійності мереж з невизначеною топологією на основі показника структурної надійності ТКМ  $P_{ПСН}$ , що визначається з використанням нижньої (НМСН) і верхньої (ВМСН) меж структурної надійності. Представлені вирази для визначення числа шляхів різних рангів, які можуть бути використані для обслуговування заявок, що надходять в мережу невизначеної топології, а також розрізів, які поділяють шляхи. На основі визначених верхньої і нижньої меж структурної надійності окремих зв'язків представлений підхід до розрахунку середньозваженої оцінки структурної надійності всієї мережі з невизначеною топологією.

Виконано приклад реалізації запропонованого способу визначення показника структурної надійності мережі невизначеної топології.

Вирішення питань визначення значень ймовірностей  $P_z$  безвідмовної роботи ділянок  $x_z$  мережі, значень  $k_B$  і  $k_H$  (вагових коефіцієнтів, визначаючих важливість, значимість для визначення показників  $P_{ВМСНij}$  і  $P_{НМСНij}$ , відповідно), а також значень  $w_{ij}$  (ва-

гових коефіцієнтів зв'язків ( $i-j$ )), представляє самостійну наукову задачу. У подальших дослідженнях передбачається розробка підходів щодо вирішення зазначених завдань.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. — 312 с.
2. Нетес В. А. Надежность сетей связи в период перехода к NGN. *Вестник связи*. № 1, 2007. С. 126–130.
3. Князева Н. О., Ненов О. Л. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. № 688. Комп'ютерні системи та мережі. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. С. 129–137.
4. Князева Н. А., Ненов А. Л. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2011. Т. 9, № 4. С. 318–325.
5. Ненов А. Л. Оценка структурной надежности сети связи на основе учета её структурных характеристик. *Вісник ДУИКТ*. 2013. № 2. С. 33–39.
6. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. Москва: Физматлит, 1973. 312 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. В. Вишневський,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 22.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

### Использование базовых структурных характеристик сети неопределенной топологии для оценки ее структурной надежности

Н. А. Князева, И. В. Колумба

В статье показано, что характерными признаками современных сетей являются приоритетное использование беспроводного доступа и внедрение в сеть механизмов самоорганизации. При этом вопросы оценки структурной надежности сетей неопределенной топологии, в том числе и самоорганизующихся сетей, становятся все более актуальными. Отмечено, что существующие методы оценки структурной надежности ориентированы на применение для сетей с заранее известной топологией и в случаях, когда структура сети постоянно изменяется, эти методы оказываются малоприменимыми. Предложен подход, предполагающий получение оценок структурной надежности сетей неопределенной топологии, основанный на учете базовых структурных характеристик – размерности сети, степени ее связности, максимального допустимого ранга путей (ранг – число ветвей (участков), составляющих путь), используемых для организации связи, состоящий в определении верхней и нижней границ структурной надежности. Верхняя граница структурной надежности формируется на основе множества путей, которые могут использоваться для организации связей. Нижняя граница структурной надежности формируется на основе множества сечений, разделяющих используемые пути. Множество сечений определяется на основе получения двойственной булевой функции относительно множества используемых путей, представленных в дизъюнктивной нормальной форме. Представлены выражения для определения числа путей различных рангов, которые могут быть использованы для обслуживания заявок, поступающих в сеть неопределенной топологии, а также сечений, разделяющих пути. Представлены выражения, позволяющие определить верхнюю и нижнюю границы структурной надежности для каждой связи. Представлен способ получения средневзвешенной оценки структурной надежности сети с неопределенной топологией. Выполнен пример реализации предложенного способа определения показателя структурной надежности сети неопределенной топологии. Определены направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** сеть неопределенной топологии, самоорганизующаяся сеть, структурная надежность, нижняя и верхняя граница структурной надежности, путь, сечение.

### The use of the basic structural characteristics of the network of uncertain topology to assess its structural reliability

N. Kniazieva, I. Kolumba

The article presents that the characteristic features of modern networks are the priority use of wireless access and the introduction of self-organization mechanisms into the network. At the same time, the issues of assessing the structural reliability of networks of uncertain topology, including self-organizing networks, are becoming increasingly relevant. It is noted that the existing methods for assessing structural reliability are focused on applications for networks with a previously known topology and in cases where the structure of the network is constantly changing, these methods are of little use. An approach is proposed that assumes obtaining estimates of the structural reliability of networks of uncertain topology based on taking into account the basic structural characteristics — the network dimensions, the degree of its connectivity, the maximum allowable path rank (rank — the number of branches (sections) that make up the path) used for networks; determining the upper and lower limits of structural reliability. The upper limit of structural reliability is formed on the basis of a variety of paths that can be used to organize connections. The lower limit of structural reliability is formed on the basis of a set of sections that separate the paths used. The set of sections is determined on the basis of obtaining a dual Boolean function relative to the set of paths used, represented in disjunctive normal form. Expressions are presented for determining the number of paths of various ranks that can be used to serve applications coming into the network of uncertain topology, as well as sections that separate paths. Expressions are presented that allow determining the upper and lower limits of structural reliability for each bond. A method for obtaining a weighted average of the structural reliability of a network with an uncertain topology is presented. An example of the implementation of the proposed method for determining the index of structural reliability of a network of uncertain topology has been performed. Directions for further research are identified.

**Keywords:** network of uncertain topology, self-organizing network, structural reliability, lower and upper boundaries of structural reliability, path, section.



О. В. Семко

Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

## ЛОГІКО-СЕМАНТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ ПОТОКІВ ДАНИХ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Визначені проблеми синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних в 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. В якості базової моделі опису маршруту передачі даних в самоорганізованій сенсорній мережі запропоновано семіотичну модель, що ґрунтується на формальній моделі процесів інформаційної взаємодії елементів мережі. На відміну від формальних моделей використання семіотичної моделі дозволяє в процесі ситуаційного управління змінювати усі елементи формальної моделі і формувати моделі, які відображають поточний стан мережі. При створенні розподілених самоорганізованих систем управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології запропоновано застосування технологій, що використовують методи логіко-лінгвістичного (семантичного) моделювання, що дозволяє якісно описувати і вивчати слабо структуровані процеси, явища і системи. Вирішення задачі синтезу і вибору рішень щодо синтезу і вибору рішень щодо стратегії управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології запропоновано розглядати на основі моделі конфлікту взаємодії вузлів мережі, як вирішення задачі дискретної динамічної оптимізації. Синтез і вибір рішень щодо стратегій управління маршрутизацією і вибору маршруту передачі потоку даних в мережі здійснюється у відповідності до значення функції ціни для кожного елемента мережі, що є гегелівським об'єктом, відповідно метрики мережі. Незалежно від обраної метрики мережі метою управління маршрутизацією в СМ є визначення оптимального шляху на графі, який відображає топологію сенсорної мережі. При вирішенні задачі дискретної динамічної оптимізації запропоновано в якості обмеженого ресурсу, що визначає функцію ціни, застосувати параметри, які визначають пропускну спроможність каналів зв'язку при взаємодії вузлів мереж. Канали зв'язку визначають характеристики ребер (дуг) граф-моделі сенсорної мережі варіативної топології, а вузли є елементами розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в мережі.

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

### Вступ

Сучасні тенденції розвитку штучного інтелекту передбачають інтеграцію і гібридизацію різних моделей, напрямів і технологій в напрямку розширення можливостей інтелектуальних систем, в структуру яких вбудовані системи і технології синтезу та вибору оптимальних рішень. При створенні систем інтелектуального управління технічними і технічними ергатичними системами нагальним є застосування технологій, що використовують методи логіко-лінгвістичного (семантичного) моделювання, що дозволяє якісно описувати і вивчати слабо структуровані процеси, явища і системи. Логіко-лінгвістичні (семантичні) моделі мають специфічні особливості:

– змінні, що використовуються в моделях, відображають якісні, а не кількісні значення параметрів, а саме семантичні, якими є слова і терміни мови, а не числа;

– зв'язки між змінними і параметрами моделі визначаються не мають не математичними залежностями і рівняннями, а семантичні з використанням виразів і фраз мови;

– оцінка ефективності визначається не математичними співвідношеннями, а вербальними описами позицій, рекомендацій або іншого варіанту рішення.

Розрахунково-логічні системи, які використовують логіко-лінгвістичні моделі, застосовуються для рішення задач управління без початкових даних, програмування і не залежить від складності алгоритмів

рішення задачі синтезу і вибору рішень. Зазначені системи базуються на функціонально-семантичному типу мереж. Саме застосування логіко-лінгвістичних моделей створює можливість створення розподіленої СИУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ.

*Метою статті* є новий підхід до вирішення задач управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ, що базується на методах логіко-лінгвістичного моделювання детермінованої предметної області на основі семантичного аналізу текстової інформації, виявлення логіко-семантичних зв'язків між основними термінами мови взаємодії вузлів сенсорної мережі а також усунення протиріч і неоднозначності смислових понять при взаємодії вузлів мережі, як елементів розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією ПД.

**Аналіз досліджень та підходи до розв'язання проблеми.** В СИУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ на відміну від фреймово-продукційних моделей знань і синтетичних методів міркувань (індукції, що поєднують механізми, абдукції, дедукції), нейронечітких систем і нейрокомп'ютеринга, що базуються на моделях знань, моделей м'яких обчислень і обчислювального штучного інтелекту, згідно якої логічні засоби можуть використовуватися для обробки інформації, представленої в лінгвістичній формі, доцільним є застосування концепції інтегрованого логіко-лінгвістичного моделювання [1]. Виходячи з цієї концепції здійснюється аналіз і синтез мови, що визначає характер взаємодії елементів СМ, її лексики, синтаксису і семантики, які відображає функціональ-

не і змістовне навантаження мови при описі тих або інших подій і ситуацій під час функціонування СМ ВТ в цілому. Саме мовні структури забезпечують виникнення інформації між елементами СМ при їх взаємодії, що забезпечує функціонування розподіленої СІУ синтезу і вибору оптимальних маршрутів ПД.

## Результати досліджень

**1. Постановка задачі інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в СМ ВТ.** В разі побудови ПП на основі методів ситуаційного управління використовуються семіотичні моделі, що ґрунтуються на формальній моделі [2], яка задається четвіркою

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle, \quad (1)$$

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

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

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle, \quad (2)$$

де  $Z$  - множина значень, які інтерпретуються,  $D$  - правила відображення, які надають відображення  $T \rightarrow Z$  та зворотнє  $Z \rightarrow T$ , тобто приписує 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.

В такому разі семіотична модель  $C(.)$  з врахуванням (2) і (2) визначається четвіркою

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi \rangle, \quad (3)$$

де  $\chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi$  є правилами зміни  $T, P, A, \Pi$ .

На відміну від формальних моделей використання семіотичної моделі  $C(.)$  дозволяє в процесі ситуаційного управління змінювати усі 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, функціонального аналізу та методи штучного інтелекту (ШІ). Найбільш загальною моделлю опису процесів взаємодії конфліктуючих сторін є модель динамічної СІУ.

**2. Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах.** Визначимо синтаксичні правила  $P$  моделі СІУ, що визначена співвідношенням (1) і проведемо його арифметизацію за Геделем [3]. В такому разі формальна модель  $M$  мережі вміщує синтаксичні правила  $P$ , що представляють кінцево-членні послідовності вихідних символів. В такому разі вираз мови і кінцеві послідовності таких виразів закодувати за допомогою чисел, що визначають вузли мережі, а їх послідовність визначає ламану лінію маршруту ПД на множині цілих додатних чисел, що до-

зволяє відобразити усі вирази в моделі  $M$  відобразити на множину натуральних чисел, як правила і відношення синтаксичних правил  $P$ . Таким чином, згідно метаторії можна змістовну арифметику для опису синтаксичних властивостей СІУ СМ ПД.

Відповідно способів геделізації виразів і їх послідовностей визначимо дві нумерації: нумерацію формальних виразів і нумерацію кінцевих послідовностей формальних виразів.

Виходячи з фундаментального індуктивного визначення введемо вихідні об'єкти розгляду – формальні об'єкти, якими є елементи синтезованого маршруту ПД: 1)  $D(1)$  - формальний об'єкт; 2) формальні об'єкти  $a_i \forall i = \{1, 2, 3, \dots\}$ ,  $v_n \forall n = \{1, 2, 3, \dots\}$ ; 3) якщо  $\alpha$  і  $\beta$  – формальні об'єкти, то формальними об'єктами є  $(\alpha + \beta)$ ,  $(\alpha \times \beta)$ ,  $(\alpha \approx \beta)$ ,  $(\alpha \rightarrow \beta)$ ,  $(Ea)\beta$ .

Введеним формальних об'єктам, якими є вузли СМ, однозначним чином співпоставимо натуральні числа – геделівські номери цих формальних об'єктів. Кожному вихідному об'єкту співставляється число, а кожній породжуючій операції арифметична операція, яка по геделівським номерам вихідних об'єктів дає геделівський номер породжуемого об'єкту, а саме: геделівським номером об'єкту 1 буде 1; геделівським номером об'єкту виду  $4k+1$ ; геделівським номером об'єкту виду  $v_k$  буде  $4k$ . Якщо  $a$  є геделівський номер об'єкту  $\alpha$ , а  $b$  – геделівський номер об'єкту  $\beta$ , то геделівський номер об'єкту

$$(\alpha + \beta) \text{ буде } 4. J_3(1, a, b) + 2,$$

$$(\alpha \times \beta) \text{ буде } 4. J_3(2, a, b) + 2,$$

$$(\alpha \approx \beta) \text{ буде } 4. J_3(3, a, b) + 3,$$

$$(\alpha \rightarrow \beta) \text{ буде } 4. J_3(4, a, b) + 3,$$

$$(Ea)\beta \text{ буде } 4. J_3(5, a, b) + 3,$$

де  $J_3$  є числова функція, яка нумерує трійки чисел:

$$J_3(a, b, c) = J_2(a, J_2(b, c)),$$

де  $J_2(k, l) = 0, 5 \cdot (k + l - 1) \times (k + l - 2) + l$ .

Запропонований спосіб геделізації дозволяє кожному типу формальних об'єктів однозначно співпоставляти класи чисел – геделівських номерів цих об'єктів. В даному випадку для СМ ПД формальним об'єктам типу  $\frac{1}{n}$  співставляється клас чисел, які діляться без остачі на 4.

На множині формальних об'єктів мережі рекурсивно визначимо синтаксичні властивості і функції, що задані на цих об'єктах мережі.

В такому разі змінна 1-го виду (квантифікуюча змінна) -  $P_1(a) : P_1(a) \rightarrow \exists_{n < a} (a = a_n)$ , змінна 2-го виду (вільна змінна) -  $P_2(a) : P_2(a) \rightarrow \exists_{n < a} (a = v_n)$ , числовий предикат «бути змінною» ( $P(\alpha)$ ) визначається, як:  $P(\alpha) \equiv P_1(a) \vee P_2(a)$ .

Кожному синтаксичному предикату, визначеному на множині формальних об'єктів, легко співпоставити у повній мірі відповідний числовий предикат, який в повній мірі відповідає синтаксичному предикату, що виконується на числах, які є геделів-

ськими номерами формальних об'єктів, на яких виконується синтаксичний предикат.

Для введених вище синтаксичних предикатів вкажемо в повній мірі відповідні їм числові предикати:  $\Pi_1(a)$  відповідає  $\Pi_1(a) \equiv (rm(a, 4) = 0)$ ,  $\Pi_2(a)$  відповідає  $\Pi_2(a) \equiv (rm(a, 4) = 1)$ ,  $\Pi(a)$  відповідає  $\Pi(a) \equiv \Pi_1(a) \vee \Pi_2(a)$ , де  $rm(a, b)$  – примітивно рекурсивна функція – «остача від ділення  $a$  на  $b$ ». В такому разі рекурсивне поняття терма  $T(a)$  можна визначити у вигляді:

$$T(a) = \begin{cases} a = D_1 \\ \Pi(a), \\ a = \beta + \gamma, \\ a = \beta \times \gamma, \end{cases} \quad (4)$$

З іншого боку визначення терма можна представити у вигляді явного з обмеженими кванторами:

$$T(a) = (a = D_1) \vee \Pi(a) \vee (\exists \beta)_a (\exists \gamma)_a ((T(\beta) \& T(\gamma) \& (a = \beta + \gamma)) \vee (\exists \beta)_a (\exists \gamma)_a (T(\beta) \& T(\gamma) \& (a = \beta \times \gamma)))$$

В повній мірі відповідним числовим предикатом для предиката (4) «бути термом» буде предикат

$$T(a) = \begin{cases} a = 1 \\ a \in \Pi, \\ a = 4 \times J_3(1, b, c) + 2, \text{де } T(b) \& T(c), \\ a = 4 \times J_3(2, b, c) + 2, \text{де } T(b) \& T(c). \end{cases} \quad (5)$$

Таким чином, згідно (4) терми і формули на відміну від квазітермів і квазіформул не містять вільних входжень квантифікуючих змінних, тобто змінних вигляду  $v_k$ . Слід зазначити, що синтаксичний предикат, яким для СМ є функція, яка визначає кількісне зачення елементу маршруту ПД, є примітивно рекурсивним, і в повній мірі визначає відповідний йому числовий предикат.

Таким чином, усі синтаксичні поняття і усі відповідні їм числові предикати (5) і функції є рекурсивними або рекурсивно переобчисленими і можуть бути описані в СІУ маршрутизацією ПД в СМ, яка містить рекурсивну арифметику.

**3. Визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих сенсорних мереж.** Управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ є одним з найважливіших завдань організації функціонування мереж. Синтез і вибір рішень щодо стратегій управління маршрутизацією і вибору маршруту ПД в мережі здійснюється у відповідності до значення функції ціни для кожного елемента мережі, що є гегельським об'єктом, відповідно метрики мережі. Незалежно від обраної метрики мережі метою управління маршрутизацією в СМ є визначення оптимального шляху на графі, якій відображає топологію СМ. При моделюванні архітектури і топології СМ управління маршрутизацією в мережі за умов мінімального залучення мережеских ресурсів є ключовою. Процеси в СМ забезпечуються в припущенні гарантованого знаходження маршруту від вузла

джерела до вузла-отримувача ПД при резервуванні частки пропускної спроможності каналів.

В такому разі можна застосувати модель СМ з заявками на послідовну в часі передачу ПД між вузлами мережі з використанням оригінального евристичного алгоритму інтегрального усікання варіантів [4, 5] за умов забезпечення найбільшого сумарного об'єму трафіку і мінімізації ресурсів мережі, що забезпечують пропускну спроможність ПД.

Гарантоздатність СМ ПД забезпечується алгоритмом маршрутизації та технологічно імплементованими в ПЗ управління маршрутизацією засобами забезпечення конфіденційності і цілісності при обміні даними – засобами криптографічними ахисту інформації (КЗІ), що за функціональним профілем захищеності забезпечують рівень гарантій безпеки мережі [6–9]. Метод управління маршрутизацією ПД в мережі забезпечує стійкість функціонування СМ в разі нестабільного функціонування мережевого інтерфейсу, відмов обладнання, а також зовнішніх і внутрішніх впливів на функціональний стан мережі.

Математичну модель СМ ПД може бути представлена зв'язковим графом

$$G = (V, E), \quad (6)$$

де  $V$  – множина вузлів графа, що представляє СМ,  $E$  – множина ребер графа, що з'єднує вузли і відображає можливий маршрут ПД.

Згідно (6) кожному ребру  $e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$  графа  $G$  поставлено у відповідність невід'ємне число  $c_{ij} \geq 0$ , що визначає пропускну здатність ребра, як функцію ціни при ПД між вузлами  $i$  і  $j$ . Введемо таке поняття ПД  $f$  між вершинами  $s$  і  $t$ , яка є додатньою функцією на ребрах графа  $G$   $f_{ij} \geq 0$  за умови того, що ПД не накопичується в проміжних вузлах мережі між вузлами  $s$  і  $t$ , тобто

$$\sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\} \quad (7)$$

і не перевищує пропускної спроможності каналу ПД, а саме  $f_{ij} \leq c_{ij}$  і  $e_{ij} \in E$ . Виходячи з (7) залишкова пропускна здатність ребра  $e_{ij}$  визначається як різниця пропускної здатності ребра і ПД по ньому, тобто  $c_{ij}^f = c_{ij} - f_{ij}$ . В такому разі з графу мережі  $G$  отримуємо залишкову мережу  $G' = (V, E^f)$ , в якій залишаються ребра з додатною залишковою пропускну спроможністю.

Виникнення ПД в СМ визначається як поява заявки в мережі між парою вершин з множини  $\{\{s_1, t_1\}, \dots, \{s_n, t_n\}\}$  вузлів СМ. Час життя заявок обмежений обслуговуванням заявок за умови встановленого маршруту ПД між вузлами СМ. Тим самим забезпечується вивільнення пропускної спроможності ребер мережі, Якщо заявка була задоволена і маршрут між вузлами був прокладений, після закінчення часу життя ознака наявності заявки скидається, звільняючи відповідну пропускну здатність ребер мережі.

Множина ПД між кожною парою вузлів через вузол є продуктом  $\{s_m, t_m\}$  називається продуктом  $v_m$ .

Залежно від способу визначення вартості дуг моделі мережі для визначення функції ціни застосовується субоптимальний мінімально-розрізний алгоритм, що орієнтований на синтез і вибір маршруту ПД з застосуванням ребер граф-моделі СМ (6), які мають найбільший резерв пропускної спроможності каналів і мінімальну кількість елементів синтезованого маршруту. Такий алгоритм забезпечує обслуговування найбільшою кількістю заявок ПД.

**4. Математична модель управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах.** Синтез і вибір рішення СІУ за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення гарантоздатності здійснюється на основі певної альтернативи, отриманої на основі аналізу об'єкта управління і його функціонального стану. На підставі відомостей про навколишнє середовище і свій стан в СМ за наявності пам'яті і мотивації синтезується мета. Математична модель синтезу і вибору управління маршрутизацією ПД в розподіленій СІУ СМ, що складається з СІУ вузлів, базується на критерії (функції ціни) вибору оптимального маршруту ПД.

Визначимо множину критеріїв або ситуацій, що можуть бути визначені  $n$ -мірним вектором, компоненти якого  $h_i \in R^+, \forall i = \overline{1, n}$  описують спосіб, якість або передумову використання того чи іншого методу управління за параметром, що належить скінченній впорядкованій множині можливих значень  $n$ . При цьому створюється взаємозв'язок, що визначається множинним відношенням

$$(h_1, h_2, \dots, h_n) \in H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n. \quad (8)$$

Набору векторів (8) приписують значення  $y_j, j = \overline{1, \dots, k}, k \leq n$ , що встановлює відповідність множини наборів передумов  $h_i$  і стратегії управління  $y_j$ .

Таким чином може бути обрана функція, що визначає множину стратегій управління маршрутизацією

$$\begin{cases} f : H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n \rightarrow Y; \\ Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \forall y_j \in [0, \dots, 1], j = \overline{1, \dots, k}, k \leq n. \end{cases} \quad (9)$$

В такому разі синтез і вибір стратегії управління маршрутизацією ПД формально має вигляд таблиці, як задається наборами маршрутів

$$((h_1, h_2, \dots, h_n), y_j), \forall j = \overline{1, \dots, k}. \quad (10)$$

Враховуючи те, що в загальному випадку таблиця, яка визначена співвідношеннями (9) і (10) має великий розмір множину стратегій для вибору маршруту ПД в СМ ВТ можна визначити гегелівськими парами, як ребрами граф-моделі СМ, що відповідає формальній моделі (1):

$$((\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n), y_j), \forall j = \overline{1, \dots, k}, \quad (11)$$

де  $\sigma_i, i = \overline{1, \dots, n}$  - підмножина  $h_i, (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$  - стратегії, які визначають маршрути ПД.

Таким чином, в повній системі завдання вибору (11) згідно критерію (7) обирається рішення щодо маршруту ПД в СМ. Відповідно до прийнятого рішення синтезується управління щодо послідовності взаємодії вузлів СМ на маршруті ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача. По завершенню ПД вузол-відправник закінчує обслуговування заявки на ПД.

## Висновки

Якісно новим підходом до вирішення задач управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ є логіко-лінгвістичне моделювання детермінованої предметної області на основі семантичного аналізу текстової інформації, в тому числі виявлення логіко-семантичних зв'язків між основними термінами мови взаємодії вузлів мережі, а також і усунення протиріч і неоднозначності смислових понять. Крім того, важливою структурною складовою СІУ СМ є розробка словника-тезауруса, що особливим чином описує мовні одиниці, складові поняття опису стану взаємодії елементів СМ. Створення такого тезаурусу і використання його в лінгвістичному забезпеченні СІУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ дозволить підвищити її ефективність і забезпечити гарантоздатність. При дослідженні методів інтелектуального управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ застосовано методологію:

- системно-структурного аналізу процесів взаємодії вузлів мережі, як дослідження явища в цілому, що складається з системи підструктур, які, у свою чергу, складаються з елементів, і в якості підсистем входять в систему більш високого рівня;

- системно-функціонального аналізу процесів забезпечення гарантоздатності при функціонуванні СМ, як дослідження з метою визначення усіх основних взаємозв'язків вузлів мережі з процесами управління маршрутизацією ПД, як з внутрішнім так і з зовнішнім середовищем гетерогенної мережі, що включає систему передачі даних мереж *intranet/internet*;

- 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 ПД в СМ ВТ 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 управління сенсорними мережами.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с.
2. Зеляновський М.Ю. і Тимченко О.В. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу. *Моделювання та інформаційні технології*. Вип. 50. С. 192-200, 2009.
3. Смирнова Е.Д. Основы логической семантики: Учебное пособие. М.: Высш. шк., 1990. 144 с.

4. Семко В.В. Вирішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, вип. №2, С. 40-50, 2015.
5. Семко О.В. і Семко В.В. «Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів.» *Проблеми інформатизації та управління*, вип. 2(46), pp.60-71, 2014.
6. Семко В.В., Бурячок В.Л., Толюпа С.В. і Складаний П.М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Вісник НУ «ЛП»: Радіоелектроніка та телекомунікації*, № 818. pp.151-155, 2015.
7. Семко В.В., Бурячок В.Л., Толюпа С.В. і Складаний П.М. «Ситуаційне управління доступом в інформаційно-телекомунікаційній системі.» *Проблеми телекомунікацій*, №2(17), pp.54-61, 2015.
8. Семко О.В. Інформаційно-телекомунікаційна система видачі медичних довідок. *Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави. Мат. НТК 18 грудня 2014 року*, pp. 96-97, 2014.
9. Семко О.В. і Ящук Д.Ю. Математична модель захищеної інформаційно-телекомунікаційної системи. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Матеріали доповідей: 10-11 березня 2016 року*, pp.98-99, 2016.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received 22.10.2018  
Accepted for publication 28.11.2018

### Логико-семантическая модель управления маршрутизацией потоков данных в сенсорных сетях

А. В. Семко

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. В качестве базовой модели описания маршрута передачи данных в самоорганизующихся сенсорной сети предложено семиотическую модель, основанную на формальной модели процессов информационного взаимодействия элементов сети. В отличие от формальных моделей использования семиотической модели позволяет в процессе ситуационного управления изменять все элементы формальной модели и формировать модели, отражающие текущее состояние сети. При создании распределенных самоорганизующихся систем управления маршрутизацией потоков данных в сенсорных сетях вариативной топологии предложено применение технологий, использующих методы логико-лингвистического (семантического) моделирования, что позволяет качественно описывать и изучать слабо структурированные процессы, явления и системы. Решение задачи синтеза и выбора решений по синтезу и выбора решений по стратегии управления маршрутизацией потоков данных в сенсорных сетях вариативной топологии предложено рассматривать на основе модели конфликта взаимодействия узлов сети, как решение задачи дискретной динамической оптимизации. Синтез и выбор решений по стратегии управления маршрутизацией и выбора маршрута передачи потока данных в сети осуществляется в соответствии со значением функции цены для каждого элемента сети, что является гегелевским объектом, соответственно метрики сети. Независимо от выбранной метрики сети целью управления маршрутизацией СМ является определение оптимального пути на графе, которой отражает топологию сенсорной сети. При решении задачи дискретной динамической оптимизации предложено в качестве ограниченного ресурса, определяет функцию цены, применить параметры, которые определяют пропускную способность каналов связи при взаимодействии узлов сетей. Каналы связи определяют характеристики ребер (дуг) граф-модели сенсорной сети вариативной топологии, а узлы являются элементами распределенной системы интеллектуального управления маршрутизацией потоков данных в сети.

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

### Logic-semantic model for managing data stream routing in sensory networks

O. Semko

The problems of synthesis and choice of solutions for controlling the routing of data streams in conflicting sensor networks of variable topology in the conditions of limitations and uncertainties are identified. The approach to the creation of a distributed intelligent routing control system in self-organizing sensor networks based on the use of multi-level set-theoretic and mathematical models that determine the essence of the system of intelligent control of an object is considered. As a basic model for describing the route of data transmission in a self-organizing sensor network, a semiotic model is proposed based on a formal model of information interaction processes of network elements. In contrast to the formal models of using the semiotic model, in the process of situational management it is possible to change all the elements of the formal model and form models reflecting the current state of the network. When creating distributed self-organizing control systems for streaming data flows in sensor networks of variational topology, the use of technologies using logical-linguistic (semantic) modeling methods is suggested, which allows qualitatively describing and studying weakly structured processes, phenomena and systems. The solution of the synthesis problem and the choice of solutions for synthesis and decision-making on the strategy of managing the routing of data flows in sensor networks of the variational topology is proposed to be considered on the basis of the model of interaction of the network nodes as a solution to the problem of discrete dynamic optimization. The synthesis and selection of decisions on the strategy of controlling the routing and choosing the route for transmitting the data stream in the network is carried out in accordance with the value of the price function for each network element that is a Hegelian object, respectively, the network metrics. Regardless of the selected network metric, the purpose of controlling the SN routing is to determine the optimal path on the graph, which reflects the topology of the sensor network. When solving the problem of discrete dynamic optimization, it is proposed as a limited resource, determines the price function, apply parameters that determine the bandwidth of communication channels in the interaction of network nodes. Communication channels determine the characteristics of the edges (arcs) of the graph-model of the sensor network of the variable topology, and the nodes are elements of a distributed system of intelligent control of the routing of data flows in the network.

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

O. Shefer<sup>1</sup>, N. Ichanska<sup>2</sup>, B. Topikha<sup>1</sup>, V. Shefer<sup>1</sup><sup>1</sup> Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine<sup>2</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## THE WAYS OF TECHNICAL REALIZATION OF ADAPTIVE ALGORITHM OF COMPENSATION OF NON-LINEAR DISTORTIONS OF RADIO DEVICES

The practical realization of potential opportunities of onboard radio local systems of radio local systems (OBRLS) that are currently considerably higher than their real approachable technical characteristics is one of the main tasks of modern theory and practice of electronic and telecommunication. The authors of the article proposed some specific technical offers and ways of physical realization of scientifically grounded algorithm of adaptive compensation of non linear distortions (ACNLD). The insertion of artificial main and supportive entrances into the scheme of non-linear adaptive compensators allowed using the general theory of adaptive systems for their synthesis. The practical usage of synthesized following such a principle ACNLD according to the created recommendations allows to significantly increase the indices of quality of OBRLS in the real conditions of their functioning, comparing with the already known ones. An additional advantage of proposed adaptive method of expansion of linear dynamic diapason (LDD) is an improvement of all-weather of OBRLS and increasing of probability of identification of radio local maps of locality captured in different weather conditions without any additional changeovers. Except for this, a flexible reserve for the noise immunity of OBRLS is being fulfilled that allows taking into consideration the possible improvements of means of radio electronic struggle. Synthesized ACNLD are considerably free from many drawbacks of linear determined means of expansion of dynamic diapason of radio receiving devices (RRD) and also they have simpler apparatus realization. Except, in a process of projection of ACNLD a considerably less volume of a priori information about the parameters of LDD is needed for the calculation of already known schemes of depression of non-linear distortions. The transferring functions of adaptive filters of ACNLD are quite quickly gather at the non-linear transferring function of radio device (RD) provided that an effective convergence can be seen only with the presence of the inner noises at least unless they exceed the non-linear distortions by the level.

**Keywords:** radio device, adaptive compensator, non-linear distortion, internal noises, amplitude characteristic, dynamic diapason.

### Introduction

The opportunities of practical realization of OBRLS are considerably limited by an amount of internal (relatively low apparatus reliability and non-stability of parameters, limitedness of dynamic diapason of radio receiving devices of OBRLS) and external (unsteadiness of conditions of expansion of radio waves in time, falling of obstacles on the entrance of RRD). This, first of all, explains currently noticeable lagging of the real indices of quality of functioning of OBRLS from their potential opportunities.

The weightier factor that significantly influences on the quality of functioning of OBRLSs and their noise-immunity in conditions of radio electronic struggle is the limitedness of dynamic diapason of the real RRDs as a consequence of the non-linearity of their amplitude characteristics (AC).

The known linear adaptive compensators of non-linear distortions can be characterized by the presence of the main and the supportive entrances. The mixture of beneficial signal and obstacle [1-3] is correspondingly comes to these entrances.

Herewith, the obstacle in the supportive entrance is correlated only the signal of the obstacle from the main entrance and is statistically not connected (or less correlated) with the beneficial signal [1].

To have the possibility to directly use the mathematic apparatus of theory of adaptive systems [1, 4, 5] and with the purpose of formalization of the task of adaptive compensation of non-linear distortions imagine the exit and the entrance of monodimensional radio devices (RD) as the main the supportive entrances of non-linear adaptive compensator, correspondingly. The

mentioned entrances will be further called adaptive compensators of non-linear distortions (ACNLD) [1, 6].

**The purpose of the article:** is the development of scientifically grounded device of adaptive compensation of nonlinear distortions.

### The main part

For any RRD (for which the type of the signal and the method of receiving are determined) the acceptable possibility of the error of  $P_0$  determines the precise meaning of the necessary ratio signal/noise  $h_{ef}$ . In the process of coordinated filtration, the mentioned necessary meaning  $h_{ef}$  is directly connected with the force of receiving signal  $S$  and the spectral density of the noise  $N_0$  by the expression:  $h_{ef} = ST/N_0$

according to [7]  $V_u = \frac{1}{T} = \frac{S}{N_0 h}$ . In the radio technical systems with the low level of signal, when  $S/N_0 F \ll 1$ , the relation of the real velocity of transmission of information to the theoretical passing ability of the channel. It looks like:

$$\eta_{ef} = \frac{V_u}{C_\infty} \equiv \frac{1}{h} \log_2 e \approx \frac{0,963}{h}. \quad (1)$$

So, if, for instance, in the binary system of a relative phase-subtracting modulation for ensuring the probability of the error  $P_0 = 5 \cdot 10^{-4}$  it is needed to have  $h = 6,93$  (8,4 dB), then the effectiveness of such a OBRLS will be equal to 10% for the velocity of receiving-transferring. According to the fact that



during the approaching of velocity of receiving-transferring to the theoretical passing ability of channel of improvement of the connection system gives even less effect (maximally possible improvement don't exceed 10 dB, like it was mentioned in the researches [7]), received OBRLS with velocity should be considered to be relatively high and it can be beforehand predicted that the further increasing of effectiveness of the real radio technical systems that are working for the channels with additive Gaussian noise will face considerable difficulties.

**The researches of possibilities of physical realization and the checking of ACNLD's capacity to work.** With the purpose of increasing of significance of experimental researches for the task of improving of the indices of quality of OBRLS, this experiment will be better carried out on the example of expansion of the linear dynamic diapason of the narrow-band magnifier, since RDs of such a type make the main contribution into non-linear distortions in radio receiving devices (RRD) of OBRLS [6, 7]. Taking into consideration that dynamic diapason of the narrow-band magnifiers is limited on the whole by non-linear distortions of the third row [4], the choice of mentioned RD allows simplifying the structure of ACNLD (when  $l=3$ ) and receiving the results of experimental researches that will have the exact physical treating and exact practical significance.

Having took into consideration the mentioned more precise definitions, a development of ACNLD of the third row was carried out. A coefficient of transferring of the narrow-band magnifier that was constructed on the basis of the micro scheme TL071 is equal to 10 (on the central frequency of the passing strip – 100 kHz) [8]. Multipliers were built on the integral micro schemes MC1496 [8]. The necessity of using of auto compensation of the constant component constructed on the basis of an integral micro scheme LM118, is conditioned by the presence in the outgoing signal of the micro scheme MC1496 a considerable (up to 5 V) constant component that can break the normal work of the next cascades [8]. Besides, for the improvement of conditions of coordination of cascades to the exit of micro schemes LM118 connected emitting repeaters that are constructed on the transistors NTE101 [8]. A magnifier of the circle of reverse connection ACNLD, integrator and counter (a device of subtraction) are built with the help of micro schemes LM118 of emitted repeaters collected on the basis of transistors NTE101 [8].

Taking into consideration Given the need to measure the dynamic range of the narrowband amplifier, it is advisable to use the standard methodic to experimentally determine the dynamic range of electronic amplifiers with a decrease in sensitivity [9]. This methodic is based on measuring the amplitude characteristics of the amplifier. At the same time, the upper limit of its dynamic diapason is considered to be the value of the input (output) signal, which corresponds to the point of the graph of the amplitude characteristic of the amplifier, which defines on the axis of the ordinate from the ideal linear input-output dependence

at a distance that corresponds to the sensitivity of the measuring RD [8].

For the metrological support of this measurement methodic, it is necessary to use an input signals' generator and an output voltage meter, in the process of measurement it is also recommended to control the shape of the output signal and its spectral characteristics [1, 10].

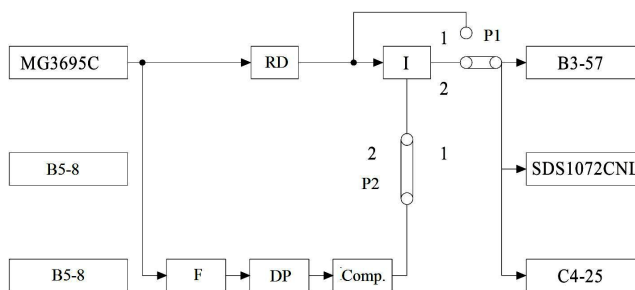


Fig. 1. Functional scheme of experimental installation

According to this, a set of measuring instruments with the technical characteristics of developed ACNLD model is needed to carry out this experiment. A set must include: the high-frequency signal generator MG3695C; microvoltmeter B3-57; oscilloscope SDS1072CNL and spectrum analyzer C4-25. Following that the MC1496 and LM118 micro schemes require a constant voltage of  $\pm 9$  V and for TL071 micro schemes  $\pm 9$  V it is advisable to use two power sources B5-8.

Based on the above clarifications, an experimental installation was developed, the functional scheme of which is presented in Fig. 1 [6]. During the checking the performance of the ACNLD model, the switch P1 was set to position 2, and the switch P2 was moved from position 1 to position 2 and back. To provide a visual representation of the effect of inhibition of nonlinear distortions using ACNLD, as RD, at this stage of the program's implementation of the experiment, a transistor frequency multiplier on 3, constructed on transistors NTE101, was used. In this case, the frequency of the input monochromatic signal was 100 kHz, and its amplitude was 0.5 V. The spectrographs of the signal at the output of the subtracting device when (P2-2) is disconnected and (P2-1) connected to the ACNLD taken from the screen of the spectrum analyzer C4-25. Here, the first harmonic of the output signal of the frequency multiplier for the convenience of observation is combined with the beginning of the reference. The obtained experimental results can be physically interpreted as the suppression of large nonlinear distortions on the background of a weak useful signal without distorting it. Following this, the first, second, fourth, fifth, etc. harmonics of the output signal of the frequency multiplier can be considered as a useful signal [11]. The comparison of spectrographs also confirms the theoretical conclusions that the potential accuracy of inhibition of nonlinear distortions of the third order is limited by nonlinear distortions of higher (first of all - fifth) orders.

To study the effect of the internal noise of the ACNLD model on the quality of its operation, the switches P1 and P2 were locked in position 2. As the



RP, a narrowband amplifier was used [8]. It should be noted that the output voltage of the generator MG3695C was set at the level of sensitivity of the narrowband amplifier ( $\sim 1 \mu\text{V}$ ) at a frequency of 100 kHz. In order to increase the accuracy and reliability of the results at this stage of the program implementation of the experiment a low-noise adder, constructed on the TL071 micro scheme was used as a subtraction device. This adder has a level of internal noise  $\approx (0.6-0.8) \mu\text{V}$  in the frequency band (2.0-2.5) kHz, which is more than 20 dB lower than the amplitude of the minimum output signal of the amplifier equal to (8-10)  $\mu\text{V}$  in the same band of frequencies relative to the central frequency of 100 kHz [8]. With the help of microvoltmeter B3-57, the signal voltage was measured at the output of the ACNLD model. It was about 10  $\mu\text{V}$ .

Then the switch P1 was transferred from position 2 to position 1, the 2nd position of the switch P2. Having convinced by the indicators of the device B3-57 that the internal noise of the subtraction device did not practically affect the output of the narrowband amplifier, the switch P1 was locked into position 2, and the switch P2 moved from the 2nd position to the 1st. In this case, the voltage of the output signal, controlled by the microvoltmeter B3-57, did not change and was 10  $\mu\text{V}$ .

Results of measurements of AC of the narrowband amplifier, performed according to the standard method of experimental determination of the dynamic range of the amplifier to reduce their sensitivity [3, 6, 7], are presented in Fig. 2.

To measure the dynamic range of the narrowband amplifier, the switch P1 was set to the 1st position. In this case, the width of the linear dynamic range of this narrowband amplifier was 63.5 dB.

In the process of measuring the dynamic range of the ACNLD layout, the switch P1 was transferred to the 2nd position with the 1st position of the switch P2. In this case, the width of the linear dynamic range of the ACNLD layout was 100.75 dB.

## Conclusions

The analysis of data received as a result of carrying out described experimental researches allows making the following conclusions:

ACNLD have an exact practical realization on the approachable radio cell basis and are capable to work.

Getting out of action (shutdown) of adaptive filter doesn't lead to reduction of reliability (refusal) ACNLD comparing with the reliability of RD (narrow-band magnifier).

Internal noises ACNLD ( $N_a \approx 40 \mu\text{V}$ ) don't worsen operational characteristics of signals on the exit of ACNLD comparing with the noise characteristics of output signal of RD (narrow-band magnifier –  $N \approx 8 \mu\text{V}$ ).

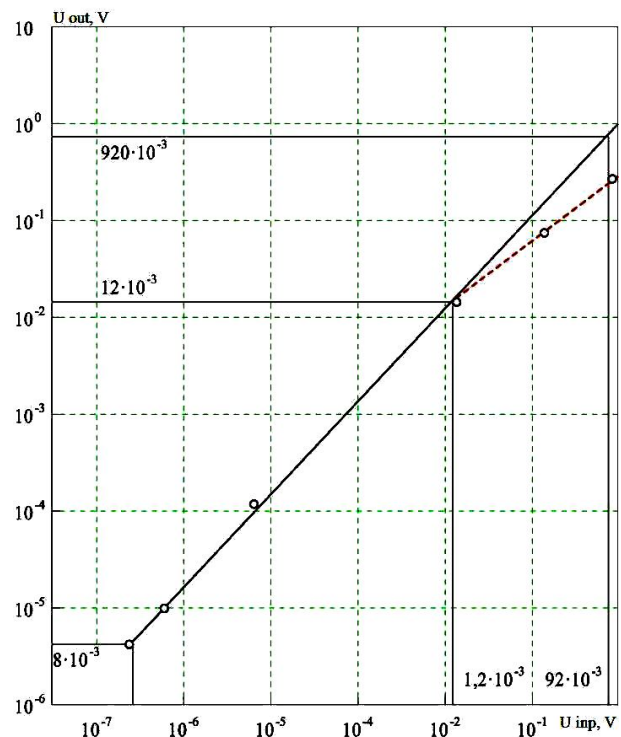


Fig. 2/ Measured AC of the narrow-band RD with the compensator of obstacles with the 3<sup>rd</sup> order: solid line – AC of the narrow-band RD with the compensator; dotted line – AC of the narrow-band RD with the unplugged compensator; (measured meanings are marked with the circles)

The use of the ACNLD of the third row allowed to increase the upper limit of the linear dynamic range by reducing the sensitivity of the narrowband amplifier ( $\Delta f = 2.5$  kHz) to the harmonic input signal ( $f_0 = 100$  kHz) with 1.2 mV - at the input (12 mV - on the output) to 92 mV - at the input (920 mV - output), which corresponds to the expansion of its linear dynamic range from 63.5 dB to 100.75 dB, ie 37.25 dB. The incomplete gain (the theoretically expected result is 60-67 dB) can be explained by the inappropriate use of the dynamic range of the actual ACNLD (first of all its multiplier MC1496, the dynamic range of which in some cases reaches 70 dB).

Indeed, the required level of internal noise ACNLD in accordance with the expression (3.44) should be 1-1.2 mV, and in reality it has an order of 40 mV. Therefore, the upper limit of the dynamic range of the ACNLD was insufficient, which led to the incomplete practical implementation of the potential capabilities of the developed ACNLD layout.

The most important conclusions of the theoretical analysis of the accuracy and dynamic characteristics of the ACNLD and the main provisions of the scientifically based method of their designing have been experimentally confirmed.

## REFERENCES

1. Radioelektronnyie sistemy: osnovyi postroeniya i teoriya / Ed. by Ya. Shirmana. – Moscow: ZAO MAKVIS, 1998. – P. 828.
2. Polyak B. T., Tsyipkin Ya. Z. Robastnyie algoritmyi adaptatsii // Avtomatika i telemekhanika. – 1980. – no 10. – P. 91-97.
3. Shefer O. V. The increase of radio technical noise immunity systems by adaptive premligant and inversive correlation approach to the detection of the beneficial signal / O. V. Shefer // Scientific Notes UNDIIZ. – K.: SUT, 2017, no. 1(45), pp. 82-88.

4. Gutkin L.S. Proektirovanie radiosistem i radioustroystv. – M.: Radio i svyaz, 1986. – P. 288.
5. Barsov V. I. Mathematic methods and technical means of ASU / V. I. Barsov, V. A. Krasnobayev, Z. V. Barsova. – Kh.: Tochka, 2012. – 301 c.
6. Shefer O. V. Synthesis of adaptive algorithm of compensation of nonlinear distortions of radio devices / O. V. Shefer. Systems of control, navigation and communication. – Poltava: Polt NTU, 2018. – №1 (47). – P. 64-68.
7. Buckingham M. Noises in electronic devices and systems: Translation from English. – M.: Myr, 1986. – 399 pp.
8. Charles Platt. Encyclopedia of electronic components. Volume 3 / Charles Platt, Fredrick Yansson. – BHV-Petersburg, 2017. – 288 p.
9. Kozelkov S.V. Development of the antenna system guidance algorithm / S. V. Kozelkov, N. P. Rudenko, V. F. Stolbov, S. A. Tyshchuk // Information processing systems. National Academy of Sciences PAMM, HVU. – Kharkiv: CFC "Transport of Ukraine". – 2000. – Issue. 4(10). – Pp. 39-43.
10. Radio engineering: Encyclopedic educational handbook; educational manual. / edited by Y. L. Mazor, E. A. Machuskiy,
11. V. I. Pravda. – K.: H. school, 1999. – 838 p.
12. Konyakhin V. V. Micro schemes for the equipment of space assignment. Practical manual / V. V. Konyakhin and others. – M.: Technosphere, 2017. – 388 p.

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. С. В. Гаврилко,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received 15.10.2018  
Accepted for publication 21.11.2018

### Шляхи технічної реалізації алгоритму адаптивної компенсації нелінійних спотворень радіопристроїв

О. В. Шефер, Н. Г. Ічанська, Б. В. Топіха, В. О. Шефер

Практична реалізація потенційних можливостей бортових радіолокаційних систем (БРЛС), котрі на даний час суттєво вищі від реально досяжних їх технічних характеристик, є однією із головних задач сучасної теорії і практики електроніки та телекомунікацій. У статті авторами запропоновано конкретні технічні пропозиції та шляхи фізичної реалізації науково-обґрунтованого алгоритму адаптивної компенсації нелінійних спотворень (АКНС). Введення штучних основного і опорного входів у схему нелінійних адаптивних компенсаторів дозволило застосувати для їх синтезу загальну теорію адаптивних систем. Практичне використання синтезованих, за таким принципом АКНС, у відповідності із розробленими рекомендаціями, дозволяє суттєво підвищити показники якості БРЛС у реальних умовах їх застосування, в порівнянні з відомими. Додатковою перевагою запропонованого адаптивного способу розширення лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв (РПП) є покращення всепогодності БРЛС і підвищення ймовірності ідентифікації радіолокаційних карт місцевості, знятих у різних умовах, без додаткових переналаштувань. Крім того, одночасно забезпечується гнучкий запас за перешкодостійкістю БРЛС, що дозволяє врахувати можливі удосконалення засобів радіоелектронної боротьби. Синтезовані АКНС в значній мірі вільні від багатьох недоліків лінійних детермінованих способів розширення динамічного діапазону РПП, а також мають більш просту апаратну реалізацію. Крім того, в процесі проектуванні АКНС необхідний суттєво менший обсяг апріорної інформації про параметри РПП, для розрахунку відомих схем пригнічення нелінійних спотворень. Передавальні функції адаптивних фільтрів АКНС досить швидко сходяться до нелінійної передавальної функції радіопристрою (РП), причому ефективна збіжність спостерігається за наявності внутрішніх шумів принаймні до тих пір, поки вони не перевищують за рівнем компенсовані нелінійні спотворення

**Ключові слова:** радіопристрій, адаптивна компенсація, нелінійні спотворення, внутрішні шуми, амплітудна характеристика, динамічний діапазон.

### Пути технической реализации адаптивного алгоритма компенсации нелинейных искажений радиоустройств

А. В. Шефер, Н. Г. Ичанская, Б. В. Топиха, В. А. Шефер

Практическая реализация потенциальных возможностей бортовых радиолокационных систем (БРЛС), которые в настоящее время существенно выше реально достижимых их технических характеристик, является одной из главных задач современной теории и практики электроники и телекоммуникаций. Авторами в статье предложены конкретные технические предложения и пути физической реализации научно-обоснованного алгоритма адаптивной компенсации нелинейных искажений (АКНИ). Введение искусственных основного и опорного входов в схему нелинейных адаптивных компенсаторов позволило применить для их синтеза общую теорию адаптивных систем. Практическое использование синтезированных, по такому принципу АКНИ, в соответствии с разработанными рекомендациями, позволяет существенно повысить показатели качества БРЛС в реальных условиях их применения, по сравнению с известными. Дополнительным преимуществом предложенного адаптивного способа расширения линейного динамического диапазона радиоприемных устройств (РПУ) является улучшение всепогодности БРЛС и повышение вероятности идентификации радиолокационных карт местности, снятых в разных условиях, без дополнительной перенастройки. Кроме того, одновременно обеспечивается гибкий запас по помехоустойчивости БРЛС, что позволяет учесть возможные усовершенствования средств радиоэлектронной борьбы. Синтезированные АКНИ в значительной степени свободны от многих недостатков линейных детерминированных способов расширения динамического диапазона РПУ, а также имеют более простую аппаратную реализацию. Кроме того, в процессе проектирования АКНИ необходим существенно меньший объем априорной информации о параметрах РПУ, для расчета известных схем подавления нелинейных искажений. Передаточные функции адаптивных фильтров АКНИ достаточно быстро сходятся к нелинейной передаточной функции радиоустройства (РУ), причем эффективная сходимость наблюдается при наличии внутренних шумов по крайней мере до тех пор, пока они не превышают по уровню компенсированные нелинейные искажения.

**Ключевые слова:** радиоустройство, адаптивная компенсация, нелинейное искажение, внутренние шуми, амплитудная характеристика, динамический диапазон.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Базелюк В. М.	116	Іванець Г. В.	68	Пустоваров В. В.	3
Безклубенко О. О.	38	Івасько І. А.	104	Пустовіт М. О.	113
Бородіна О. А.	58	Ічанська Н. Г.	140	Райков Р. Ю.	38
Борозенець І. О.	25	Каніщева О. В.	83	Рисований О. М.	79
Гадецька С. В.	87	Клімов О. П.	116	Руденко З. М.	74
Гафіяк А. М.	58	Князева Н. О.	130	Руденко О. А.	74
Герасимов С. В.	3	Кобилін А. М.	61	Рудницький В. М.	113
Главчева Ю. М.	83	Кобилін О. А.	61	Семко О. В.	135
Головко Г. В.	74	Ковальов І. О.	116	Серпухов О. В.	116
Гороховатський В. О.	87	Коломійцев О. В.	3	Соломоненко Ю. С.	20
Горошко А. І.	93	Колумба І. В.	130	Сурков К. Ю.	30
Гребенюк Д. С.	98	Коржов І. М.	48	Толкунов І. О.	68
Демиденко М. І.	93	Лада Н. В.	113	Топіха Б. В.	140
Денисенко О. В.	53	Маковейчук О. М.	20	Федотова-Півень І. М.	113
Деркач Т. Н.	104	Макогон О. А.	116	Філоненко А. М.	126
Дмитренко А. О.	104	Місюк Г. В.	38	Хижняк І. А.	20
Дмитренко Т. А.	104	Нестеренко О. Б.	113	Худов Г. В.	20, 38
Дмитрієв О. М.	25	Новік С. А.	116	Чала О. В.	122
Добрєв В. Ю.	38	Одарущенко О. Б.	74	Шефер О. В.	140
Дубницький В. Ю.	61	Олексенко О. О.	38	Шефер В. О.	140
Дяченко-Богун А. О.	58	Остроумов І. В.	14	Шило С. Г.	25
Зубко І. А.	44	Павленко М. А.	25	Шутка П. М.	126
Зуєв А. О.	9	Пономаренко Р. П.	87	Юзова І. Ю.	20

---

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 6 (52)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Львіна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,0. Тираж 150 прим. Зам. 1213-18

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34  
e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)