



СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

5(51) ' 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 Олексійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олексій 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 № 2 від 30 жовтня 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 № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

<i>Єфремов О. В., Коршунець О. А.</i> Методика вибору раціонального типу і варіанта обладнання безпілотних літальних апаратів для виконання завдань	3
<i>Zhyvotovskiy R. M., Gorobets Yu. O., Momit O. S.</i> Indicators and criteria of efficiency evaluation of safety aviation complexes application	8
<i>Хижняк І. А., Худов Г. В., Рубан І. В., Маковейчук О. М., Соломоненко Ю. С., Худов В. Г.</i> Метод тематичного сегментування кольорового зображення бортової системи оптико-електронного спостереження	13

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Гришманов Є. О.</i> Вибір математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту	20
<i>Павленко М. А., Шило С. Г., Борозенець І. О., Дмитрієв О. М.</i> Напрями розробки інтелектуальних моделей та методів обробки інформації для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом	24
<i>Сторчак В. С.</i> Проблемы подготовки диспетчеров управления воздушным движением	29
<i>Тимочко А. А.</i> Разработка базы нечетких продукционных правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов в процессе контроля воздушного пространства и обобщенного алгоритма их реализации	33

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Кононов Б. Т., Кононова О. А., Куравська Н. М.</i> Аналіз способів регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів	38
<i>Кононов Б. Т., Мусаїрова Ю. Д.</i> Шляхи підвищення достовірності оцінювання технічного стану окремих циліндрів багатциліндрових дизельних та бензинових двигунів	44
<i>Корнієнко Л. Г., Карлов В. Д., Артеменко А. М.</i> Зони виявлення РЛС метрового діапазону з врахуванням особливостей побудови і використання антенної системи	50
<i>Черток О. А., Данилов Ю. А., Могілатенко А. С.</i> Метод адаптивного розподілу задач в комплексі засобів автоматизації системи управління спеціального призначення	55

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Денисенко О. В.</i> Новий підхід до визначення характеристик потоків насичення	60
<i>Лукашова Н. П., Павленко Т. П., Любарський Б. Г., Петренко О. М.</i> Аналіз конструкцій ресорних підвішувань рейкового міського електрорухомого складу	65

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Гадецкая С. В., Дубницкий В. Ю.</i> Определение дифференциальной энтропии случайной величины, заданной усечённым показательным распределением	69
--	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Гороховатський В. О., Васильченко А. А., Манько К. П., Пономаренко Р. П.</i> Дослідження модифікацій методу встановлення релевантності зображень об'єктів за описами у вигляді множини дескрипторів ключових точок	74
<i>Дергачев К. Ю., Краснов Л. А., Челябин А. А.</i> Повышение эффективности работы алгоритмов детектирования лиц по методу Виолы-Джонса	79
<i>Зуєв А. О., Караман Д. Г.</i> Система моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури з використанням БПЛА	87
<i>Мелешко Є. В.</i> Методи оцінки якості роботи рекомендаційних систем	92
<i>Морозов О. О.</i> Методика формування ієрархічної системи складів для обслуговування територіально розосереджених споживачів	98
<i>Морозова О. И.</i> Анализ особенностей функционирования современных систем с дуальными процессами	102
<i>Несміян О. Ю., Павленко М. А.</i> Метод аналізу та обробки інформації в СППР АСУ	106
<i>Рысований А. Н.</i> Метод синтеза проверочной матрицы генераторов в конечном поле GF(3) в зависимости от вида матрицы связей	111
<i>Чала О. В.</i> Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань	115
<i>Chernova L.</i> Peculiarities of the methodologies for managing projects and programmes to ensure the innovation process	121
<i>Шингалов Д. В.</i> Дослідження програмних засобів для аналізу та візуалізації соціальних графових структур	128
<i>Главчева Д. М., Яловега В. А.</i> Капсульні нейронні мережі	132

ЗВ'ЯЗОК

<i>Сакович Л. М., Криховецький Г. Я., Небесна Я. Е.</i> Теоретико-множинні моделі об'єктів зі змінною структурою ..	136
---	-----

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	140
----------------------------------	-----

Навігація та дистанційне зондування Землі

УДК 354.404.4+355.40:629.783

doi: 10.26906/SUNZ.2018.5.003

О. В. Єфремов, О. А. Коршець

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ТИПУ І ВАРІАНТА ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

Стаття присвячена вирішенню проблем, пов'язаних з вибором оптимального типу та варіанту безпілотних літальних апаратів. В основному, сучасні одиниці безпілотних авіаційних комплексів озброєні декількома видами безпілотних літальних апаратів. У кожного з них є кілька можливих варіантів обладнання для різних завдань. Кожного разу при плануванні стадії застосування командир безпілотних літальних апаратів комплексу повинен вирішити проблему про обґрунтований вибір раціонального типу та варіанту обладнання БпЛА для забезпечення ефективного виконання завдання. Ефективність використання безпілотних літальних апаратів оцінюється численними показниками. Тому тип і варіант вибору обладнання для безпілотних літальних апаратів повинні базуватися на використанні математичних методів багатокритеріальної оцінки, що визначає **проблему та актуальність** дослідження. **Метою статті** є вдосконалення існуючої методики вибору раціонального типу і обладнання безпілотних авіаційних комплексів з використанням методів багатокритеріального оцінювання з метою забезпечення ефективного виконання завдань підрозділами безпілотних авіаційних комплексів. **Результати.** У статті розглянуті існуючі математичні методи багатокритеріальної оцінки та запропоновано вдосконалену техніку вибору раціонального типу та обладнання для безпілотних літальних апаратів, що базується на аналізі часткових методів та використання комбінації методу аналізу ієрархії і методу медіан Кемені. Запропонована практична реалізація вдосконаленої методології базується на використанні методу аналізу ієрархії для підтримки та прийняття рішення в інформаційно-автоматизованій системі. Це забезпечить ефективне виконання завдань безпілотними літальними апаратами.

Ключові слова: підрозділ безпілотних авіаційних комплексів, безпілотні літальні апарати, вибір типу та варіанта обладнання безпілотного літального апарату, методи багатокритеріального оцінювання, методи ранжування альтернатив, метод аналізу ієрархії.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз досвіду збройних конфліктів сучасності та поглядів військових фахівців провідних країн світу [1–3] свідчить про зростаючу роль та частку участі безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) при виконанні широкого спектру завдань, обсяг яких постійно зростає. Постійно збільшується номенклатура та можливості даних засобів, удосконалюється їх обладнання. Все це призводить, з одного боку, до того, що підрозділи БпАК залучаються до виконання різноманітних завдань, від повітряної розвідки, корегування вогню артилерії до безпосереднього ураження цілей. З іншого боку, це вимагає наявності на озброєнні підрозділів БпАК одночасно кількох типів безпілотних літальних апаратів (БпЛА), кожен з яких може мати кілька можливих варіантів обладнання [4].

Таким чином, перед командиром підрозділу БпАК кожного разу на етапі планування застосування постає завдання необхідності обґрунтованого вибору раціонального типу і варіанта обладнання БпЛА для забезпечення ефективного виконання завдання [2; 5]. Так як ефективність підрозділів БпАК оцінюється не одним, а множиною показників, то вибір варіанту має базуватися на використанні математичних методів багатокритеріального оцінювання, що визначає проблемність та актуальність удосконалення методичного апарату підтримки рішення командира підрозділу БпАК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями багатокритеріального оцінювання присвя-

чено багато наукових досліджень в результаті яких визначені загальні математичні методи багатокритеріального оцінювання альтернатив, а також виявлено ряд часткових методів ранжування альтернатив [6–9]. До них відносяться методи: максимальних відстаней, справедливого компромісу, головного критерію, лексикографічної оптимізації, використання апроксимаційних і багатокритеріальних оптимізаційних математичних моделей, оцінювання і порівнювання ефективності функціонування одностипних організацій, оцінювання якості засобів на підставі використання двох гіпотетичних еталонів – гіршої і кращої якості. Разом з тим, питання створення системи підтримки рішення командира підрозділу БпАК щодо визначення способу виконання завдань залишилися поза межами досліджень.

Мета статті – удосконалити існуючу методику вибору раціонального типу і обладнання безпілотних авіаційних комплексів з використанням методів багатокритеріального оцінювання з метою забезпечення ефективного виконання завдань підрозділами БпАК.

Виклад основного матеріалу

Одним з основних елементів методичного апарату підтримки рішення командира підрозділу БпАК щодо визначення способу виконання завдань є рішення задачі вибору раціонального типу і обладнання БпЛА. Основою багатокритеріального оцінювання є апарат ранжування типів або варіантів обладнання БпЛА за їх ефективністю. Аналіз сутності виявлених часткових методів [6–10] показав таке:

методи максимальних відстаней і справедливого компромісу щодо класифікації фундаментальних теоретичних розробок представляють, відповідно, метод вибору альтернативи по значенням функцій користі та метод попарних порівнянь альтернатив зі спеціальним способом розрахунку елементів матриці;

методи головного критерію і лексикографічної оптимізації (варіант методу головного критерію) представляють собою спосіб вибору кращої альтернативи, який базується на порівнянні значень одного показника. При цьому усі показники ранжують і вибір здійснюється по величинам пріоритетного показника. Якщо вибір за пріоритетним критерієм не здійснено (через рівність значень показника), то операція здійснюється по величині наступного за значимістю показника;

інші виявлені часткові методи основані на порівнянні величин одного інтегрованого критерію, які розраховуються для кожної альтернативи з використанням її показників і математичної моделі, прийнятої для рішення поставленої задачі.

За результатами проведеного аналізу визначено, що спеціальний апарат ранжування типів та варіантів обладнання БпЛА можна представити трьома можливими підходами, які ґрунтуються на застосуванні: глобального інтегрального показника ефективності; методу головного критерію; математичних методів багатокритеріального оцінювання: вибору альтернативи за значеннями функцій користі, попарних порівнянь альтернатив, звішених сум і аналізу ієрархій. Розглянемо найбільш привабливий для дослідження метод, оснований на застосуванні глобального інтегрального показника ефективності.

Проте, його реалізація суттєво обмежена. Це пояснюється обмеженістю умов, за яких можна сформулювати обґрунтований глобальний показник, який поєднає множини часткових показників і матиме достатньо визначений фізичний або економічний сенс. Зробити це можливо лише у випадку, коли для конкретних умов у якості глобального можна використовувати один із часткових або обґрунтованих інтегральних показників. Наприклад, для випадку, коли витрата ресурсів не є критичною (усі альтернативи по даному фактору вкладаються у встановлені норми), у якості такого глобального показника може виступати ймовірність виконання завдання.

В загальному ж випадку сформулювати глобальний показник не вдається. Наприклад, як виразити загальний глобальний показник, який відображає бажання добитися і найбільшої ймовірності виконання завдання, і найменшої витрати ресурсів.

Сутність методу головного критерію показана вище при представленні результатів аналізу сутності виявлених часткових методів. Як вже відмочено, сутність методу полягає у порівнянні значень одного показника. Слід зазначити, що реалізація даного підходу потребує проведення експертного оцінювання ранжування показників за їх значимістю та оброблення (осереднення) отриманих експертних ранжувань. Ранжування альтернатив – послідовність, яка містить інформацію про впорядкування альтернатив за їх рангом (значимістю, ефек-

тивністю). При цьому ранжування може бути представлено: або у вигляді послідовності альтернатив, де місце кожної альтернативи a_i в ранжуванні визначається її рангом k_i : $a_{i1} \succ a_{i2} \succ \dots \succ a_{in}$, де $k_{i1} > k_{i2} > \dots > k_{in}$; або у вигляді послідовності рангів альтернатив, де кожна альтернатива в ранжуванні займає своє постійне місце: $(k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in})$.

Найбільше придатним є підхід, оснований на застосуванні математичних методів багатокритеріального оцінювання [6, 7], а саме – метода аналізу ієрархій. При реалізації методу аналізу ієрархій складають:

матриця рішень X розмірністю $m \times n$, елементами строк якої є елементи векторів $\bar{x}_j = (x_{j1}, \dots, x_{jn})$ нормованих ваги оцінки альтернатив a_i , $i = 1, \dots, n$, визначені для кожного показника k_j , $j = 1, \dots, m$:

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \vdots \\ \bar{x}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11}, \dots, x_{1n} \\ \vdots \\ x_{m1}, \dots, x_{mn} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = X;$$

вектор-строка \bar{W}' нормованих ваги показників розмірністю m .

Розраховують вектор функцій користі альтернатив $\bar{U} = \bar{W}'X$.

Найкращою є та альтернатива, для якої елемент u_i вектору функції користі $\bar{U} = (u_1, \dots, u_n)$ має максимальне значення:

$$a_{i1} \succ a_{i2} \succ \dots \succ a_{in}, \text{ де } u_{i1} > u_{i2} > \dots > u_{in}.$$

Вектори нормованих ваги оцінки альтернатив \bar{x}_j і нормованих ваги показників \bar{W}' визначають з використанням методу попарних порівнянь. При цьому за основу формування векторів \bar{x}_j беруть результати попарних порівнянь фактичних значень показників ефективності, вектору \bar{W}' – результати оброблення (осереднення) експертних оцінок ваги цих показників.

Сутність методу попарних порівнянь полягає в такому. Вага кожного показника або альтернативи при використанні цього методу визначається з використанням таких формул:

для адитивної моделі:

$$w_i = \sum_{j=1}^m z_{ij}, \quad (1)$$

де z_{ij} – результати порівняння показників k_i і k_j .

Ці результати визначають виходячи з такого:

$$z_{ij} = 1, \text{ якщо } k_i \succ k_j \text{ – при парному порівнянні}$$

прийнято, що показник k_i важливіший k_j ;

$$z_{ij} = 0, \text{ якщо } k_i \prec k_j \text{ – показник } k_i \text{ менш важливий, ніж показник } k_j;$$

$z_{ij} = 0,5$, якщо $k_i \approx k_j$ – показники k_i і k_j по важливості приблизно однакові;

$$z_{ii} = 0,5 \text{ (при } j = i);$$

$$z_{ij} = 1 - z_{ji};$$

мультиплікативної моделі:

$$w_i = m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m z_{ij}}, \quad (2)$$

де z_{ij} – результати порівняння показника k_i з показником k_j . Ці результати визначають виходячи з такого:

$z_{ij} = 1$, якщо при парному порівнянні прийнято, що показник k_i еквівалентний по значимості показнику k_j ;

$$z_{ij} = 3, \text{ якщо } k_i \text{ значиміший } k_j;$$

$$z_{ij} = 5, \text{ якщо } k_i \text{ суттєво значиміший } k_j;$$

$$z_{ij} = 7, \text{ якщо } k_i \text{ абсолютно значиміший } k_j;$$

$z_{ij} = 9$, якщо k_i безсумнівно, безумовно значиміший k_j ;

значення $z_{ij} = 2, 4, 6, 8$ вважають проміжними для основних вербальних градацій якості;

$$z_{ii} = 1 \text{ (при } j = i);$$

$$z_{ij} = \frac{1}{z_{ji}}.$$

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь використовується шкала відносної важливості елементів по відношенню до загальної мети (табл. 1).

Таблиця 1 – Шкала відносної важливості

Відносна важливість	Визначення
Однозначна (точна) оцінка	
1	Рівно важливі
3	Незначна перевага
5	Середня перевага
7	Суттєва перевага
9	Значна перевага
Компромісні випадки (проміжні судження між двома сусідніми оцінками)	
2	Між рівноважливою та незначною перевагою
4	Між незначною та середньою перевагою
6	Між середньою та суттєвою перевагою
8	Між суттєвою та значною перевагою
Зворотні величини	Якщо при порівняння k_i і k_j отримано одне з вищевказаних чисел z_{ij} , то при порівнянні k_j і k_i отримується зворотна величина $1/z_{ij}$

Якщо під час порівняння одного варіанта з іншим отримано одне із значень відносної важливості, наведених у табл. 1 (наприклад, 3), то при порівнянні другого з першим отримаємо обернену величину (а саме 1/3).

У загальному вигляді запропоновану методику вибору раціонального типу і обладнання БпЛА з

використанням методу аналізу ієрархій представлено на рис. 1.

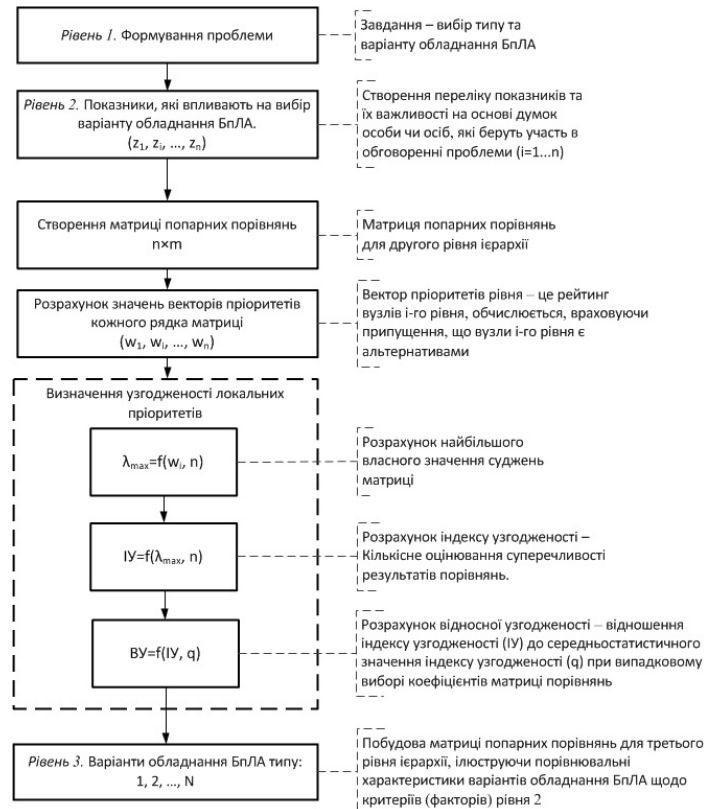


Рис. 1. Загальна блок-схема алгоритму вибору раціонального типу і обладнання БпЛА з використанням методу аналізу ієрархій

Якщо попарне порівняння здійснювалося в межах експертної оцінки ваги показників ефективності, то кінцевий результат може бути представлений двома варіантами, кожний з яких використовується у подальшій реалізації двох різних методів оброблення експертної інформації [11–15] у вигляді:

експертного вектору ваги показників ефективності БпАК. В подальшому при обробленні експертної інформації він використовується при реалізації методу медіан рангів;

експертної матриці попарних порівнянь показників. При обробленні експертної інформації вона використовується для адитивної моделі при реалізації методу медіан Кемені.

При реалізації методу медіан рангів індивідуальні оцінки рангів, виконані усіма експертами, по кожному варіанту застосування БпАК записують в порядку не зменшення. Для кожного комплексу визначається значення рангу, розташоване на центральному місці отриманої послідовності. Це число і є медіаною рангів варіантів застосування БпАК.

Якщо кількість експертів є парним числом, то є два центральних місця послідовностей. В цьому випадку медіана визначається як значення рангу, розташоване на одному з цих місць, але не середнє арифметичне, середнє геометричне і т. п. Далі усі альтернативи ранжуються за зростанням величини медіани рангів, в результаті отримуємо узагальнене ранжування – послідовність, в якій попередній БпЛА має

переваги для виконання поставленого завдання, над наступними. Комплекси з однаковою величиною медіани складають кластер.

До основних математичних об'єктів теорії методу медіан Кемені, відносяться: матриця бінарних відношень, відстань Кемені між бінарними відношеннями, медіана Кемені.

Результати попарного порівняння подаються матрицями, які мають вид турнірної таблиці, в якій перевага зазначається одиницею, поступка у перевазі – нулем і еквівалентність – числом 0,5. Побудова матриці бінарних відношень для матриці попарних порівнянь полягає у заміні усіх значень 0,5 на 1.

Відстань Кемені між бінарними відношеннями, які описують матрицями M_1 і M_2 , – це число $D(M_1, M_2)$, рівне числу неспівпадіння значень однойменних (за номерами строк і рядків) елементів матриць.

Медіана Кемені для множини матриць M_1, \dots, M_n бінарних відношень розміром $k \times k$ – це така матриця M бінарних відношень розміром $k \times k$, для якої сума відстаней Кемені між нею й усіма матрицями множини досягає мінімуму.

$$M = \text{Arg} \min \sum_{i=1}^n D(M_i, M_n).$$

Приймається, що медіана Кемені M є емпіричне середнє для множини матриць бінарних відношень M_1, \dots, M_n . У нашому випадку знаходження медіани Кемені здійснюється за правилом більшості. Згідно цього правила, якщо в однойменних клітках матриць бінарних відношень, які описують оцінки усіх залучених експертів, одиниць більше половини, то в узагальненій матриці ставиться 1; аналогічно для нулів; якщо – рівно половина, то можливо ставити або 0, або 1 за умови, що в симетричних відносно головної діагоналі клітках хоча б в одній була одиниця. З метою забезпечення однозначності визначення медіани Кемені у цьому випадку пропонується ставити 1, якщо в клітці, їй симетричній відносно головної діагоналі, одиниць також рівно половина, в протилежному випадку – 0.

Побудова узагальненої матриці попарних порівнянь здійснюється встановленням в матриці-медіані Кемені значень, рівних 0,5, в клітках, симетричних відносно головної діагоналі, якщо значення в обох клітках рівні одиниці.

Виходячи з наведеного послідовність знаходження узагальненої матриці P попарних порівнянь для множини P_1, \dots, P_n наступний:

для множини P_1, \dots, P_n будують множини M_1, \dots, M_n матриць бінарних відношень;

для множини M_1, \dots, M_n знаходять медіану Кемені M ;

для матриці M формується узагальнена матриця P попарних порівнянь. Її побудова полягає у заміні одиниць на величину 0,5 для тих елементів m матриці M , для яких $m_{ij} = m_{ji} = 1$;

з використанням матриці P і формули для адитивної моделі методу попарних порівнянь (1) складають осереднене ранжування показників.

Таким чином, застосування методу аналізу ієрархій полягає в декомпозиції проблеми на простіші складові частини, а також в обробленні суджень особи чи осіб, які приймають рішення на підставі парних порівнянь пріоритетів (критеріїв) важливості.

Висновки

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що при вирішенні задачі вибору раціонального типу і обладнання БпЛА найбільш привабливим є підхід, оснований на застосуванні такого математичного метода багатокритеріального оцінювання, як метод аналізу ієрархій.

Реалізація метода аналізу ієрархій передбачає розрахунок матриці рішень і вектору ранжування показників ефективності, який отримано на підставі оброблення суб'єктивних оцінок експертів. Все це, в свою чергу, передбачає використання методу попарних порівнянь: ваги показників ефективності для отримання їх експертних ранжувань типів БпЛА та варіантів їх обладнання за значенням кожного з показників ефективності для отримання матриці рішень.

З метою зменшення можливої похибки суб'єктивності для оброблення експертної інформації про вагу показників ефективності пропонується використовувати метод медіан рангів і метод медіан Кемені. Практична реалізація запропонованої удосконаленої методики на основі застосування методу аналізу ієрархій у автоматизованій інформаційній системі підтримки прийняття рішення дозволить забезпечити потрібну ефективність виконання завдань підрозділами БпАК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мосов С. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: [монография] / С. Мосов. – К.: Изд. дом “РУМБ”, 2008. – 248 с.
2. Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах сучасності / [Ю. К. Зіатдінов, М. В. Куклінський, С. П. Мосов, А. Л. Фещенко та ін.]; під ред. С. П. Мосова. – К.: Києво-Могилянська академія, 2013. – 248 с.
3. Тенденції розвитку форм і способів збройної боротьби в сучасних локальних війнах і збройних конфліктах: [монографія] / [П. П. Ткачук, С. П. Мосов, А. П. Красюк та ін.]; за ред. к.іст.н. Г. П. Воробйова. – Львів: НАСВ, 2015. – 90 с.
4. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: [монография] / С. Мосов. – К.: Изд. дом “РУМБ”, 2008. – 160 с.
5. Мосов С. П., Колесніков В. О. Вимоги до вибору безпілотних авіаційних комплексів для виконання завдань розвідки та спостереження // Збірник наукових праць центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. – К.: ЦВСД НУОУ імені Івана Черняхівського, 2016. – №1 (56). – С. 24–28.

6. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
7. Саати Т. Принятие решений – Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
8. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 161 с.
9. Абрашин В. О., Новічонок С. М., Старостенко М. Б., Куренко О. Б. Експертне оцінювання стану матеріально-технічних засобів в умовах недостатнього фінансування // Системи озброєння і військова техніка. – Харків: ХУПС, 2009. – № 3(19). – С. 110–113.
10. Гнатієнко Г. М. Експертні технології прийняття рішень / Г. М. Гнатієнко. В. Є. Снитюк. – К.: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.
11. Циганок В. В. Вибір шкали оцінювання експертом у процесі виконання ним парних порівнянь в системах підтримки прийняття рішень // Реєстрація, зберігання і обробка даних, – К.: ІПРІ НАН України, 2011, Т. 13. № 3. – С. 92–105.
12. Циганок В. В. Агрегація групових експертних оцінок, що отримані у різних шкалах // Реєстрація, зберігання і обробка даних, – К.: ІПРІ НАН України, 2011. – Т. 13. № 4. – С. 74-83.
13. Циганок В. В. Метод обчислення ваг альтернатив на основі результатів парних порівнянь, проведених групою експертів // Реєстрація, зберігання і обробка даних, – К.: ІПРІ НАН України, – 2008. – Т. 10. № 2. – С. 121-127.
14. Циганок В. В. Визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок при використанні парних порівнянь / В. В. Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних, – К.: ІПРІ НАН України, 2009. – Т. 11, №2, – С. 83–89.
15. Циганок В. В., Качанов П. Т., Каденко С. В., Андрійчук О. В., Гоменюк Г. А. Експериментальний аналіз технології експертного оцінювання // Реєстрація, зберігання і обробка даних, – К.: ІПРІ НАН України, 2012, Т. 14, № 1. – С. 91–100.

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

Received (Надійшла) 03.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.10.2018

Методика выбора рационального типа и оборудования беспилотных летательных аппаратов

А. В. Ефремов, Е. А. Коршец

Статья посвящена решению проблем, связанных с выбором оптимального типа и варианта беспилотных летательных аппаратов. В основном, современные единицы беспилотных авиационных комплексов вооружены несколькими видами беспилотных летательных аппаратов. У каждого из них есть несколько возможных вариантов оборудования для различных задач. Каждый раз при планировании стадии применения командир беспилотных летательных аппаратов комплекса должен решить проблему о обоснованный выбор рационального типа и варианта оборудования БЛА для обеспечения эффективного выполнения задания. Эффективность использования беспилотных летательных аппаратов оценивается многочисленными показателями. Поэтому тип и вариант выбора оборудования для беспилотных летательных аппаратов должны базироваться на использовании математических методов многокритериальной оценки, определяет проблему и актуальность исследования. Целью статьи является совершенствование существующей методики выбора рационального типа и оборудования беспилотных авиационных комплексов с использованием методов многокритериальной оценки с целью обеспечения эффективного выполнения задач подразделениями беспилотных авиационных комплексов. Результаты. В статье рассмотрены существующие математические методы многокритериальной оценки и предложена усовершенствованная техника выбора рационального типа и оборудования для беспилотных летательных аппаратов, основанная на анализе частных методов и использования комбинации метода анализа иерархии и метода медиан Кемени. Предложенная практическая реализация усовершенствованной методологии базируется на использовании метода анализа иерархии для поддержки и принятия решения в информационно-автоматизированной системе. Это обеспечит эффективное выполнение задач беспилотными летательными аппаратами.

Ключевые слова: подразделение беспилотных авиационных комплексов, беспилотные летательные аппараты, выбор типа и варианта оборудования беспилотного летательного аппарата, методы многокритериальной оценки, методы ранжирования альтернатив, метод анализа иерархий.

Methodology to choosing optimal type and variant of unmanned aerial vehicles equipment to resolve tasks

O. Efremov, O. Korshets

The article is devoted to solve the problems that are related with a choosing optimal type and variant of unmanned aerial vehicles equipment. Basically, modern units of unmanned aviation complexes are armed with several types of unmanned aerial vehicles. Each of them has several possible variants of equipment for various tasks. Every time on planning of application stage, the commander of the unmanned aircraft complexes unit must solves problem about reasonable choice of a rational type and variant of equipment for unmanned aerial vehicle to provide efficient task execution. The efficiency of the unmanned aerial complexes usage is estimated by a numerous indicators. Therefore, type and variant of choice for unmanned aerial vehicles equipment should be based on using mathematical methods of multi-criteria estimation, which determines the problem and relevance of the research. The purpose of the article is improving existing methodology of choosing rational type and equipment for unmanned aerial vehicles with using multi-criteria assessment methods in order to ensure efficient accomplishing tasks by unmanned aircraft complex units. In the article considered existing mathematical methods of multi-criteria evaluation and suggested improved technique for choosing a rational type and equipment for unmanned aerial vehicles that based on the analysis of partial methods and using combination of hierarchy analysis method and the Medan Komen's method, in order to reduce the possible error of subjectivity to expert data processing about weight indicators of efficiency. The practical implementation of improved methodology that was proposed is based on using hierarchy analysis method to support and make decision in informational automated system. It will provide efficient accomplishing tasks by unmanned aircraft complex units that necessary.

Keywords: unmanned aircraft complex units, unmanned aerial vehicles, selection type and variant of equipment of an unmanned aerial vehicle, multi-criteria methods, alternative ranking methods, hierarchy analysis method.

R. Zhyvotovskiy¹, Yu. Gorobets², O. Momit³

¹ Central research Institute of weapons and military equipment of armed forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

³ Military unit A 2393, Odessa, Ukraine

INDICATORS AND CRITERIA OF EFFICIENCY EVALUATION OF SAFETY AVIATION COMPLEXES APPLICATION

Military conflicts of the late XX – early XXI centuries are characterized by the use of a large number of new weapons, which allowed the enemies to distance themselves as far as possible from the direct collision with each other. Unmanned aviation complexes, which during the military conflicts proved their ability to conduct air reconnaissance, damage objects and perform other combat support tasks, became one of the newest examples of weapons on the battlefield. The possibility of successfully solving of various tasks with the help of unmanned aviation complexes was demonstrated during the military conflicts in the Middle East (1982-2008), the Balkans (1999), Afghanistan (2001-2008) and the Caucasus (1994-2008). Nowadays, there is a large number of diverse literature about using unmanned aerial systems during armed conflicts over the past decades. However, the only approach to assessing the effectiveness of using unmanned aviation complexes of special purpose in known sources has not been developed. In this article, the authors proposed indicators and criteria for assessing the effectiveness of using unmanned aviation complexes of special purpose. During the research authors were using the basic provisions of the theory of complex technical systems; method of expert assessments; the method of analysis of hierarchies, methods of multidimensional comparative, general scientific and structural-functional analysis. The indicators and criteria for evaluating the effectiveness of using of special purpose non-pilot aviation complexes, which were proposed in the article, can be used to evaluate the information obtained with equipment operating in the mode of fixed and continuous shooting of individual areas. The indicators proposed in the article can be used for comparative evaluation of several unmanned aviation complexes of special purpose, that allow to assess the level of technical perfection of unmanned aerial systems and choose the most perfect for the implementation of a specific type of task.

Keywords: unmanned aviation complexes, military conflicts, performance indicators, specifications, intelligence, criteria.

Introduction

The rapid development of the unmanned aerial vehicles (UAV) of various purposes and the variety of their types makes it necessary to assess the effectiveness of their application. The literature offers many indicators (criteria) that will allow to compare the same type of UAV to show their advantages and disadvantages. But they are all ambiguously evaluated by experts, that force researchers to look for more options of practice. Consider one of the options based on the principle of evaluation "productivity-cost-efficiency" at a given level of object identification the of exploration (general idea, definition of type, size, characteristics, etc.) [1-3].

The comparative assessment of the aerial vehicles (AV) is an important practical task. The necessity to compare two or more samples appears: while evaluating their combat properties; while choosing a better sample for any indicator; at the procurement in the arms market and others.

It is necessary to analyze many qualitative indicators or criteria, that have different physical nature (technical data of the aircraft, data of its power plant, onboard equipment, the cost of the sample as a whole or its individual components, design, etc.).

The purpose of this article is to develop indicators and criteria for assessing the effectiveness of an unmanned aeronautical complexes use.

Presentation of main material research

It should be noted immediately that the performance indicators for reconnaissance and striking AV should be significantly different as they evaluate the

different qualities of these vehicles, therefore, the partial indicators for them should be different. At the same time, even for the same type of AV, it is not always possible to use the same indicators, because they can vary in flight technical characteristics, the level of equipment, devices of provision. However, in some cases, it is possible to differentiate groups (for example, reconnaissance complexes) by some common features and find common indicators for them, useful for comparative evaluation.

Modern UAV assigns more complex tasks, in particular, observing the battlefield: for the movement of troops and military equipment, observing the identified important objects, adjusting their coordinates, determining the results of the task of strikes against the enemy. In this case, the trajectory of the flight may have a more complex profile (fig. 1): reversals in horizontal and vertical planes, bends, height set and decrease. In this case, the trajectory can be repeatedly intersect. While searching for single targets, the trajectory may have the shape of a loop to fly a given boundary or consist of two parallel lines in the search for a point goal, and etc.

In addition, many optical systems on modern UAV have variable fields of view: a wide field of view is used to search the contour of the intended target, also the angle of field view decreases and repeat enter on the target was performed for the more precise recognition. In this case, the width of the viewing band B decreases, the viewing area is also reduced.

In the future, under the area of intelligence, we will understand $S_{eq} = BVt$. Since we do not interested in physical space, it is determined in flight in the general case

$$S = S_{cq} = BVt. \quad (1)$$

If you represent the viewing angle of the camera in the form of a spotlight, so S will be the trace of this spotlight on the earth's surface while performing any reconnaissance maneuver. Such a "spotlight" should "light" while looking for any purpose: point, linear, plane, leaving behind a trace in the form of an equivalent area. In this case, the value of B can change (for example, while performing repetitions on a target) and it should be taken into consideration while calculating the area.

Reconnaissance flights are usually carried out by scanning the terrain at a certain altitude in the given lane and the given depth. To simplify the problem we will consider the flight of the constant aerial vehicles (with the constant speed).

The height of the flight was determined by the capabilities of the reconnaissance equipment, the characteristics of the aircraft itself, and also depends on the possible aerial vehicles to the enemy air defense, meteorological conditions, and etc. At the same time, one of the main requirements to altitude is the exclusion of damage to the UAV by simple devices: artillery and weapons and anti-aircraft missile systems.

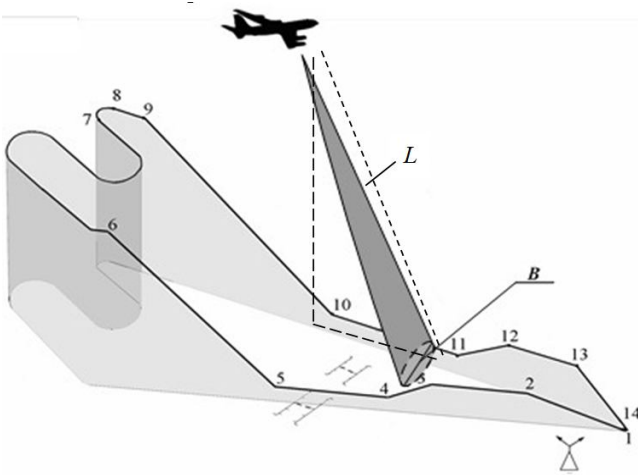


Fig. 1. Spatial flight trajectory while searching for a target

The bandwidth of the seizure of the terrain B is determined by the angle of the field of the camera view 2β and the flight altitude H :

$$B = 2Htg\beta \approx H(2\beta). \quad (2)$$

In addition, successful photography depends on the resolution of the equipment, the illumination of the target, its reflecting properties, radiation diffusion, and etc. Obviously, with the increase in the distance of the optical system lens from the target and the increase in field of view, the level of detail of the shooting decreases.

The main task of comparative analysis is to select a better sample from some set of alternatives. Therefore, the primary task of the analysis is to determine the indicators for the comparative assessment.

Proceeding from the above, the quality indicators of the reconnaissance UAV should take into consideration [1-8]:

- flight characteristics of the aerial vehicles, its maneuverability;
- feature of taking off and landing;
- parameters of the intelligence equipment (fields of view and inspection, providing the necessary resolution on the ground, etc.);
- types and data of weapons (for striking complexes);
- operational characteristics (durations of different types of preparations, time of coagulation and deployment of the complex, etc.);
- the cost of the complex;
- the efficiency of the task.

Based on the objectives, you can outline the effectiveness of combat use. According to the authors, indicators in the first approximation can be used the following.

1. **The productivity of W search.** According to the big amount of authors, the search performance of the reconnaissance UAV can be quantitatively quantified by the magnitude of the area being revised per unit time [1-8]. The average value of this indicator can be obtained from formula (1), dividing its right and left sides at time t :

$$W = \frac{S}{t} = \frac{BVt}{t} = BV = VH(2\beta), \quad (3)$$

where V is the average flight speed, B is the bandwidth of the camera, t is the time of the reconnaissance. Modern optoelectronic systems (OES) have several angles of view field: narrow, wide, intermediate. Each of them has its value s_1 . In addition, the corners of the field of view may be unequal (fig. 2) for the azimuth ($2\beta_1$), and the angle of the place ($2\beta_2$).

As a result, the linear dimensions of objects reproduced by the OES will also be uneven in the direction of B_1 and B_2 . By the analogy with formula (2) we will have $B_1 = H_1(2\beta_1)$, $B_2 = H_2(2\beta_2)$. Because usually, the flight altitude H is substantially larger than the linear dimensions of the site, it is possible to take $H_1 \approx H_2 \approx H$. However, at small angles, instead of the height of H_1 , it is necessary to take a range.

Given the above, the size of the shooting area

$$s_1 = B_1 B_2 = H^2 (2\beta_1)(2\beta_2). \quad (4)$$

As can be seen from formula (4), s_1 increases with increasing height in proportion to its square, but thus deteriorates the degree of the image detail on the screen of the receiver. At some height, the detail reaches the critical one, after which the observed objects become indistinguishable.

While searching for different objects, there is not using the angle, but the linear resolution d (detail), which allows you to find the kind of the desired target. The less detail d , the clearer the image on the screen. Therefore, for the exploration of small-scale targets, the linear resolution of the OES should be as small as possible (and therefore better). Specialists in the United States have developed detailed requirements that should ensure the identification of typical objects with a certain degree of clarity (table 1).

Table 1 – Requirements for detailing the typical objects

Type of an aim	The resolution required for the purpose classification, m				
	Detection	Identification			Technical analysis
		total	accurate	descriptive	
Auto-transport	1,5	0,6	0,3	0,06	0,045
Aircraft	4,5	1,5	1	0,15	0,045
Rocket-artillery devices	1	0,6	0,15	0,05	0,045
Radar stations	3	1	0,3	0,15	0,015
Positions operational-tactical missiles and anti-aircraft missile systems	3	1,5	0,6	0,3	0,045
Ships	8	4,5	0,6	0,3	0,045
Bridges	6	4,5	1,5	1	0,3
Airfield constructions	6	4,5	3	0,3	0,15
Military units	6	2	1,2	0,3	0,15
Railway nodes	15 - 30	15	6	1,5	0,15
Transport communications	6 - 9	6	1,8	0,6	0,4
Urban buildings	60	30	3	3	0,75
Terrain relief	-	90	4,5	1,5	0,75

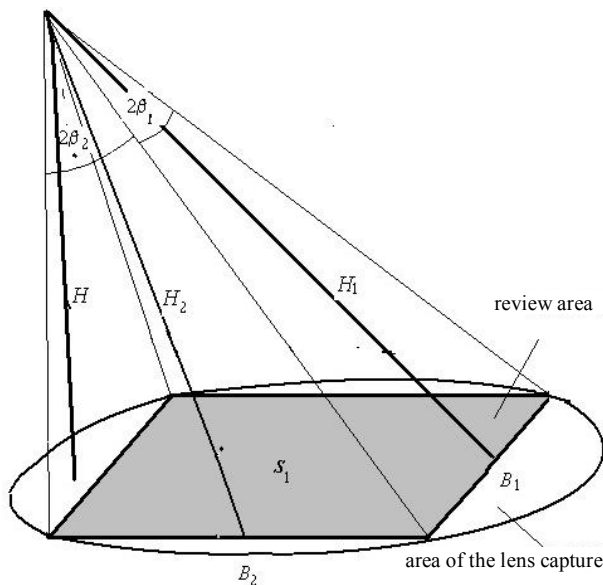


Fig. 2. Scheme of site construction for aim identification

Moreover, the clarity is characterized by five signs [7]:

1. Detection is the localization of the desired target, determining its coordinates.
2. General identification is defining the target class.
3. Accurate identification is defining the type of target within the specified class.
4. Descriptive identification is the identification of the configuration, the size of the target, its constituent parts.
5. Technical analysis of the object is determining the membership, the most probable characteristics, specific features.

For example, if the optoelectronic system has a linear detail of $d = 4.5$ m, then it can be established and this object will be similar to an airplane, at $d = 1.5$ m it is possible to detect the type of this aircraft, and at $d = 1$ m to get more accurate information about the aircraft (its affiliation, destination, etc.). Thus, the value of d is determined by the specific task of the intelligence. By analogy with formula (2), it is related to the angular resolution due to the flight height:

$$d = H(2\omega) \text{ or } H = d/(2\omega). \quad (5)$$

The formula shows that at $2\omega = \text{const}$ the linear resolution is related to the height proportional to the relationship. As the height increases, it also increases the image on the screen worsens and the object will be indistinguishable. For this reason, the maximum height of intelligence is limited. Consequently, in order to obtain conditional photographs, the flight altitude must be as low as possible. Substituting the value of height from (5) into the formula (4), we obtain an expression for determining the site

$$s_1 = d^2 \cdot (2\beta_1)(2\beta_2) / (2\omega)^2 = d^2 k_{os}, \quad (6)$$

where $k_{os} = (2\beta_1)(2\beta_2) / (2\omega)^2, \quad (7)$

k_{os} is the coefficient of the optical system, i.e. its integral characteristic. It combines the viewing angles and the angular resolution of the optical system.

The better resolution (less than 2ω) and the larger viewing angles of the system, the greater the coefficient, and, consequently, the larger area will be removed with a given detail of the object.

Knowing the value of s_1 , the total exploration area ΔS and the coefficient of its overlapping $k_{overlap}$, it is possible to calculate the required amount of information in the number of required images

$$\Delta n = k_{overlap} \Delta S / s_1 = k_{overlap} BV \Delta t / s_1 = k_{overlap} \Delta t / s_1, \quad (8)$$

and the average speed of the snapshots

$$\dot{n} = \Delta n / \Delta t = k_{overlap} \cdot W / s_1. \quad (9)$$

Obviously, the value of Δn is proportional to the amount of primary information that necessary to be preserved and/or transferred to the ground (to the control point or to another consumer).

2. The cost of UAV. It is accepted to evaluate it on several indicators:

- an initial cost of complex C_0 ;
- cost of exploitation $C_{operation}$;
- the cost of the flight hour C_{fh} ;
- the cost of shooting a plot of area s_1 of a given area C_{s1} ;
- the cost of the reconnaissance flight is the C_{rec} .

Initial cost consists of the cost of developing and manufacturing a glider AV with all onboard systems,

the cost of the payload and the cost of the ground part of the C_{ground} , which ensures the operation of the AV:

$$C_0 = C_{AV}^m m_{AV} + C_{usl}^m m_{usl} + C_{ground}, \quad (10)$$

where C_{AV}^m is the cost of 1 kg of the weight of the glider with the equipment, but without the payload, C_{usl}^m is the cost of 1 kg of payload, m_{AV} and m_{usl} is the mass corresponding to the glider and payload.

Cost of operation can be estimated as follows:

$$C_{operation} = C_{operation}^t t_{operation},$$

where $C_{operation}^t$ is an average cost for 1 hour of operation, t_{res} is the flight resource of AV.

If the predicted (statistical) number of combat missions is N , then the actual resource can be estimated approximately as $t_{res} = N t_{max}$, where t_{max} is the maximum flight duration.

With these assumptions, the total cost of a complex can be estimated in the form of an amount

$$C_{UAV} = C_0 + C_{operation}. \quad (11)$$

One of the most important indicators for the comparative estimation of UAV is the cost of the flight hour. It can be estimated from the sum of the initial cost, the maximum flight time t_{max} and multiplicity of application is the number of takeoffs N :

$$C_{fh} = \frac{C_0}{t_{max} N} + C_{operation}^t. \quad (12)$$

The denominator in this formula defines the flight of the AV for the intended lifetime. We will now determine the cost of the UAV flight. If the probability of fulfilling the task with taking into consideration all possible operating factors (performance of equipment, radio indication, overcoming the enemy's air defense, the possibility of destruction of anti-aircraft devices or aircraft of the enemy, etc.) is equal to p_{enemy} , then the cost of such a flight will be estimated by the magnitude

$$C_{enemy} = C_{s1} * n / p_{enemy}. \quad (13)$$

The value of C_{s1} can be determined by the flight time and the cost of the flight hour. Indeed, while shooting a site s_1 (fig. 2) AV passes the path $B_2 = H_2(2\beta_2) = V\Delta t_1$. Hence the time of the passage of this site

$$\Delta t_1 = H_2(2\beta_2) / V, \quad (14)$$

then
$$C_{s1} = C_{fh} \Delta t_1 = C_{fh} \cdot H_2(2\beta_2) / V. \quad (15)$$

Obviously, this indicator will be one of the most significant. It responds to a specific question: what resources should be spent to identify a specific target (for example tank, aircraft, etc.) that can be located on a site $s_1 = d^2 k_{OES}$, where d is the linear resolution of the OES.

3. Efficiency. The success of intelligence depends, basically, on the obtaining time information and its quality. As you know, the total flight time of the reconnaissance UAV consists of the execution time of individual stages: preparation of the UV before departure; flight to the exploration zone; conducting own intelligence; processing and storage of data (if necessary); data transmission to the control point; processing and data transmission to the consumer.

The value of t characterizes the efficiency of obtaining information from the intelligence officer. In some cases, time t can be no less important than the cost of the complex. Time of passage to the intelligence zone can be roughly calculated as $t_{zone} = L / V + (2...3)$, where L is the separation of the exploration zone from the start point, V is the flight speed. It can be selected depending on the task: either maximum or cruising. 2 ... 3 min is an amendment to the time for the acceleration of the AV and set of altitudes for intelligence conducting. The time for conducting intelligence t_{int} can be determined in two ways:

– for the purpose of the route and flight profile by conduction of engineering-navigational calculation;

– at the task of the area exploration by the formula (3) $t_{int} = S/W$. If the intelligence conduct with the overlapping terrain, then the result will be multiplied by the overlap factor.

In the case of an arbitrary flight, the time of intelligence is determined by the fuel reserve $t_{int} = m_{fint} / q_h$, where m_{fint} is the supply of fuel for performing intelligence (with the exception of all regulated residues), q_h is the hourly fuel consumption.

The usual time of information processing repeatedly exceeds the time of its receipt with the necessary detail, and the obtained data have to be saved if their transfer from the board to the ground in real time does not have time to be processed. On the first intelligence UAV, the information was stored on the board drives and processed after the flight. Naturally, the operational value of such an intelligence left much to be desired.

If during the performance of the reconnaissance flight the task was not viewing a certain area, but to identify targets for some other features, then the total area can be calculated as $S = ns1$ in a certain zone.

Conclusions

Thus, the criterion of cost C_{s1} will be the same for both discrete and panoramic images.

The proposed indicators W , C_{s1} and t correspond to the categories "productivity - cost - efficiency". They can be used to evaluate information obtained using equipment that works in a mode of fixed, continuous shooting of individual areas. These indicators can be used to benchmark several intelligence systems.

The direction of further research should be considered the development of a mathematical model of the functioning of unmanned aviation complexes under counteraction conditions.

REFERENCES

1. Ilyushko, V.M., Mitrahovich, M.M., Samkov, A.V., Silkov, V.I., Soloviev, O.V., and Strelnikov, V.I (2009). *Unmanned aerial vehicles: methods of approximate calculations of basic parameters and characteristics*, Kyiv, CSRIAMI of Ukraine, 302 p.

2. *Unmanned vehicles. Handbook (2010)*. Shephard press, Burnham, 145 p.
3. Silkov, V. I (1997). *Flight dynamics of aircraft*. Kyiv, KIUCA, 424 p.
4. Silkov, V. I (2004). *Combat maneuvering of aircraft*. Kyiv, NDUU, 338 p.
5. Pavlushenko, M., Evstafiev, H. and Makarenko, I (2005). *Unmanned aerial vehicles: history, application, threat of proliferation and development prospects*. Moscow, Human rights, 611 p.
6. Chepurny, V.A., Bardakov, M.V. and Khudov, G.V (2015). "Analysis of trends in the development and use of reconnaissance unmanned aerial vehicles in modern network-centric and hybrid wars". *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*. No 4(21), pp. 24-28.
7. Ilenko, Ye.Y., Stetshenko, P.M (2016). A mathematical model for estimating the costs of financial resources associated with equipping the Armed Forces with unmanned aerial systems. *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, No. 3(24), pp. 70-73.
8. Zharik, O.M (2013). "Experience in the creation and use of reusable impact drills: current state and prospects for further development, determination of Air Force needs". *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*. No. 1(10), pp. 30-38.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. А. Павленко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received 15.06.2018

Accepted for publication 05.09.2018

Показники та критерії оцінювання ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів

Р. М. Животовський, Ю. О. Горобець, О. С. Моміт

Воєнні конфлікти кінця XX – початку XXI ст. характеризуються застосуванням великої кількості нового озброєння, яке дозволило ворогуючим сторонам максимально дистанціюватися від безпосереднього зіткнення один з одним. Одними із новітніх зразків озброєння на полі бою стали безпілотні авіаційні комплекси, які під час воєнних конфліктів довели свою здатність щодо ведення повітряної розвідки, ураження об'єктів та виконання інших завдань бойового забезпечення. Можливість успішного вирішення різноманітних завдань за допомогою безпілотних авіаційних комплексів продемонстровано під час воєнних конфліктів на Близькому Сході (1982–2008), Балканах (1999), в Афганістані (2001–2008) та на Кавказі (1994–2008). На сьогоднішній час існує велика кількість різноманітної літератури про способи застосування безпілотних авіаційних комплексів під час збройних конфліктів останніх десятиріч. Проте єдиного підходу з оцінювання ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення в відомих джерелах не розроблено. В зазначеній статті авторами запропонований показники та критерії оцінки ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення. В ході зазначеного дослідження авторами використані основні положення теорії складних технічних систем; метод експертних оцінок; метод аналізу ієрархій, методів багатовимірного порівняльного, загальнонаукового та структурно-функціонального аналізу. Запропоновані в роботі показники та критерії оцінки ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення можуть бути використані для оцінки інформації, одержуваної за допомогою апаратури, що працює у режимі як фіксованої, так безперервної зйомки окремих ділянок місцевості. Запропоновані в статті показники можуть бути використані для порівняльної оцінки декількох безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення, що дозволяють провести оцінку рівня технічної досконалості безпілотних авіаційних комплексів та обрати найбільш досконалі для виконання конкретного типу завдань.

Ключові слова: безпілотні авіаційні комплекси, воєнні конфлікти, показники оцінки ефективності, технічні характеристики, розвідка, критерії.

Показатели и критерии оценки эффективности применения беспилотных авиационных комплексов

Р. Н. Животовский, Ю. А. Горобец, А. С. Момит

Военные конфликты конца XX - начала XXI в. характеризуются применением большого количества нового вооружения, которое позволило враждующим сторонам максимально дистанцироваться от непосредственного соприкосновения друг с другом. Одним из новейших образцов вооружения на поле боя стали беспилотные авиационные комплексы, которые во время военных конфликтов доказали свою способность по ведению воздушной разведки, поражения объектов и выполнения других задач боевого обеспечения. Возможность успешного решения различных задач с помощью беспилотных авиационных комплексов продемонстрировано во время военных конфликтов на Ближнем Востоке (1982-2008), Балканах (1999), в Афганистане (2001-2008) и на Кавказе (1994-2008). На сегодняшнее время существует большое количество разнообразной литературы о способах применения беспилотных авиационных комплексов во время вооруженных конфликтов последних десятилетий. Однако единого подхода по оценке эффективности применения беспилотных авиационных комплексов специального назначения в известных источниках не разработано. В указанной статье авторами предложены показатели и критерии оценки эффективности применения беспилотных авиационных комплексов специального назначения. В ходе указанного исследования авторами использованы основные положения теории сложных технических систем; метод экспертных оценок; метод анализа иерархий, методы многомерного сравнительного, общенаучного и структурно-функционального анализа. Предложенные в работе показатели и критерии оценки эффективности применения беспилотных авиационных комплексов специального назначения могут быть использованы для оценки информации, получаемой с помощью аппаратуры, работающей в режиме как фиксированной, так непрерывной съемки отдельных участков местности. Предложенные в статье показатели могут быть использованы для сравнительной оценки нескольких беспилотных авиационных комплексов специального назначения, позволяющие провести оценку уровня технического совершенства беспилотных авиационных комплексов и выбрать наиболее совершенные для выполнения конкретного типа задач.

Ключевые слова: беспилотные авиационные комплексы, военные конфликты, показатели оценки эффективности, технические характеристики, разведка, критерии.

І. А. Хижняк¹, Г. В. Худов¹, І. В. Рубан², О. М. Маковейчук², Ю. С. Соломоненко¹, В. Г. Худов²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ КОЛЬОРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Предметом вивчення в статті є метод тематичного сегментування кольорового зображення бортової системи оптико-електронного спостереження. **Метою** є розробка методу тематичного сегментування, в основу якого покладений ройовий метод штучної бджолиної колонії. **Завдання:** аналіз властивостей метаевристичних методів оптимізації, аналіз основних операцій метаевристичних методів оптимізації, формулювання оптимізаційної задачі вибору порогу тематичного сегментування оптико-електронного зображення при використанні ройового методу штучної бджолиної колонії, розробка схеми методу тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, отримання гістограм розподілу яскравості по кожному каналу яскравості кольорового зображення, викладення сутності методу тематичного сегментування кольорового зображення бортової системи оптико-електронного спостереження, аналіз ітераційного процесу пошуку оптимальних порогів тематичного сегментування в кольорових каналах оптико-електронного зображення, визначення оптимального значення порогового рівня для кожного каналу яскравості, отримання результату тематичного сегментування вихідного оптико-електронного зображення, візуальна оцінка якості сегментованого зображення. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, ройового інтелекту, кластеризації даних, еволюційних обчислень, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень. Отримані такі **результати**. Встановлено, що для тематичного сегментування зображення бортової системи оптико-електронного спостереження доцільно використання метаевристичних методів оптимізації. Встановлено, що метод тематичного сегментування кольорового зображення заснований на ройовому методі штучної бджолиної колонії, у якості цільової функції використовується сума дисперсії тематичних сегментів, а оптимізаційна задача полягає в мінімізації цільової функції. Встановлено, що оптимальне значення порогового рівня для кожного каналу яскравості відповідає мінімуму цільової функції для кожного каналу яскравості. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: підвищення візуальної якості сегментованого кольорового зображення, що в подальшому суттєво впливає на вирішення завдання дешифрування зображення.

Ключові слова: бортова систем спостереження, оптико-електронне зображення, тематичне сегментування, ройові методи, штучна бджолина колонія, цільова функція, поріг сегментування, ітераційний процес, оптимізація.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відмінною рисою дешифрування зображення бортової системи оптико-електронного спостереження, взагалі, та його тематичного сегментування, зокрема, є пошук раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив [1]–[2]. Особливостями пошуку раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив є нелінійність, недиференційованість, багатоекстремальність, овражність, відсутність аналітичного виразу цільових функцій, висока обчислювальна складність, висока розмірність простору пошуку та складна топологія області допустимих значень. Знаходження рішення точними методами оптимізації ускладнюється нелінійністю, недиференційованістю та відсутністю аналітичного виразу цільової функції. Висока обчислювальна складність, висока розмірність простору пошуку та складна топологія області допустимих значень приводять до значних витрат часу при використанні точних методів оптимізації.

Показники якості дешифрування та тематичного сегментування оптико-електронного зображення, як правило, описуються нелінійними залежностями та оцінюються за допомогою складних моделюючих методів, що зумовлює високу трудомісткість обчислень при вирішенні оптимізаційної задачі [1]–[2]. В таких умовах застосування класичних методів пошуку екстремуму цільової функції стає малоефекти-

вним. У теперішній час розвиваються методи пошуку глобального екстремуму, що забезпечують збіжність до точного рішення оптимізаційної задачі, що забезпечує оптимальне (мінімальне або максимальне) значення цільової функції [3]–[6]. До таких методів відносяться метаевристичні методи оптимізації, які, на відміну від класичних методів оптимізації, можуть використовуватися в умовах повної відсутності інформації щодо характеру та властивостей цільової функції [3]–[6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В загальному випадку оптимізаційна задача Θ :

$$\Theta = (O, f) - \quad (1)$$

це задача, в якій задана кінцева кількість об'єктів O та цільова функція $f: O \rightarrow \mathbb{R}^+$, що визначає позитивне значення вартості для кожного з об'єктів $o \in O$ [7]–[8]. Мета оптимізації полягає в знаходженні об'єкту з мінімальним значенням вартості. Об'єктами, як правило, є цілі числа, підмножини множин елементів, перестановки множин елементів або графові структури [7]–[8]. Більшість оптимізаційних задач, до яких належить задача тематичного сегментування оптико-електронного зображення, відносяться до NP-складних задач та точне рішення їх потребує побудови дерева пошуку рішень експоненціального розміру [8]. Для вирішення указаних задач, в тому числі і задачі тематичного сегментування оптико-електронного зображення, доцільно

використання метаевристичних методів. Перевагами метаевристичних методів оптимізації є спроможність вирішення складних задач без знання простору пошуку [8]. Метаевристичні методи реалізують прямий випадковий пошук можливих рішень задачі, що є оптимальними або близькими до оптимальних, доки не буде виконана деяка умова або досягнута задана кількість ітерацій [8].

Процедура, що знаходить допустиме рішення $\tilde{x} \in X$ оптимізаційної задачі (1) є евристикой [8]. В ідеальному випадку рішення \tilde{x} повинно співпадати з оптимальним рішенням x^* оптимізаційної задачі (1) (якщо x^* є єдиним рішенням) та $f(\tilde{x}) = f(x^*)$. Але для більшості евристик можна тільки сподіватися (а для деяких доказати), що $f(\tilde{x})$ є "близьким" до $f(x^*)$ [8]. Більш загальні методи рішення оптимізаційної задачі (1) викладені в [9]–[10] та названі метаевристичними методами. Метаевристичні методи спрямовані на ефективне дослідження простору пошуку оптимального рішення, поєднують основні евристичні методи та потребують менше часу, ніж розробка спеціалізованих евристичних методів "з нуля" [8]. Метаевристичні методи мають наступні властивості [8]:

- керування процесом пошуку оптимального рішення;
- ефективне дослідження простору пошуку для знаходження оптимального рішення;
- використання простих процедур локального пошуку та складних процесів навчання;
- є наближеними методами та, як правило, недетермінованими;
- враховують можливість попадання в пастку в обмеженому просторі пошуку;
- є універсальними (вирішують різні прикладні задачі);
- використовують апріорну інформацію для знаходження оптимального рішення.

Основними операціями, що використовуються в метаевристичних методах є наступні [8]–[10].

1. Ініціалізація, знаходження початкового рішення $x = x_0$.

2. Визначення околиці рішення. Кожному рішенню $x \in X$ відповідають множина околиць та пов'язані з цим переходи $N(x) = \{N_1, N_2, \dots, N_q\}$.

3. Критерій вибору околиці визначається у випадку наявності більше, ніж одна околиця, та визначає не тільки обрану околицю, але й умову її вибору. Альтернативи обрання околиці задовольняють умовам "на кожній ітерації" або "при заданих умовах".

4. Відбір кандидатів на оптимальне рішення. У випадку великих околиць розглядається тільки підмножина переходів на кожній ітерації. Відповідний список кандидатів $C(x) \subseteq N(x)$ може бути постійним та обновлюваним від ітерації до ітерації, або може бути побудованим на кожній новій ітерації. У всіх випадках критерій вибору визначає, яким чином можуть бути обрані рішення для включення в список кандидатів.

5. Критерій прийняття. Переходи оцінюються за допомогою функції $g(x, y)$, що залежить від значення цільової функції, штрафів за порушення деяких обмежень тощо. Обирається найкраще рішення по відношенню до критерію (2):

$$\tilde{x} = \arg \text{opt} \{g(x, y); y \in C(x)\} \quad (2)$$

(з урахуванням необхідності запобігання зацикленню).

6. Критерій зупинки: час обчислення, кількість ітерацій, якість поліпшення рішення.

Виділяють чотири основні групи метаевристичних методів оптимізації: еволюційні методи; ройові методи; методи, що імітують фізичні процеси; мултистартові методи [11]. До еволюційних методів відносяться: генетичні методи; методи, що імітують імунні системи організмів; методи розсіювання; еволюційної стратегії перетворення кореляційної матриці; метод динамічних сіток; методи диференційної еволюції та інші [11]. До ройових методів відносяться: метод поведінки частинок у зграї; мурашиний метод; метод штучної бджолоїної колонії; метод, що імітує поведінку зграї риб та інші [11].

Мета статті – розробити ройовий метод тематичного сегментування зображення бортової системи оптико-електронного спостереження.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

В загальному вигляді оптимізаційна задача вибору порогу тематичного сегментування оптико-електронного зображення при використанні ройового методу штучної бджолоїної колонії на кожній j -й ітерації представлена виразами (3)–(9) та полягає у мінімізації цільової функції (3) на кожній j -й ітерації з урахуванням визначень і обмежень (4)–(9) [12]–[14].

$$D(\text{th}) = \sum_{j=1}^K D_j(\text{th}) \rightarrow \min ; \quad (3)$$

$$D_j(\text{th}) = \frac{1}{N_{1j} - 1} \sum_{k=1}^{N_{1j}} |U_{kj} - \mu_j|^2 \quad \text{– для } U_{kj} > \text{th} ; \quad (4)$$

$$D_j(\text{th}) = \frac{1}{N_{0j} - 1} \sum_{k=1}^{N_{0j}} |U_{kj} - \mu_j|^2 \quad \text{– для } U_{kj} \leq \text{th} ; \quad (5)$$

$$\mu_j = \frac{1}{N_{1j}} \sum_{k=1}^{N_{1j}} U_{kj} \quad \text{– для } U_{kj} > \text{th} ; \quad (6)$$

$$\mu_j = \frac{1}{N_{0j}} \sum_{k=1}^{N_{0j}} U_{kj} \quad \text{– для } U_{kj} \leq \text{th} ; \quad (7)$$

$$D_j(\text{th}) \geq 0 ; \quad (8)$$

$$0 \leq \text{th} \leq U_{\max} ; \quad (9)$$

де K – кількість сегментів; N_{0j} – кількість пікселів в j -му сегменті, яскравість яких менше або дорівнює значенню порогового рівня th ; N_{1j} – кількість пікселів в j -му сегменті, яскравість яких більше значення

порогового рівня th ; U_{kj} – яскравість k -го пікселя в j -му сегменті; μ_j – математичне сподівання яскравості в j -му сегменті; U_{max} – максимальне значення яскравості пікселів на зображенні.

Таким чином, з урахуванням визначення цільової функції (вирази (3)–(9)) схема методу тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження представлена на рис. 1.

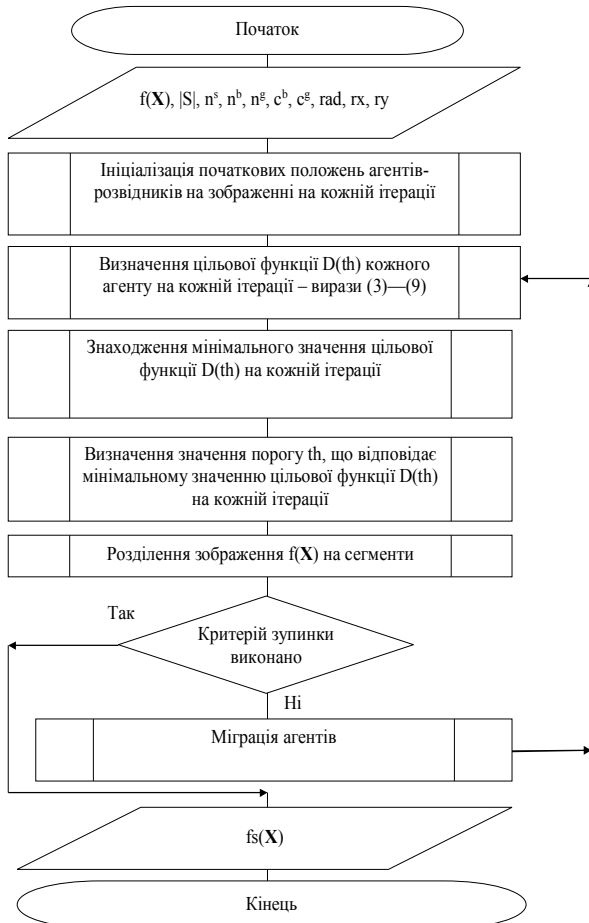


Рис. 1. Схема методу тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості вихідного будемо розглядати кольорове зображення бортової системи оптико-електронного спостереження (рис. 2). Розмір зображення – (868x847) пікселів, зображення представлено у кольоровому просторі RGB. Розглянемо канали яскравості Red (R), Green (G), Blue (B) кольорового простору RGB представлення вихідного оптико-електронного зображення (рис. 2 [15]).

На рис. 3–5 наведені гістограми розподілу яскравості по кожному каналу яскравості (представлена залежність яскравості U від кількості пікселів N для каналів R, G, B, відповідно). З аналізу гістограм (рис. 3–5) видно, що вони не є унімодальними, що ускладнює вибір оптимального порогу тематичного сегментування.

Для тематичного сегментування кольорового зображення запропоновано метод (рис. 6), який передбачає:



Рис. 2. Вихідне зображення [15]

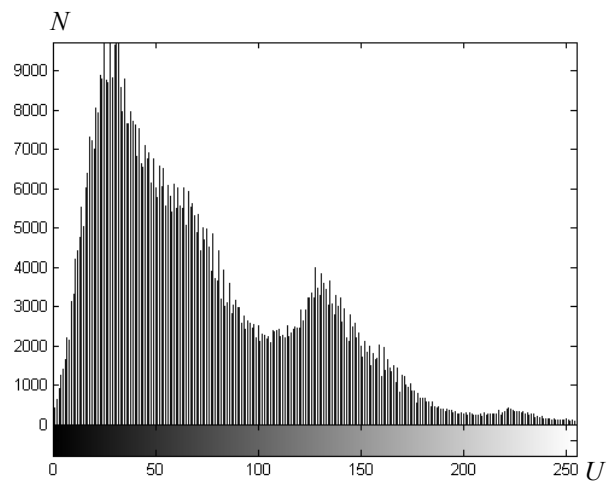


Рис. 3. Гістограма розподілу яскравості для каналу Red

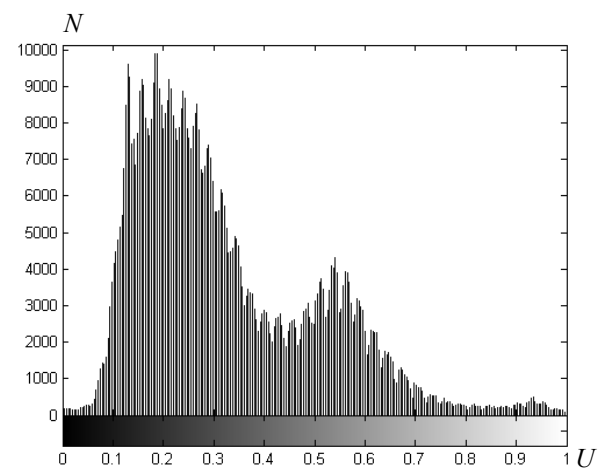


Рис. 4. Гістограма розподілу яскравості для каналу Green

– введення початкових даних: $f(X)$ (вихідне зображення), $|S|$ (загальна кількість агентів), n^s (кількість позицій агентів-розвідників), n^b (кількість кращих позицій), n^g (кількість перспективних позицій), c^b (кількість агентів, що направляються до кращих позицій), c^g (кількість агентів, що відправляються до перспективних позицій), rad (коефіцієнт, що визначає розсіяння агентів при відправленні на

кращі та перспективні позиції), r_x (розмір околиці позиції по осі x), r_y (розмір околиці позиції по осі y);

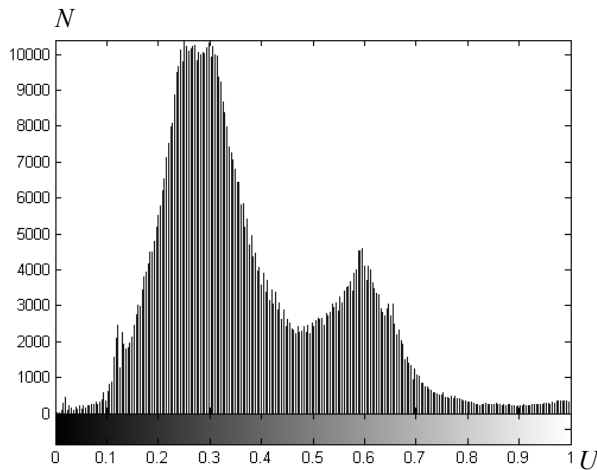


Рис. 5. Гістограма розподілу яскравості для каналу Blue



Рис. 6. Схема методу тематичного сегментування кольорового зображення (кольоровий простір RGB) бортової системи оптико-електронного спостереження

– виділення кольорових каналів на вихідному зображенні $f(X)$: $f_R(X)$, $f_G(X)$, $f_B(X)$ (де $f_R(X)$, $f_G(X)$, $f_B(X)$ – зображення по кольоровим каналам Red, Green, Blue, відповідно);

– виділення каналу яскравості в кожному кольоровому каналі вихідного зображення: $f_R(X)$, $f_G(X)$, $f_B(X)$;

– тематичне сегментування зображення в кожному кольоровому каналі методом (рис. 1) та отримання сегментованих зображень по кожному кольоровому каналу: $fs_R(X)$, $fs_G(X)$, $fs_B(X)$ (де $fs_R(X)$, $fs_G(X)$, $fs_B(X)$ – сегментовані зображення у кольорових каналах Red, Green, Blue, відповідно);

– зворотній перехід до кольорової моделі RGB (об'єднання кольорових каналів);

– отримання сегментованого кольорового зображення $fs(X)$.

Тематичне сегментування в кожному кольоровому каналі проводиться ройовим методом штучної бджолиної колонії (рис. 1). Ітераційний процес пошуку оптимальних порогів тематичного сегментування в кольорових каналах оптико-електронного зображення на першій, десятій та двадцятій ітераціях наведено на рис. 3-9 відповідно. На рис. 7-9 показано розташування локальних та глобального мінімумів цільової функції на кожному етапі ітерації. З аналізу рис. 7-9 видно, що зі збільшенням кількості ітерацій все більше агентів розташовується в області мінімального значення цільової функції.

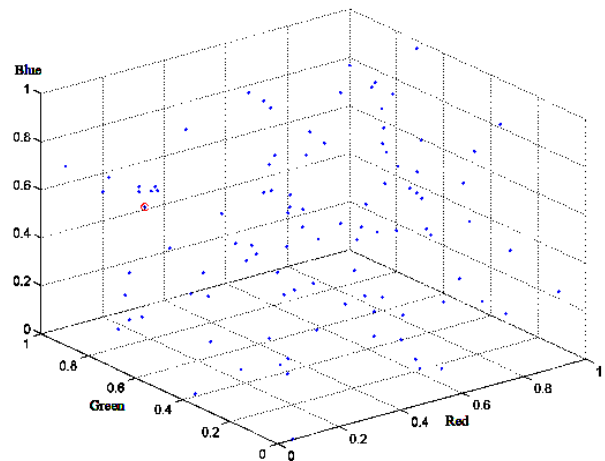


Рис. 7. Ітераційний процес пошуку оптимальних порогів тематичного сегментування в кольорових каналах оптико-електронного зображення на першій ітерації

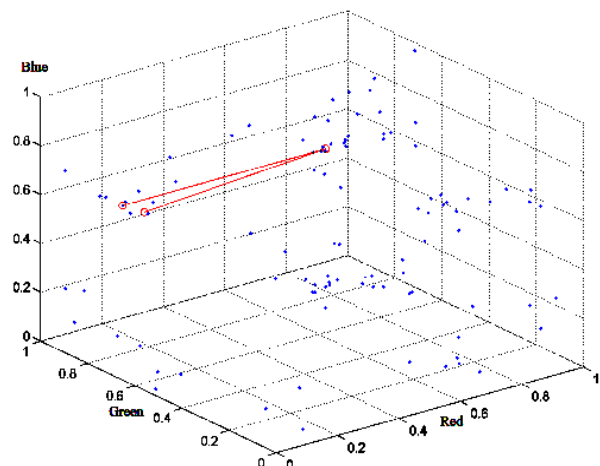


Рис. 8. Ітераційний процес пошуку оптимальних порогів тематичного сегментування в кольорових каналах оптико-електронного зображення на десятій ітерації

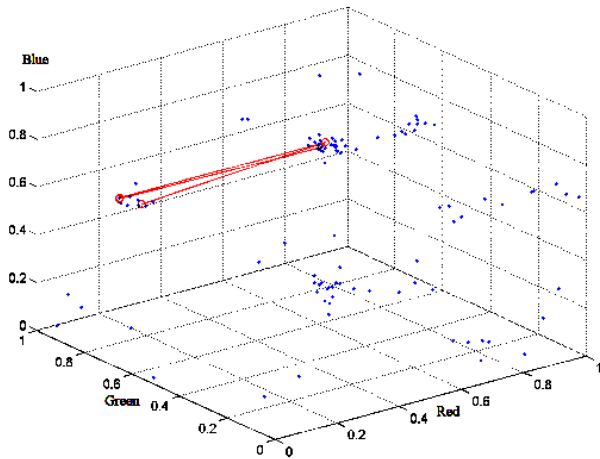


Рис. 9. Ітераційний процес пошуку оптимальних порогів тематичного сегментування в кольорових каналах оптико-електронного зображення на двадцятій ітерації

На рис. 10—12 наведені приклади побудови цільової функції $D(th)$ для різних каналів яскравості (Red, Green, Blue, відповідно). Для кожного каналу яскравості визначено значення оптимального порогу th тематичного сегментування оптико-електронного зображення.

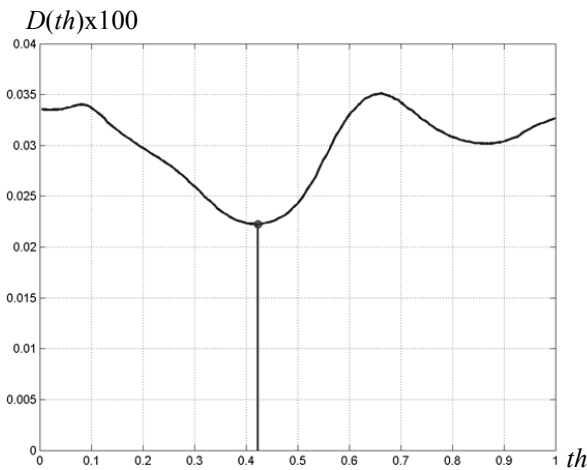


Рис. 10. Визначення оптимального значення порогового рівня для каналу яскравості Red

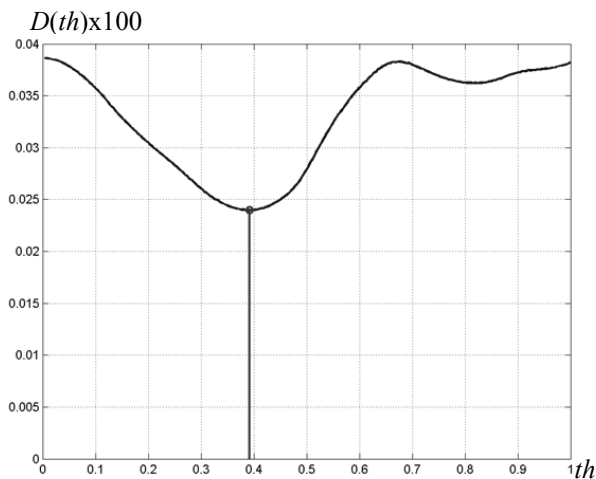


Рис. 11. Визначення оптимального значення порогового рівня для каналу яскравості Green

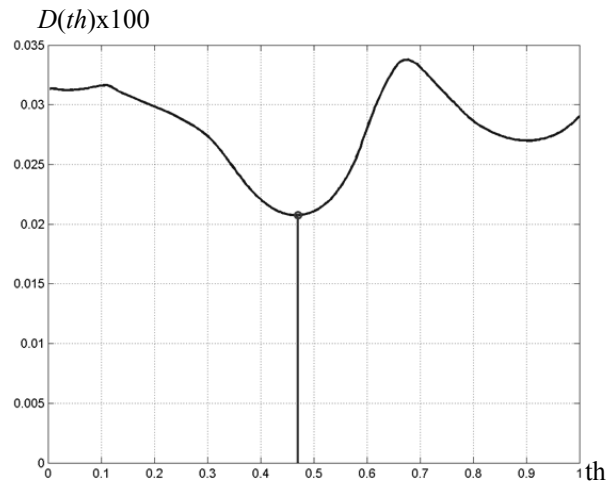


Рис. 12. Визначення оптимального значення порогового рівня для каналу яскравості Blue

Зворотній перехід до кольорової моделі RGB здійснюється шляхом об'єднання кольорових каналів з використанням правила змішування кольорів та законів математичної логіки.

На рис. 13 для наочності наведена тривимірна візуалізація вихідного зображення (рис. 2) у вигляді хмари точок у кольоровому просторі RGB відповідної яскравості. На рис. 14 у тривимірному кольоровому просторі RGB показано січні площини,

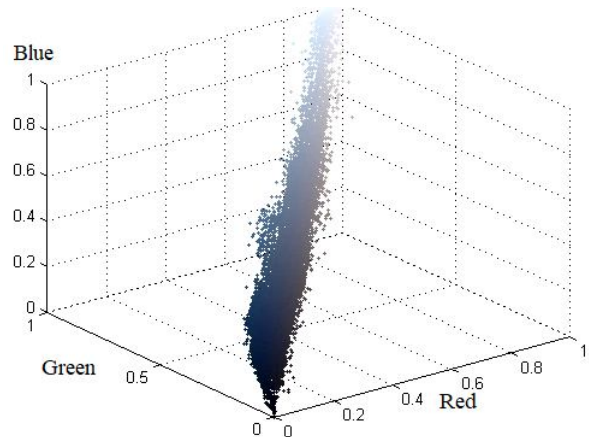


Рис. 13. Представлення вихідного зображення (рис. 2) у вигляді хмари точок у кольоровому просторі RGB

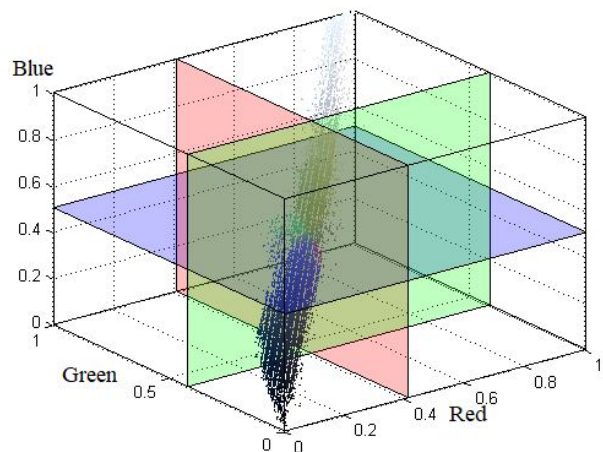


Рис. 14. Січні площини, що відповідають оптимальним значенням порогового рівня кожного кольорового каналу

Січні площини рис. 14 відповідають оптимальним значенням порогового рівня кожного кольорового каналу.

Рівняння січних площин: $R=0,4089$; $G=0,3978$; $B=0,4837$. Результат тематичного сегментування вихідного оптико-електронного зображення (рис. 4) наведений на рис. 15.

З аналізу результатів тематичного сегментування (рис. 15) шляхом візуальної оцінки якості видно, що вдалося провести тематичне сегментування кольорового зображення бортової системи оптико-електронного спостереження та виділити об'єкти розвідки – літаки, сховища з нафтою, споруди та інші.

Висновки і напрямки подальших досліджень

В роботі проведено аналіз властивостей метаевристичних методів оптимізації, аналіз основних операцій метаевристичних методів оптимізації. Сформульована оптимізаційна задача вибору порогу тематичного сегментування оптико-електронного зображення при використанні ройового методу штучної бджолиної колонії, розроблено метод тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем оптико-електронного спостереження.

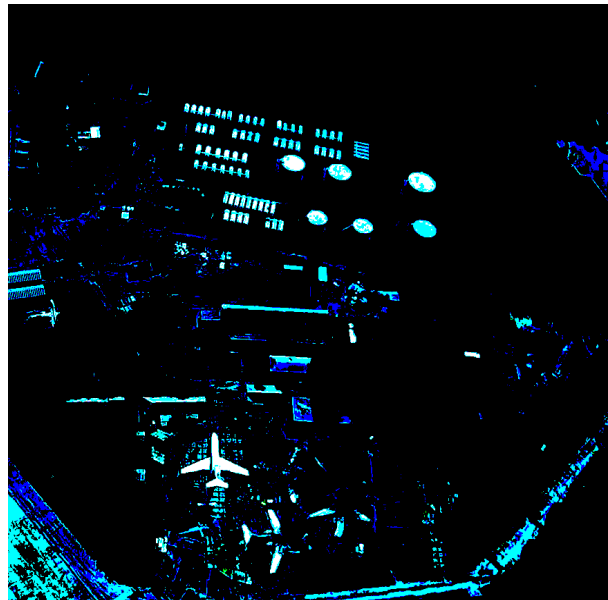


Рис. 15. Результат тематичного сегментування вихідного кольорового оптико-електронного зображення

В подальших дослідженнях необхідно провести оцінку ефективності розробленого методу тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем спостереження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гук А. П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов / А. П. Гук // Известия высших учебных заведений. — 2015. — № 65. — С. 166–169.
2. Кобзева Е. А. Автоматизация дешифрирования спутниковых снимков: опыт и проблемы / Е. А. Кобзева, К. А. Поздина // Геодезия и картография. — 2008. — Т. 6. — С. 40–44.
3. Суботін С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С. О. Суботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.
4. Ayman El-Baz. Biomedical image segmentation: advances and trends / El-Baz Ayman, X. Jiang, J. S. Suru. — US: CRC Press, 2016. — 546 p.
5. Пантелеев А. В. Метаевристические алгоритмы поиска глобального экстремума / А. В. Пантелеев. — М.: МАИ, 2009. — 160 с.
6. Пантелеев А. В. Методы глобальной оптимизации: метаевристические стратегии и алгоритмы / А. В. Пантелеев, Д. В. Метлицкая, Е. А. Алешина. — М.: Вузовская книга, 2013. — 244 с.
7. Papadimitriou C. H. Combinatorial Optimization. Algorithms and Complexity / C. H. Papadimitriou, K. Steiglitz. — New York: Dover Publications, 1998. — 528 p.
8. Щербина О. А. Метаевристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) / О. А. Щербина // Таврійський вісник інформатики та математики. — 2014. — № 1 (24). — С. 56–72.
9. Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence / F. Glover // Computers & Operations Research. — 1986. — № 131. — P. 533–549.
10. Glover F. Handbook of Metaheuristics / F. Glover, G. Kochenberger. — Norwell: Kluwer Academic Publisher, 2002. — 647 p.
11. Пантелеев А. В. Применение эволюционных методов глобальной оптимизации в задачах оптимального управления детерминированными системами / А. В. Пантелеев. — М.: МАИ, 2013. — 159 с.
12. Хижняк І. А. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим методом / І. А. Хижняк, О. М. Маковейчук, В. Г. Худов, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2018. — № 1 (47). — С. 146–152.
13. Хижняк І. А. Метод ройового інтелекту (штучної бджолиної колонії (АВС)) тематичного сегментування оптико-електронного зображення / І. А. Хижняк, О. М. Маковейчук, Р. Г. Худов, В. О. Подліпаєв, Г. В. Горбань, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2018. — № 2 (48). — С. 91–96.
14. Хижняк І. А. Інформаційна ройова технологія тематичного сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / І. А. Хижняк, О. М. Маковейчук, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2018. — № 3 (49). — С. 26–32.
15. Ruban I. Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method / I. Ruban, H. Khudov, V. Khudov, I. Khizhnyak, O. Makoveichuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2017. — № 5/9 (89). — P. 49–57.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Васюта,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків
Received 11.07.2018
Accepted for publication 19.09.2018

Метод тематической сегментации цветного изображения бортовой системы оптико-электронного наблюдения

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

Предметом изучения в статье является метод тематической сегментации цветного изображения бортовой системы оптико-электронного наблюдения. **Целью** является разработка метода тематической сегментации, в основу которого положен метод искусственной пчелиной колонии. **Задачи:** анализ свойств метаэвристических методов оптимизации, анализ основных операций метаэвристических методов оптимизации, формулировка оптимизационной задачи выбора порога тематической сегментации оптико-электронного изображения при использовании роевого метода искусственной пчелиной колонии, разработка схемы метода тематической сегментации оптико-электронных изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения, получение гистограмм распределения яркости в каждом канале яркости цветного изображения, изложение сущности метода тематической сегментации цветного изображения бортовой системы оптико-электронного наблюдения, анализ итерационного процесса поиска оптимальных порогов тематической сегментации в каналах яркости оптико-электронного изображения, определение оптимального значения порогового уровня для каждого канала яркости, получение результата тематической сегментации исходного оптико-электронного изображения, визуальная оценка качества сегментированного изображения. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, роевого интеллекта, кластеризации данных, эволюционных вычислений, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений. Получены следующие **результаты**. Установлено, что для тематической сегментации изображения бортовой системы оптико-электронного наблюдения целесообразно использование метаэвристических методов оптимизации. Установлено, что метод тематической сегментации цветного изображения основан на роевом методе искусственной пчелиной колонии, в качестве целевой функции используется сумма дисперсий тематических сегментов, а оптимизационная задача состоит в минимизации целевой функции. Установлено, что оптимальное значение порогового уровня для каждого канала яркости соответствует минимуму целевой функции для каждого канала яркости. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: повышение визуального качества сегментированного изображения, что в дальнейшем существенно влияет на решение задачи дешифрирования изображения.

Ключевые слова: бортовая система наблюдения, оптико-электронное изображение, тематическая сегментация, роевые методы, искусственная пчелиная колония, целевая функция, порог сегментации, итерационный процесс, оптимизация.

Informational swarm technology of the thematic images segmentation obtained from on-board systems of optical-electronic observation

I. Khizhnyak, H. Khudov, I. Ruban, A. Makoveychuk, Yu. Solomonenko, V. Khudov

The **subject matter** of the article is the method of thematic segmentation of a color image of an on-board optical-electronic surveillance system. The **goal** is the development of a thematic segmentation method based on the artificial bee colony method. The **tasks** are: analysis of the properties of meta-heuristic optimization methods, analysis of the basic operations of meta-heuristic optimization methods, formulation of the optimization problem of selecting the thematic segmentation threshold for optical-electronic imaging using the swarm method of artificial bee colony, developing a scheme for thematic segmentation of optical-electronic imaging systems optoelectronic observation, obtaining histograms of the distribution of brightness in each channel of the brightness of a color image, presentation of the essence of the method of thematic segmentation of the color isobarbation of the on-board optical-electronic surveillance system, the analysis of the iterative process of finding the optimal thresholds for the thematic segmentation in the brightness channels of the optical-electronic image, determining the optimal value of the threshold level for each channel of the brightness - electronic image, visual assessment of the quality of the segmented image. The methods used are: methods of probability theory, mathematical statistics, swarm intelligence, data clustering, evolutionary computing, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing. The following results were obtained. It has been established that for thematic segmentation of an image of an onboard system of optical-to-electronic observation, it is advisable to use metaheuristic optimization methods. It has been established that the method of thematic segmentation of a color image is based on the swarm method of an artificial bee colony, the sum of variances of the thematic segments is used as the target function, and the optimization problem is to minimize the objective function. It is established that the optimal value of the threshold level for each brightness channel corresponds to the minimum of the objective function for each brightness channel. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, swarm intelligence, data clustering, evolutionary calculations, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing. The following **results** were obtained. It has been established that for thematic segmentation of an image of an onboard system of optical-electronic observation it is expedient to use metaheuristic optimization methods. It has been established that the method of thematic segmentation of a color image is based on the swarm method of an artificial bee colony, the sum of variances of the thematic segments is used as the objective function, and the optimization problem is to minimize the objective function. It has been established that the optimal value of the threshold level for each brightness channel corresponds to the minimum of the objective function for each brightness channel. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: an increase in the visual quality of the segmented image, which subsequently significantly affects the solution of the problem of image decoding.

Keywords: onboard surveillance system, optical-electronic image, thematic segmentation, swarm methods, artificial bee colony, fitness function, segmentation threshold, iterative process, optimization.

Контроль космічного та повітряного простору

УДК 621.384

doi: 10.26906/SUNZ.2018.5.020

Є. О. Гришманов

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

ВИБІР МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ ПІД ЧАС ПОЛЬОТУ

Мета статті. Проведення дослідження та вибір найбільш ефективного математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту. **Результати.** В статті проведений аналіз відомих методів, що використовуються для вирішення задач класифікації даних з точки зору доцільності їх застосування для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту на основі аналізу текстових повідомлень. Розглянуто наступні методи: логістична регресія, метод опорних векторів, наївний байєсівський класифікатор, випадковий ліс (random forest). Крім того для вирішення подібного класу задач розглянуто згорткові та рекурентні нейронні мережі в яких застосовуються алгоритми глибокого навчання. **Висновки.** В результаті аналізу вказаних методів для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту на основі аналізу текстових повідомлень обрано математичний апарат глибоких нейронних мереж. Завдяки застосуванню в них алгоритмів глибокого навчання вони володіють найбільш високою точністю у порівнянні з традиційними підходами.

Ключові слова: прогнозування, класифікація, байєсівський класифікатор, метод опорних векторів, згорткова нейронна мережа, рекурентна нейронна мережа.

Вступ

Постановка проблеми. Незважаючи на стрімкий науково-технічний прогрес, що спостерігається в останні десятиліття у галузі авіаційної техніки, проблема забезпечення безпеки польотів не втрачає своєї актуальності [1]. Постійна модернізація та створення новітніх зразків літальних апаратів, розробка та впровадження нових методів експлуатації авіаційної техніки, вдосконалення підготовки льотної складу та осіб, що забезпечують польоти обумовлює необхідність вдосконалення методів управління процесами забезпечення безпеки польотів. Одним з шляхів підвищення ефективності роботи системи управління безпекою польотів є застосування автоматизованих систем прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту.

Традиційним підходом при розробці методів прогнозування авіаційних подій є застосування статистичних методів оцінки ризиків та факторів небезпеки. Незважаючи на ряд переваг, дані методи не завжди є універсальними і потребують достатньої кількості аналітичної та статистичної інформації стосовно об'єкту, що аналізується.

Перспективним напрямком є технології, що засновані на використанні елементів штучного інтелекту, а саме нейронних мереж. Їх актуальність обумовлена тенденцією збільшення складності математичних та формальних моделей реальних систем та необхідністю урахування великої кількості факторів, що потребує великих затрат часу та засобів.

Мета статті. Проведення дослідження та вибір найбільш ефективного математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту.

Основний матеріал

У загальному вигляді задача прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту полягає у побудові класифікатора, що буде прогнозувати появу визначеного класу авіаційної події. Процес прогнозування виникнення авіаційної події деякого класу в даній роботі пропонується розглядати як задачу аналізу текстових повідомлень, що формуються за результатами збору даних від різних джерел інформації в процесі управління повітряним рухом.

Побудову моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту на основі аналізу текстових повідомлень можливо здійснювати з використанням наступних методів: логістична регресія, метод опорних векторів, наївний байєсівський класифікатор, випадковий ліс (random forest). Проведемо аналіз вказаних методів з точки зору доцільності їх застосування для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту на основі аналізу текстових повідомлень.

Логістична регресія [2] – статистична модель, за допомогою якої здійснюється передбачення ймовірності виникнення деякої події в залежності від значення множини ознак. Суттєвим недоліком даного методу є те, що він працює з обмеженою кількістю вхідних даних, тобто існує загроза не врахування деяких важливих факторів, що спричинить суттєвий вплив на результат.

Метод байєсівської класифікації [3] традиційно використовується для вирішення задач класифікації тексту. Засновується на застосуванні теореми Байєса зі строгими припущеннями про незалежність елементів вектора ознак. Перевагою наївного байєсівсько-

го класифікатора є мала кількість даних для навчання, необхідних для оцінки параметрів, низькі обчислювальні витрати та простота реалізації. Серед недоліків слід відмітити відносно невисоку якість класифікації даних при вирішенні завдань.

Випадковий ліс (random forest) [2] – алгоритм, що полягає у використанні ансамблю (комітету) дерев прийняття рішень. Класифікація об'єктів проводиться шляхом голосування: кожне дерево комітету відносить об'єкт, що класифікується до одного з класів. Перемагає той клас, за який проголосувала найбільша кількість дерев. Оптимальна кількість дерев обирається таким чином, щоб мінімізувати помилку класифікатора на тестовій вибірці. Використовує усереднення для підвищення точності прогнозування і контролю надлишкової підгонки. Перевагами даного методу є достатньо висока точність, відсутність проблеми перенавчання, простота застосування. Недоліками є відсутність візуального представлення процесу прийняття рішень та складність їх інтерпретації.

Метод опорних векторів (SVM) [2] полягає у переводі вихідних векторів у простір більш високої розмірності та у пошуку розділяючої гіперплощини для розділення позитивних та негативних прикладів з максимальним зазором в цьому просторі. Перевагою даного методу є висока ефективність та якість класифікації у порівнянні з іншими методами. Серед недоліків слід зазначити необхідність великого обсягу пам'яті та витрат машинного часу на навчання, низьку швидкість навчання та зниження ефективності методу при збільшенні кількості ознакових описів.

Для вирішення подібного класу задач ефективним на даний момент є використання глибоких нейронних мереж, які завдяки застосуванню алгоритмів глибокого навчання володіють найбільш високою точністю у порівнянні з традиційними підходами.

Глибокими нейронними мережами [4] називають мережі, що мають декілька прихованих шарів, як правило від 4-х і вище. Кожний прихований шар обчислює нелінійне перетворення попереднього шару, отже глибока нейронна мережа має значно більшу репрезентативну потужність, що дозволяє представляти значно складніші функції, ніж нейронна мережа з 1–3 шарами. При цьому в процесі навчання глибокої нейронної мережі важливо використовувати нелінійну функцію активації в кожному прихованому шарі. Таким чином, однією з найголовніших переваг глибоких нейронних мереж є стисле представлення досить великої кількості функцій.

Згортова нейронна мережа (convolutional neural network (CNN)) – клас глибоких нейронних мереж, що спочатку була створена для ефективного розпізнавання цифрових зображень [5]. Класична архітектура CNN являє собою чергування згорткових шарів з нелінійними активаційними функціями та шарами об'єднання. На відміну від мережі прямого поширення, де кожен вхідний нейрон з'єднується з вихідним нейроном в наступному шарі, в згорткових мережах для отримання вихідних значень використовуються згортки над кожним вхідним шаром. В операції згортки використовується матриця ваг

невеликого розміру, яка зсувається по всьому шару, що обробляється, формуючи після кожного зсуву сигнал активації для нейрона наступного шару з аналогічною позицією. Ця матриця називається ядром згортки та використовується для різних нейронів вхідного шару.

Безпосередньо під час аналізу текстових повідомлень на вхід CNN подається матриця, кількість рядків якої залежить від розмірності словника, а ширина фільтрів дорівнює кількості стовпців цієї матриці (розмірності, що використовуються для кодування кожного слова). Висота (розмір фрагменту вхідних даних) може змінюватися та зазвичай становить близько 2-5 слів. Перші шари являють собою слова в вигляді низькорозмірних векторів. Наступний шар виконує згортки над векторними представленнями слів, використовуючи фільтри різних розмірів (як правило, захоплюють 3-5 слів одночасно). Потім проводиться пулінг над результатом згортки. До отриманого довгому вектору ознак застосовується регуляризація. На завершальному етапі проводиться класифікація результату за допомогою шару softmax [4] (рис. 1).

На даний момент CNN вважаються досить ефективними насамперед для аналізу неструктурованого тексту. У контексті вирішення задачі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту такі мережі ефективні при використанні в процесі функціонування гібридної нейромережевої моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту, у випадку, коли на вхід системи надходять неструктуровані дані. При цьому у якості векторного шару використовується попередньо навчений шар Embedding [5] на структурованих навчальних даних.

Рекурентні нейронні мережі [6] (recurrent neural network (RNN)) – клас глибоких нейронних мереж зі зворотними зв'язками, які використовують попередні стани мережі для обчислення поточного стану. Найпростіший приклад такої мережі наведено на рис. 2.

Традиційно даний клас нейронних мереж використовується для задач обробки послідовностей нефіксованої довжини, зокрема для розпізнавання текстів та мови.

Під час аналізу тексту в RNN на кожному часовому кроці t вихідні дані попереднього кроку разом з наступним вектором слова x_t тексту, являють собою вхідні дані для прихованого шару для створення передбачення \hat{y}_t та ознак h_t

$$h_t = \sigma\left(W^{(hh)}h_{(t-1)} + W^{(hx)}x_t\right) \quad (1)$$

$$\hat{y}_t = \text{softmax}\left(W^{(s)}h_t\right), \quad (2)$$

де $x_{t1}, \dots, x_t, \dots, x_T$ – вектори слів словника T ; h_t – вихідна ознака прихованого шару на кожному часовому кроці t ; $x_t \in R^d$ – слово, подане на вхід в момент часу t ; $W^{(hx)} \in R^{D_h \times d}$ – матриця ваг для обробки вхідного слова x_t ; $W^{(hh)} \in R^{D_h \times D_h}$ – матриця ваг для обробки

вихідних даних на попередньому часовому кроці h_{t-1} ; $h_{t-1} \in R^{D_h}$ – вихід нелінійної функції на попередньому часовому кроці t , h_0 – вектор ініціалізації

для прихованого шару в момент часу $t = 0$; σ – нелінійна функція; \hat{y}_t – вихідний розподіл ймовірності за словником на кожному часовому кроці t .

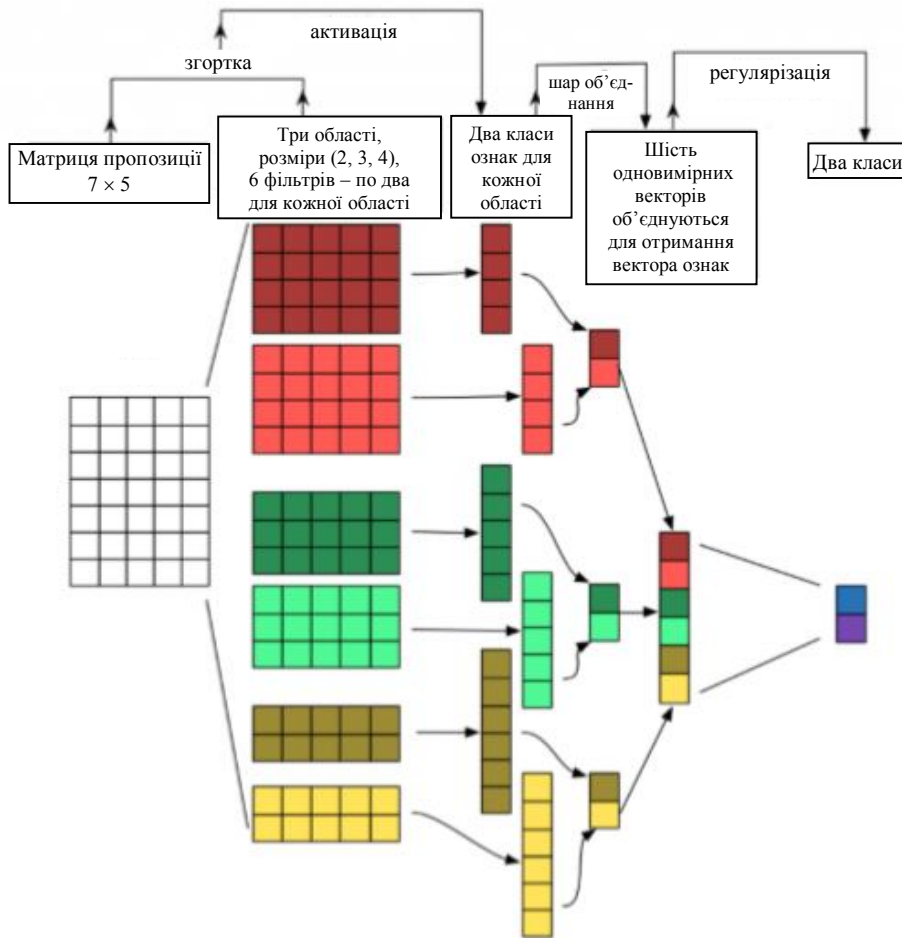


Рис. 1. Узагальнена структура топології та схема функціонування CNN для аналізу текстів

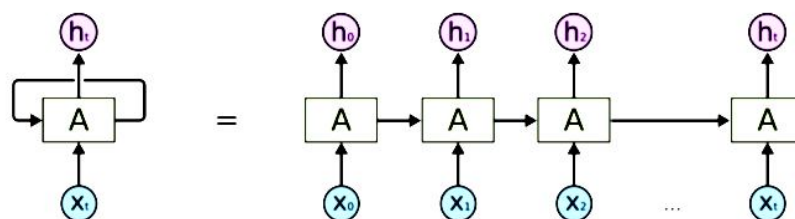


Рис. 2. Найпростіша архітектура рекурентної нейронної мережі з одним вхідним нейроном, одним прихованим нейроном, одним вихідним нейроном та її розгорнуте часове представлення

Недоліком RNN є зникнення або перевищення градієнтів в процесі навчання з використанням методу зворотного розповсюдження помилки. Використання архітектури модулів довгої короткострокової пам'яті (Long Short Term Memory (LSTM)) [7] дозволяє уникнути проблеми зникаючого градієнта в рекурентних нейронних мережах. Схема такої мережі представлена на рис. 3.

Всі RNN мають форму ланцюга блоків нейронної мережі, що повторюються. LSTM мають подібну ланцюгову структуру, однак блок який повторюється має 4 шари мережі, що впливають один на одного. RNN на базі модулів LSTM вважаються ефективними насамперед при аналізі структурованого тексту.

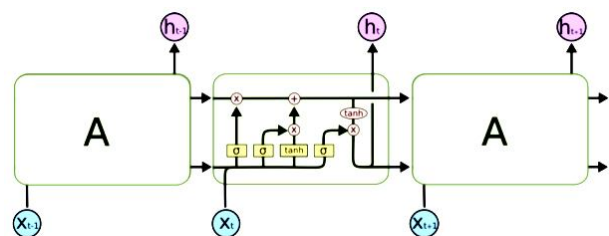


Рис. 3. Архітектура довгої короткострокової пам'яті LSTM, розгорнутої у часі

У контексті вирішення завдання прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті дані мережі ефективні для першого налаштування шару Embedding на структурованих навчальних даних в

процесі навчання гібридної нейромережевої моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту.

Аналіз вищенаведених методів показав, що найбільш доцільним для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту є застосування глибоких нейронних мереж.

Висновки

В роботі проведено аналіз особливостей, переваг та недоліків ряду відомих методів, що можуть

застосовуватися для вирішення задачі класифікації даних.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі аналізу текстових повідомлень найбільш доцільним є використання глибоких нейронних мереж, а саме згорткових та рекурентних нейронних мереж.

Завдяки застосуванню в них алгоритмів глибокого навчання вони володіють найбільш високою точністю у порівнянні з традиційними підходами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в первом полугодии 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mak-iac.org/upload/iblock/5b0/bp-18-1.pdf>.
2. П.Флах Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А.А.Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 400 с.
3. Бідюк П.І. Основні етапи побудови і приклади застосування мереж Байеса / П.І. Бідюк, Н.В. Кузнецова // Систем. дослідж. та інформ. технології. — 2007. — № 4. — С. 26 — 39.
4. dos Santos C.N., Gatti M. Deep Convolutional Neural Networks for Sentiment Analysis of Short Texts // COLING, 2014. P. 69 – 75.
5. Y. Kim. Convolutional neural networks for sentence classification. arXiv:1408.5882 [cs.CL], 2014.
6. C. Olah. Neural networks, recurrent neural networks, convolutional neural networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://colah.github.io>.
7. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation 9, 1997. Issue 8. P. 1735 – 1780.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received 22.06.2018

Accepted for publication 12.09.2018

Выбор математического аппарата для построения модели прогнозирования неблагоприятных авиационных происшествий в полете

Е. А. Гришманов

Цель статьи. Проведение исследования и выбор наиболее эффективного математического аппарата для построения модели прогнозирования неблагоприятных авиационных происшествий во время полета. **Результаты.** В статье проведен анализ известных методов, используемых для решения задач классификации данных с точки зрения целесообразности их применения для построения модели прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете на основе анализа текстовых сообщений. Рассмотрены следующие методы: логистическая регрессия, метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, случайный лес (random forest). Кроме того, для решения подобного класса задач рассмотрены сверточные и рекуррентные нейронные сети, в которых применяются алгоритмы глубокого обучения. **Выводы.** В результате анализа указанных методов для построения модели прогнозирования неблагоприятных авиационных происшествий во время полета на основе анализа текстовых сообщений выбран математический аппарат глубоких нейронных сетей. Благодаря применению в них алгоритмов глубокого обучения они обладают наиболее высокой точностью по сравнению с традиционными подходами.

Ключевые слова: прогнозирование, классификация, байесовский классификатор, метод опорных векторов, сверточная нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть.

Choice of mathematical instrument for model of forecasting of unfavorable aircraft accidents in the flight

E. Gryshmanov

The purpose of the article. Carrying out research and selection of the most effective mathematical device for constructing the model of forecasting of adverse aviation events during the flight. **Results.** The paper analyzes the known methods used to solve data classification problems. This is necessary to determine the feasibility of their use for building a model of forecasting unfavorable aircraft accidents in the flight, based on the analysis of text messages. The following methods are considered: logistic regression, support vector machine, naive Bayes classifier, random forest. In addition, to solve this class of problems, convolutional and recurrent neural networks using deep learning algorithms are considered. **Conclusions.** As a result of the analysis of these methods, a mathematical instrument of deep neural networks was chosen to build a model of forecasting of unfavorable aircraft accidents in the flight, based on the analysis of text messages. Due to the application of their deep learning algorithms, they have the highest accuracy compared to traditional approaches.

Keywords: forecasting, classification, Bayes classifier, support vector machine, convolutional neural network, recurrent neural network.

М. А. Павленко¹, С. Г. Шило¹, І. О. Борозенець¹, О. М. Дмитрієв²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

НАПРЯМИ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В роботі запропоновано шляхи переходу від машиноцентричного до антропометричного підходу при проектуванні автоматизованих систем 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 обстановки, яка складається в зоні відповідальності органу управління; розробка методів представлення знань про завдання виявлення нештатних ситуацій в повітряному просторі; вибір і розробка методів і процедур формалізації знань про обстановку, яка складається; розробка процедур інтерпретації модальних знань; розробка методів вирішення завдань оцінки обстановки, яка складається; розробка методів розв'язання задач розпізнавання та оцінки позаштатних ситуацій в повітряному просторі; оцінка ступеня небезпеки ситуацій, що складаються в межах зони відповідальності органу управління. В результаті даного дослідження визначені напрями розробки та удосконалення інтелектуальних моделей та методів обробки інформації для управління процесом інформаційної підтримки при прийнятті рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом. Запропонований підхід, який передбачає необхідність розробки методів автоматизованого рішення задач оцінки обстановки, а також зміни структури інформаційних моделей і методів управління ними. При цьому ситуації обстановки, що складаються мають бути класифіковані а задача підготовки прийняття рішення має розглядатися як задача розпізнавання.

Ключові слова: автоматизація, інтелектуалізація управлінських рішень, оцінка обстановки, людина-оператор, інформаційна підтримка прийняття рішень.

Вступ

Постановка задачі. Традиційно при проектуванні автоматизованих систем управління повітряним рухом АС УПР і інформаційно-управляючого комплексу (ІУК) застосовувався машиноцентричний підхід [6, 14], при якому основні пріоритети віддавалися складовим інформаційно керуючого комплексу, а людина-оператор розглядалася лише як одна з ланок системи і враховувалися в кращому випадку лише її антропометричні і психофізіологічні параметри [1]. Як свідчить практика, на сучасному етапі функціонування системи УПР здійснюється в умовах постійно зростаючої інтенсивності потоку вхідної інформації і при значному збільшенні числа чинників, які суттєво впливають на процес управління. В таких умовах подання людини-оператора в якості ординарної лінійної ланки складної системи є в корені недоцільним.

При прийнятті рішень особами, що приймають рішення (ОПР) в проблемних ситуаціях, що характеризуються високою складністю, невизначеністю і слабкою структурованістю необхідна висока ступінь інтелектуалізації управлінських рішень, що неможливо без впровадження та розвитку СППР у складі АС УПР [2, 3, 5, 9-16].

З огляду на дані фактори, в якості концептуальної основи при проектуванні і розробці сучасних АС УПР найбільш доцільно обрати антропоцентричний підхід [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати аналізу ряду сучасних досліджень в проблемній області, що розглядається свідчать про наступні незаперечні переваги антропометричного підходу [2-4, 6, 9-14].

1. Рішення задач оцінки обстановки в системі управління, вимагає вивчення інтелектуальної діяльності ОПР і використання результатів досліджень з когнітивної психології для методів формалізації знань про процеси вирішення завдань оцінки обстановки.

2. Центральним елементом систем управління з використанням СППР, є база знань, яка формується на основі знань фахівців-експертів при вирішенні множини завдань в конкретній предметній області. При цьому впровадження СППР передбачає паралельне використання разом зі знаннями також і інформаційних методів розв'язання часткових завдань щодо оцінки обстановки.

3. СППР володіє властивістю навченості, що належить до найбільш важливих властивостей, які характерні ОПР в процесі функціональної діяльності. Вона визначає високу адаптивність системи управління, що розробляється до мінливих умов її функціонування і процесу оцінки обстановки ОПР.

Основою при проектуванні традиційних АСУ реального часу обиралися математичні методи і моделі, що базуються на теорії ймовірностей, математичній статистиці, теорії ігор, методи оптимізації і т.д [1, 3, 4, 7, 8, 13]. Стрімке зростання інтелектуалі-

зації процесу управління і розвиток методології обробки експертної інформації зажадали застосування формальної логіки і методів теорії нечітких множин. Це, в свою чергу, визначає необхідність вибору моделей подання знань, що дозволяють спільне використання когнітивних і обчислювальних підходів до вирішення завдань оцінки обстановки.

До одного з визначальних чинників також відноситься постійний розвиток і вдосконалення технологічної бази СППР, що дозволяє розробляти і практично використовувати в системах управління реального часу когнітивні методи вирішення завдань підтримки прийняття рішень [7-11, 13, 16].

Мета і завдання даного дослідження. З метою удосконалення ситуаційного аналізу обстановки для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень оператором АС УПР слід підвищити рівень автоматизації і інтелектуалізувати наступні завдання:

- оцінка обстановки, яка складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР;
- розробка методів представлення знань про завдання виявлення нештатних ситуацій в повітряному просторі;
- вибір і розробка методів і процедур формалізації знань про обстановку, яка складається;
- розробка процедур інтерпретації модальних знань;
- розробка методів вирішення завдань оцінки обстановки, яка складається;
- розробка методів розв'язання задач розпізнавання та оцінки позаштатних ситуацій в повітряному просторі;
- оцінка ступеня небезпеки ситуацій, що складаються в межах зони відповідальності органу управління АС УПР.

Таким чином в результаті даного дослідження мають бути визначені напрями розробки та удосконалення інтелектуальних моделей та методів обробки інформації для управління процесом інформаційної підтримки ОПР при прийнятті рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом.

Основна частина

Результати аналізу процесу оцінки обстановки, яка складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР свідчать, що рішення часткових завдань оцінки обстановки традиційно розподілено між ІУК і операторами таким чином як на рис. 1.

На обчислювальний комплекс покладаються завдання щодо збору та обробки планової та поточної інформації про просторово-часові параметри і отримання додаткової інформації про повітряні суда та решту складових обстановки, що надходять за даними від різнотипних джерел. Вихідною інформацією від ІУК є сформована інформаційна модель (ІМ) обстановки, що складається.

ОПР, ґрунтуючись на особистому досвіді і сформованій ІМ обстановки послідовно вирішує низку наступних завдань: аналіз повітряної, наземної, метеорологічної, орнітологічної та ін. складових елементів обстановки, яка складається в зоні відпо-

відальності органу управління АС УПР; визначення типу ситуації обстановки яка складається; оцінка ступеня можливості виникнення небезпечних потенційно конфліктних ситуацій (ПКС) в зоні відповідальності органу управління АС УПР.

Впровадження технології локальних обчислювальних мереж при проектуванні та побудові АС УПР сприяло підвищенню рівня автоматизації вирішення окремих завдань, наприклад таких як розрахунок маршруту і повітряних вантажоперевезень [12, 13]. Однак підходи і методи вирішення завдань оцінки обстановки, незважаючи на зміну принципів побудови ІУК і використання нових інформаційних технологій не змінилися. Тобто по суті не змінилися ні принципова структура системи інформаційного забезпечення оцінки обстановки, ні розподілу завдань, пов'язаних з оцінкою обстановки між ІУК і людиною-оператором.

Підвищення рівня автоматизації вирішення зазначених завдань можливо досягнути в разі передачі частини завдань від ОПР до ІУК. У підсумку після перерозподілу часткових завдань, процес оцінки обстановки в АС УПР може здійснюватися відповідно до структури представленої на рис. 2.

Пропонується обрати підхід, який передбачає необхідність розробки методів автоматизованого рішення задач оцінки обстановки, а також зміни структури ІМ і методів управління ними.

Процес оцінки обстановки, що складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР можна представити як обробку даних, що характеризують предметну область, яка розглядається.

Пропонується обрати підхід, який передбачає необхідність розробки методів автоматизованого рішення задач оцінки обстановки, а також зміни структури ІМ і методів управління ними.

Процес оцінки обстановки, що складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР можна представити як обробку даних, що характеризують предметну область, яка розглядається. Це дозволяє ОПР класифікувати обстановку, яка складається в зоні відповідальності органу управління АС УПР (рис. 3) Даний клас задач має властивості задач розпізнавання і для них є характерним встановлення відповідності поточного стану розглянутого об'єкта (процесу, явища, ситуації) до одного з заздалегідь визначених станів за відомою інформацією про значення ознак, що характеризують даний об'єкт (процес, явище, ситуацію). [4, 7, 16]. Першочерговим завданням для реалізації такого підходу є розробка апарату і методів формалізації знань про процеси вирішення завдань розпізнавання при оцінці обстановки в зоні відповідальності органу управління АС УПР.

До вхідної інформації належить таке: інформація про повітряну обстановку; інформація про інші елементи обстановки, що складається (метео, орнітологічні дані, тощо); знання про характер зміни ситуації і дії повітряних суден, процеси вирішення цих завдань; знання про правила використання повітряного простору; знання про наземну, метеорологічну, орнітологічну, завадову та ін. видів обстановки.

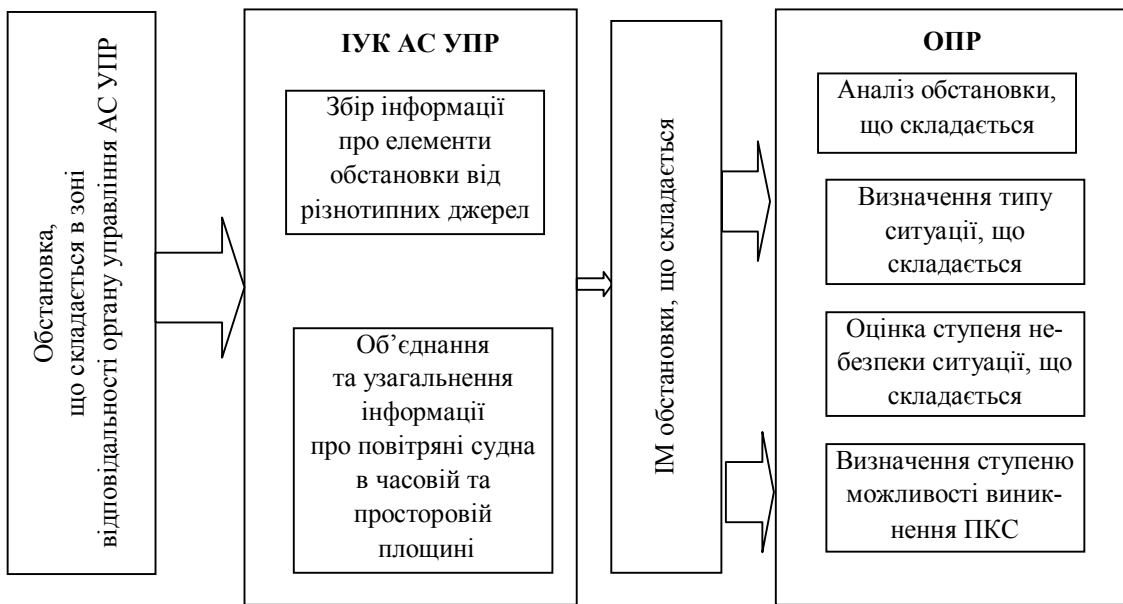


Рис. 1. Існуючий розподіл задач при оцінці обстановки в АС УПР

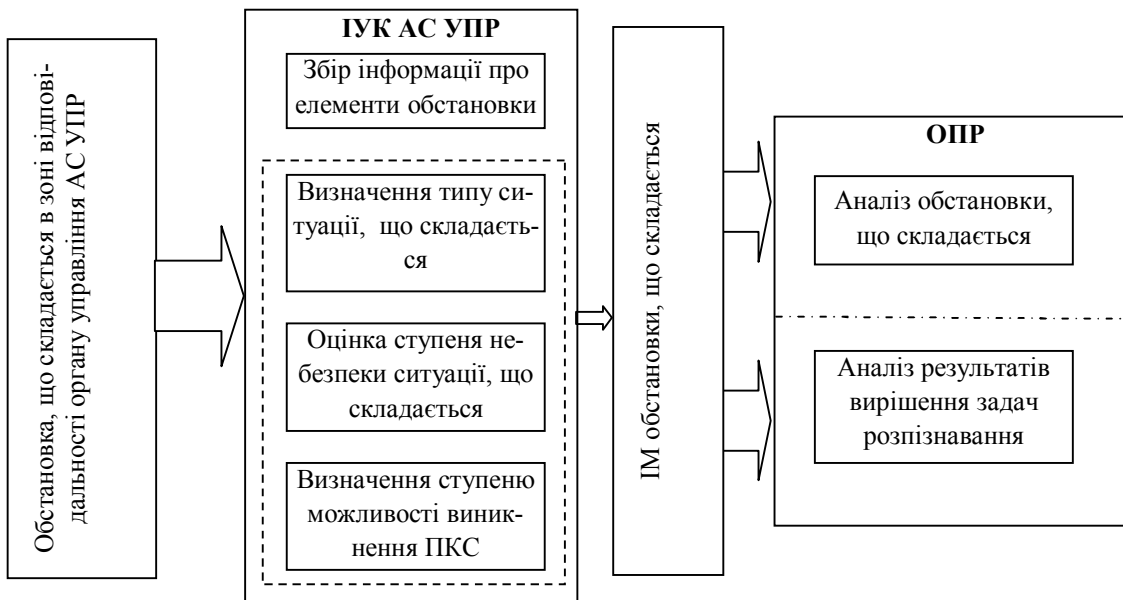


Рис. 2. Пропонуємий розподіл задач при оцінці обстановки в АС УПР

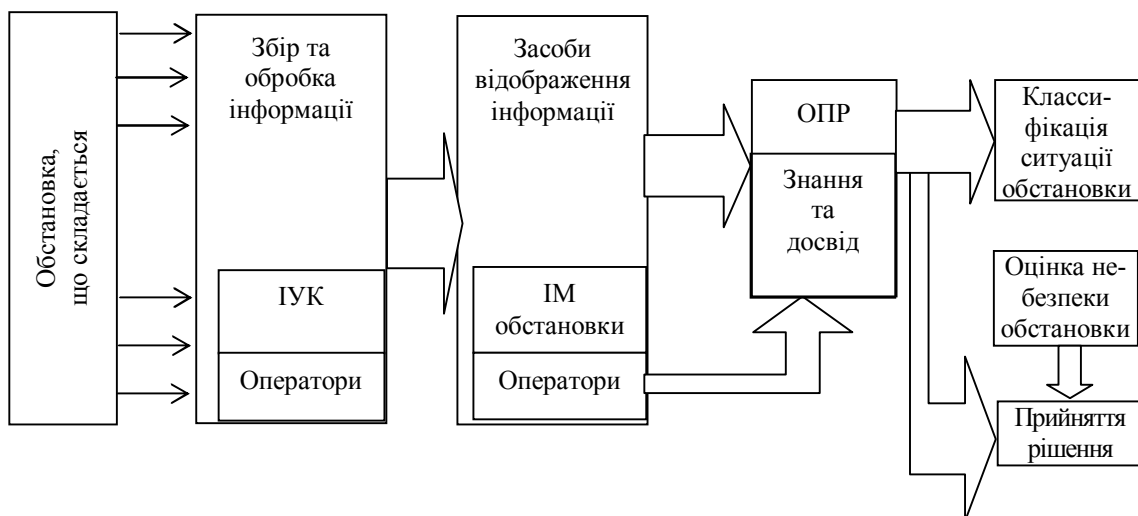


Рис. 3. Структура процесу прийняття рішень по оцінці обстановки операторами АС УПР

При розробці апарату формалізації знань про процеси оцінки обстановки для інформаційної підтримки процесів підготовки прийняття рішень доцільно прийняти наступні обмеження та припущення: використовується планова і поточна інформація про обстановку, що надійшла від джерел, які забезпечують її згладжування, ототожнення і об'єднання з точнісними характеристиками відповідних джерел; питання, пов'язані з методами формалізації даних вважаються вирішеними і в дослідженні не розглядаються [2-13, 15, 16]; питання перевірки повноти і несуперечності розробленого методу формалізації знань вважаються вирішеними; стан складових оточуючого зовнішнього середовища приймається в межах норм, при яких дозволено використання повітряного простору повітряними судами.

Метод формалізації знань, що підлягає подальшій розробці призначений для отримання додаткової інформації про обстановку з урахуванням динаміки зміни стану складових навколишнього середовища. Отримання додаткової інформації дозволить розширити ряд інформаційних ознак, що, в свою чергу, служить інформаційною основою для розробки методу синтезу інформаційних моделей для інформаційної підтримки процесів прийняття рішень ОПР АС УПР.

На рис. 4 наведено логічний взаємозв'язок методу що підлягає розробці в загальній структурі методів для вирішення наукової проблеми дослідження. Таким чином визначено перелік задач, які необхідно вирішити при розробці методів обробки та підготовки вихідних даних для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень оператором АС УПР.

Висновки

Підвищення рівня автоматизації вирішення завдань оцінки обстановки ОПР АС УПР можливо досягнути в разі передачі частини завдань від ОПР до ІУК.

В результаті аналізу напрямків вдосконалення інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень при оцінці обстановки операторами АС УПР визначено що до першочергових завдань належать

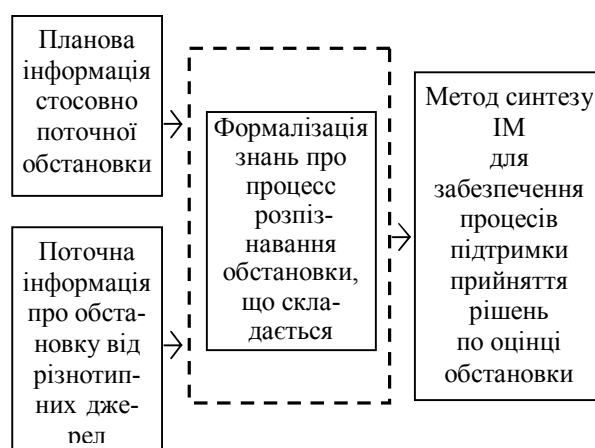


Рис. 4. Задачі, які необхідно вирішити при розробці методів обробки та підготовки вихідних даних для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень оператором АС УПР

наступні: розробка методів представлення знань про завдання виявлення нештатних ситуацій в повітряному просторі; вибір і розробка методів і процедур формалізації знань про обстановку, яка складається; розробка процедур інтерпретації модальних знань; розробка методів вирішення завдань оцінки обстановки, яка складається; розробка методів розв'язання задач розпізнавання та оцінки позаштатних ситуацій в повітряному просторі; оцінка ступеня небезпеки ситуацій, що складаються в межах зони відповідальності органу управління АС УПР.

Пропонується обрати підхід, який передбачає необхідність розробки методів автоматизованого рішення задач оцінки обстановки, а також зміни структури ІМ і методів управління ними. При цьому ситуації обстановки, що складаються мають бути класифіковані а задача підготовки прийняття рішення має розглядатися як задача розпізнавання на основі аналізу елементів поданих в ІМ обстановки та наявних знань і досвіду ОПР.

Подальшим етапом дослідження є розробка методів формалізації знань про процеси вирішення задач розпізнавання ситуації, що складається в зоні відповідальності органу управління АСУ УПР.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павленко М.А. Организация проектирования средств информационного обеспечения оператора. / М.А. Павленко, В.М. Руденко, П.Г. Бердник // Вектор науки. – Вып. 1(11). – Тольятти: ТГУ, 2010. – С. 65–70.
2. 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.
3. Шмелева Т. Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.
4. Кондратенко С. В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человеко-машинных комплексов / С.В. Кондратенко, В.В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – №. 1. – С. 87.
5. Шило С. Г. Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС / С.Г. Шило, А.Б. Фещенко та інш. // Збірник наукових праць УЦЗ України. – 2009. – Вип. 9. – С. 170-176.
6. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.А. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.
7. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении. / Литвак Б.Г // Учебное пособие – М.: Дело, 2004. – 318 с.
8. Искусственный интеллект. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова.-М.: Радио и связь.-1990. - 304с.
9. Алдокин И.П. Теория принятия решений / И.П. Алдокин, И.В. Бубенко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 156 с.

10. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели / Э. Мулен. – М.: Мир, 1991. – 463 с.
11. Лернер И.И. Интеллектуальные системы и обеспечение безопасности полета // Проблемы безопасности полетов / И.И. Лернер, А.Б. Петров. – М.: ВИНТИ, 1998. – №11. – С. 61-65
12. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: Монография / В.К. Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др. Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.
13. Борисюк А.О. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень в системах управління Повітряних Сил: навч. посіб. для слухачів, курс. та студ. вищ. навч. закл. 2-ге вид. переробл. та доп. / А.О. Борисюк, М.А.Павленко, О.І.Тимочко; Мін-во освіти та науки України, Харк. Ун-т Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – 184 с.
14. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник. Под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова. – Москва: Машиностроение, 1993. – 527с.
15. Сетлак Г.В. Интеллектуальная система поддержки решений в нечеткой среде / Г. В.Светлак // Искусственный интеллект. – ИПШ: «Наука і освіта», 2002. – № 3, С. 428 – 438.
16. 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.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків
Received 27.06.2018
Accepted for publication 05.09.2018

**Направления разработки интеллектуальных моделей и методов обработки информации
для управления процессом информационной поддержки принятия решений
в автоматизированных системах управления воздушным движением**

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

В работе предложены пути перехода от машиноцентричного к антропометрическому подходу при проектировании автоматизированных систем 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 операторами автоматизированных систем управления воздушным движением предусматривает повышение уровня автоматизации и интеллектуализации ряда задач к которым относятся оценка обстановки, которая складывается в зоне ответственности органа управления; разработка методов представления знаний о задачах обнаружения нештатных ситуаций в воздушном пространстве; выбор и разработка методов и процедур формализации знаний об обстановке, которая складывается; разработка процедур интерпретации модальных знаний; разработка методов решения задач оценки обстановки, которая складывается; разработка методов решения задач распознавания и оценки нештатных ситуаций в воздушном пространстве; оценка степени опасности ситуаций, складывающихся в пределах зоны ответственности органа управления. В результате данного исследования определены направления разработки и совершенствования интеллектуальных моделей и методов обработки информации для управления процессом информационной поддержки при принятии решений в автоматизированных системах управления воздушным движением. Предложен подход, который предполагает необходимость разработки методов автоматизированного решения задач оценки обстановки, а также изменения структуры информационных моделей и методов управления ими. При этом ситуации обстановки, состоящие должны быть классифицированы а задача подготовки принятия решения должна рассматриваться как задача распознавания.

Ключевые слова: автоматизация, интеллектуализация управленческих решений, оценка обстановки, человек-оператор, информационная поддержка принятия решений.

**Directions of development of intellectual models and methods of information processing for management
of the information support process for decision-making in automated air traffic control**

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

The paper suggests ways of transition from a machine-centric to an anthropometric approach in the design of automated air traffic control systems, taking into account modern achievements in the development and implementation of decision support systems in complex organizational and technical systems. Improvement of situational analysis of the situation for managing the process of information support for decision-making by operators of automated air traffic control systems provides for increasing the level of automation and intellectualization of a number of tasks. These include the assessment of the situation that forms in the area of responsibility of the management body; development of methods for presenting knowledge about problems of detecting abnormal situations in airspace; choice and development of methods and procedures for formalizing knowledge about the situation that develops; the development of procedures for the interpretation of modal knowledge; the development of methods for solving the problems of assessing the situation, which develops; development of methods for solving problems of recognition and assessment of extraordinary situations in airspace; Assessment of the degree of danger of situations occurring within the area of responsibility of the management body. As a result of this research, directions for the development and improvement of intellectual models and information processing methods for managing the process of information support in decision-making in automated air traffic control systems have been determined. The proposed approach, which involves the need to develop methods for automated decision of problems assessment of the situation, as well as changes in the structure of information models and methods of managing them. In this case, the circumstances of the situation should be classified and the task of preparing for the decision should be considered as a task of recognition.

Keywords: automation, intellectualization of administrative decisions, assessment of the situation, human operator, information support for decision-making.

В. С. Сторчак

Лётная академия Национального авиационного университета, Кропивницкий, Украина

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Цель статьи. Определение направлений повышения эффективности профессиональной подготовки диспетчеров управления воздушным движением. В статье рассмотрены вопросы, связанные с проблемами подготовки диспетчеров управления воздушным движением. Обосновывается актуальность профессиональной подготовки и направления ее реализации. Анализируется профессиональная деятельность и состояние профессиональной подготовки диспетчеров управления воздушным движением. Определяются направления повышения эффективности базовой профессиональной подготовки, совершенствования и восстановления навыков в управлении экипажами при выполнении полетов в различных условиях. Предлагается новый подход к подготовке диспетчеров управления воздушным движением, который основан на использовании новых подходов к построению и использованию тренажерных комплексов и систем. **Выводы.** От того, насколько продумана такая подготовка и насколько хорошо продуман и проведен процесс обучения зависит уровень профессионального мастерства и безопасности полетов. В процессе подготовки должен предусматриваться постоянный контроль действий операторов, в том числе процесс восприятия ситуации оператором, его осмысливания, формирования необходимых навыков, а также психофизиологического состояния оператора при решении им поставленной задачи. Дальнейшие исследования необходимо направить на создание и обоснование единой методологии построения тренажерных комплексов для обучения диспетчеров управления воздушным движением на основе использования новых информационных технологий.

Ключевые слова: АСУ, оператор, диспетчер УВД, тренажер, подготовка.

Введение

Надежность и своевременность принятия решений диспетчерами управления воздушным движением во многом определяется влиянием человеческого фактора. Профессиональная деятельность диспетчеров управления воздушным движением (далее операторов) может сопровождаться ошибками различной природы и характера. Они могут привести к возникновению авиационных инцидентов или происшествий.

Следовательно, вопрос анализа ошибочных действий операторов и вызвавших их психологических причин, методов и направлений их минимизации или устранения является актуальным.

Для анализа и классификации ошибок оператора введены следующие критерии: место ошибки в структуре эргатической системы, внешнее проявление ошибки, последствия ошибки, характер отображения ошибки в сознании оператора, причины ошибки. Рассмотренные ошибочные действия операторов классифицированы и сведены в три основные категории ошибок: процедурные, связи и управления оборудованием.

Исследования показывают, что больше половины ошибочных действий операторов и инцидентов классифицируется как «неграмотная» эксплуатация. Они совершаются из-за недостаточных знаний сущности процессов, происходящих во время работы системы, или недостаточного понимания последствий, вызываемых неправильными действиями оператора. Ошибки принятия решений обусловлены недостатками в формировании концептуальной модели управления, с трудностями актуализации необходимых в данный момент правил или инструкций. Повышение эффективности управления авиацией достигается путем постоянных тренировок с операторами на тренажерах.

Постановка проблемы

Современное состояние развития теории и практики образования, по мнению известных украинских ученых, характеризуется напряженным поиском путей актуального и прогнозируемого реагирования на вызовы времени. Непредсказуемость будущего, интенсивный рост высокотехнологичных производств, коммуникаций и человеческой географической и экономической мобильности, кризисы – все это сказывается на качестве жизни в каждой стране [2].

Сегодня приходится констатировать, что социально экономические условия привели за последние 10 лет авиацию Украины к черте, за которой начинают проявляться необратимые процессы. Ситуация, в которой оказалась авиация Украины, привела к таким последствиям:

- снижение психологических показателей абитуриентов к выполнению работ по профессиональной направленности;
- существенное омоложение летных кадров, особенно среднего звена, которое имеет недостаточный практический опыт организации полетов;
- снижение мотивации к лётной работе и к управлению полетами авиации;
- снижение эксплуатационной надежности авиационной техники и её обслуживания по причинам морального старения, отсутствия запасных частей и недостаточной подготовки специалистов наземных служб выдвигает особые требования к подготовке диспетчеров управления воздушным движением по управлению полетами в аварийных ситуациях;
- наблюдается устойчивая тенденция резкого снижения интенсивности полетов, длительные перерывы в руководстве полетами, и как результат – значительная потеря навыков практической работы летного состава.

Такое состояние затрудняет процесс подготовки летного состава. Процесс подготовки операторов прямо пропорционально зависит от уровня подготовки летного состава, исправности авиационной техники, обеспеченности авиационным топливом и др., т.е. уменьшение интенсивности полетов приводит к снижению уровня умений и навыков летного состава, что негативно влияет на безопасность полетов. При этом остается задача поддержания уровня теоретической и практической подготовки операторов на грани не ниже допустимых значений.

Таким образом, для поддержания соответствующего уровня теоретической подготовки операторов необходимо сосредоточить главное внимание на тренажерной подготовке, её обеспечение методическим сопровождением, современными тренажерными системами и комплексами, что позволит поддержать и закрепить полученные знания, приобрести навыки и умения в управлении экипажами в сложной динамической навигационной обстановке и особых ситуациях.

Наиболее эффективным средством профессиональной подготовки операторов являются тренажеры, обеспечивающие искусственное воспроизведение условий и факторов, которые имеют место в процессе работы диспетчера по управлению реальным динамическим объектом.

В исследованиях последних лет проблемам создания и модернизации тренажерных комплексов различного назначения и методологическим принципам создания интегрированной учебно-тренировочной системы подготовки уделено внимание в работах [1, 3, 4, 6-8].

Система критериев оценки действий операторов и проблеме повышения качества профессиональной подготовки диспетчеров управления воздушным движением за счет реализации индивидуального подхода к обучению с использованием процедурных тренажеров рассмотрено в работах [4, 5]. Принципы построения тренажеров различного назначения и эффективность их использования для профессиональной подготовки рассматривались в работах [8, 9].

Однако проблема совершенствования профессиональной подготовки операторов, в том числе с использованием тренажеров или тренажерных комплексов, при управлении авиацией и принятии решение в сложной в сложных ситуациях остается не решенной.

Кроме того, остаются не рассмотренными вопросы формирования компетентности операторов в процессе практической подготовки и роли тренажерной подготовки в системе профессионального обучения диспетчеров управления воздушным движением.

Цель статьи. Определение направлений повышения эффективности профессиональной подготовки диспетчеров управления воздушным движением.

Основная часть

Анализируя содержание профессиональной подготовки операторов определено, что их деятель-

ность заключается в управлении экипажами с пунктов управления в своих зонах ответственности в сложных динамических обстановках.

Во время профессиональной подготовки операторов можно выделить два её вида – теоретическая и практическая.

В результате теоретической подготовки, обучаемые должны получить достаточно глубокие и прочные знания об управляемом объекте, принципах построения и логике функционирования его систем, о физических законах, определяющих взаимодействие управляемого объекта с другими объектами и внешней средой, о динамических характеристиках и возможностях объекта, об органах управления и контроля, о методах управления объектом в различных ситуациях.

В результате профессиональной практической подготовки формируются необходимые умения и навыки, которые позволяют оператору уверенно осуществлять управление экипажами в простых, сложных и критических ситуациях.

В связи с повышением требований к качеству подготовки диспетчеров управления воздушным движением в условиях снижения интенсивности полетов и длительных перерывах в управлении экипажами самолетов наиболее эффективным средством профессиональной подготовки являются тренажеры, использование которых в учебном процессе обеспечивает максимальную эффективность при минимальных затратах.

Повышение эффективности использования тренажеров - большая комплексная проблема, решение которой зависит от целого ряда факторов [5].

Однако можно выделить два основных направления этой работы - совершенствование и внедрение в учебный процесс технических средств обучения операторов и развитие математического и программного обеспечения тренажеров и совершенствования методического обеспечения их использования (рис. 1).

При этом на этапе создания тренажеров необходимо однозначно ответить на следующие вопросы: чему учить оператора; какая методика должна применяться для его обучения; какие технические средства должны применяться в тренажерах.

Рациональное построение тренажерных комплексов требует применения специальных технологий, обеспечивающих информационное, аппаратное и программное сопряжение тренажерных средств, многократное, экономически рентабельное использование ресурсов, возможность постоянной модернизации тренажеров и расширение их состава.

Тренажёр должен обеспечивать идентичность восприятия информации и пространственно-временных характеристик управляющих воздействием обучаемого на тренажере и на реальном объекте, широкий диапазон воспроизводимых в тренировочных упражнениях условий и ситуаций, гибкую перестройку на выполнение различных задач.

Выполнение указанных задач и требований обеспечивается соответствующим структурным построением тренажёра (рис. 2).

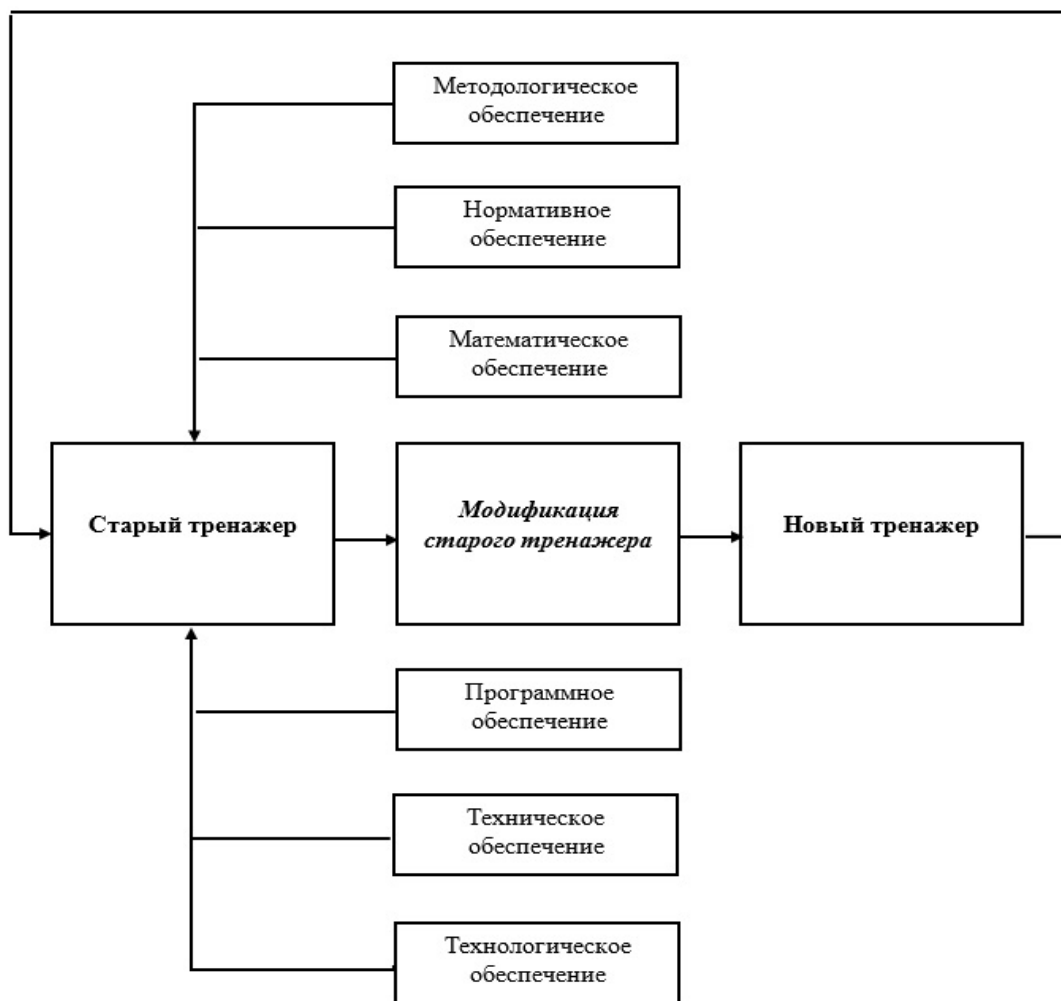


Рис. 1. Методологические основы модификации тренажерных комплексов

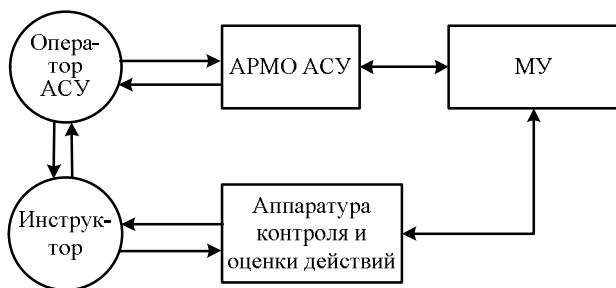


Рис. 2. Структура тренажера

С учетом наиболее существенных задач, которые должны быть реализованы на тренажере, его можно представить как систему, состоящую из оператора АСУ, автоматизированного рабочего места оператора АСУ (АРМО АСУ), моделирующего устройства (МУ), аппаратуры контроля и оценки действий обучаемых (АКОД) и инструктора, а также связей между ними. Основным элементом тренажера является автоматизированное рабочее место оператора (АРМО) АСУ. На нём воссоздаются условия имитируемого процесса. АРМО АСУ представляет собой выполненный в натуральную величину макет рабочей зоны реального объекта или сам реальный объект. На АРМО устанавливаются все необходимые органы управления, средства отображения и

средства связи, которыми пользуется оператор при управлении реальным объектом.

В качестве моделирующего устройства (МУ) используется, как правило, вычислительная система (ВЧС). На основе программно реализуемой модели объекта и его систем рассчитываются параметры, необходимые для имитации условий протекания реального процесса. Эти параметры выводятся на средства отображения АРМО АСУ.

Выводы

Поддержание профессионально важных качеств и их восстановление при помощи тренажерной подготовки – это один из основных видов подготовки диспетчеров управления воздушным движением, который позволяет закреплять и углублять полученные знания и приобретать навыки в управлении экипажами в сложных ситуациях.

От того, насколько продумана такая подготовка и насколько хорошо продуман и проведен процесс обучения зависит уровень профессионального мастерства и безопасности полетов.

Указанные обстоятельства вызывают необходимость унификации проведения тренажерной подготовки на всех уровнях, начиная от учебного заведения заканчивая местом постоянной службы или работы специалиста. В процессе подготовки должен

предусматривается постоянный контроль действий операторов, в том числе процесс восприятия ситуации оператором, его осмысливания, формирования необходимых навыков, а также психофизиологического состояния оператора при решении им поставленной задачи.

Дальнейшие исследования необходимо направить на создание и обоснование единой методологии построения тренажерных комплексов для обучения диспетчеров управления воздушным движением на основе использования новых информационных технологий.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Неделько С. П. Разработка системы критериев оценки для автоматизированного анализа действий авиадиспетчеров на тренажерах обслуживания воздушного движения / С. Н. Неделько, В. А. Григореецкий, А. С. Паленный / Наукові праці академії, – вип. IX / за ред. Р. М. Макарова – Кіровоград: ДЛАУ, 2005. – 387 с.
2. Біла книга національної освіти України / Акад. пед. наук України; за ред. В. Г. Кременя. – К., 2009. – 185с.
3. Паленный А. С. Разработка алгоритма автоматизированной оценки действий авиадиспетчеров на тренажерах обслуживания воздушного движения / А. С. Паленный // Наукові праці академії – вип. XI / за ред. Р. М. Макарова – Кіровоград: ДЛАУ. – 2006. – С 118–130.
4. Санников В. А. Методика оценки уровня знаний специалистов УВД и автоматизированных систем контроля // Псих. пробл. повышения работоспособности летного и диспетчерского состава ГА : Межвуз. тем. сб. науч. тр. – СПб., 2000.
5. Шукшунов В. Е., Бакулов Ю. А., Григоренко В. Н. Тренажерные системы. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.
6. Тренажерные комплексы и тренажеры : технологии разраб. и опыт эксплуатации / [В. Е. Шукшунов, В. В. Циблиев, С. И. Потоцкий и др.]; под ред. В. Е. Шукшунова. – М. : Машиностроение, 2005. – 383 с.
7. Кадочников А. И. Формирование навигаторской компетентности курсантов в процессе тренажерной подготовки // Образование и самообразование. – Казань: КГПУ, 2008. – № 3 (9). – С. 93–102.
8. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
9. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Л. С. Демин, Ю. Г. Жуковский, А. П. Семенихин и др. / под ред. В. Е. Шукшунова. М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
10. Костылев И.И. Тренажерно-обучающая подготовка судовых специалистов / И.И. Костылев, Н.И. Денисенко, В.А. Петухов // Эксплуатация морского транспорта. – СПб., 2005. – Вып. 44. – С. 31–37.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. А. Павленко,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received 15.06.2018

Accepted for publication 12.09.2018

Проблеми підготовки диспетчерів управління повітряним рухом

В. С. Сторчак

Мета статті. Визначення напрямків підвищення ефективності професійної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. У статті розглянуто проблеми професійної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. Обґрунтовується актуальність професійної підготовки та напрямки її реалізації. Аналізується професійна діяльність та стан професійної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. Визначаються напрямки підвищення ефективності базової професійної підготовки, вдосконалення та відновлення навичок в управлінні екіпажами при виконанні польотів в різних умовах. Пропонується новий підхід до підготовки диспетчерів управління повітряним рухом заснований на використанні нових підходів до побудови та використання тренажерних комплексів та систем. Висновки. Від того, наскільки продумана така підготовка і наскільки добре продуманий і проведено процес навчання залежить рівень професійної майстерності та безпеки польотів. У процесі підготовки повинен передбачається постійний контроль дій операторів, в тому числі процес сприйняття ситуації оператором, його осмислення, формування необхідних навичок, а також психофізіологічного стану оператора при вирішенні їм поставленого завдання. Подальші дослідження необхідно спрямувати на створення і обґрунтування єдиної методології побудови тренажерних комплексів для навчання диспетчерів управління повітряним рухом на основі використання нових інформаційних технологій.

Ключові слова: АСУ, оператор, диспетчер УПР, тренажер, підготовка.

Problems air traffic controller training

V. Storchak

The purpose of the article. Determination of directions for increasing the effectiveness of the professional training of air traffic controllers. The article deals with issues related to the feature of training air traffic controller. Actuality of professional preparation and direction of her realization is grounded. Professional activity and state of professional preparation of controllers of air traffic control are analysed. Directions of increase of efficiency of base professional preparation, improvement and renewal of management skills, are certain by crews at implementation of flights in different terms. A new approach to the training of air traffic controller based on the use of new approaches to the construction and use of the training complexes and systems. **Conclusions.** The level of professional skill and flight safety depends on how well this training is thought out and how well the training process is thought out and conducted. In the process of preparation, it is necessary to provide continuous monitoring of the actions of operators, including the process of perception of the situation by the operator, his comprehension, the formation of necessary skills, as well as the psychophysiological state of the operator when solving his assigned task. Further research should be directed to the creation and justification of a unified methodology for constructing training complexes for training air traffic controllers through the use of new information technologies.

Keywords: ACS, operator, air training controller, trainer, training.

А. А. Тимочко

Лётная академия Национального авиационного университета, Кропивницкий, Украина

РАЗРАБОТКА БАЗЫ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА И ОБОБЩЕННОГО АЛГОРИТМА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Контроль воздушного пространства требует создания системы классификации воздушных объектов. Данная задача решается в нечеткой постановке. Для этого разработана база нечетких продукционных правил и обобщенный алгоритм их реализации. Утверждается, что традиционные подходы к разработке баз правил не достаточно эффективны для рассматриваемой предметной области. Цель статьи – разработка базы нечетких продукционных правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов. Проанализированы подходы к разработке базы нечетких продукционных правил нечетких логических систем классификации. Для классификации воздушного объекта устанавливается его принадлежность к наперед заданному классу. Наперед заданные классы формально задаются в виде множества. Элементами множества являются классы, определяемые автоматически или задаваемые автоматизировано. Определены основные признаки для классификации воздушных объектов. Значения признаков определяются по результатам обобщения трассовой информации или устанавливаются по умолчанию. Значения признаков представляют собой лингвистические переменные. В общем случае они являются нечеткими числами, описываемыми термы соответствующих лингвистических переменных. Структурно нечеткие продукционные правила соответствуют правилам нечеткой логической модели Сугэно 0-го порядка. Разработан пример использования нечеткого логического вывода Сугэно 0-го порядка на базе разработанных правил. Разработанная база нечетких продукционных правил и обобщенный алгоритм их реализации являются основой метода верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации воздушных объектов в процессе контроля воздушного пространства.

Ключевые слова: нечеткое продукционное правило, классификация воздушных объектов, база знаний, функция принадлежности, признак воздушного объекта.

Введение

Постановка проблемы. При разработке метода верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации воздушных объектов при контроле воздушного пространства остро стоит проблема создания базы нечетких продукционных правил нечеткой логической системы.

С одной стороны, необходимо предложить классификацию исследуемых воздушных объектов (ВОБ). Для этого необходимо описать каждый класс ВОБ в процессе контроля воздушного пространства определенным количеством признаков. С другой стороны, необходимо определить их значения, которые представляют собой лингвистические переменные (ЛП) в терминах нечетких множеств.

Таким образом, для разработки метода верификации программного продукта нечеткой логической системы классификации воздушных объектов при контроле воздушного пространства необходимо разработать соответствующую базу нечетких продукционных правил.

Цель статьи – разработка базы нечетких продукционных правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов.

Анализ литературы. Рассмотрим основные работы в области теории и практики построения баз правил для нечетких логических систем классификации ВОБ в ходе воздушного пространства.

Так, в работах [1, 2] рассматриваются некоторые специфические вопросы построения сетевых моделей и процедур логического вывода. Анализ работ показал, что искусственное ограничение учета нечеткости уменьшает возможности моделирования.

В работе [3] рассматривается устойчивость решений для задач нечеткого управления в системах классификации при учете взаимодействия динамических нечетких процессов. В работе [4] исследуется влияние конфликтности, наличия ошибок и избыточности в базах знаний на эффективность решений. В работе [5] для верификации программного продукта нечеткой логической системы классификации доказывается возможность представления процессов в пространстве состояний нечеткой раскрашенной сетью Петри. В работе [6] рассматривается процесс формирования продукционных правил определения целесообразных параметров перехвата воздушных целей в условиях нестохастической неопределенности. Таким образом, с одной стороны, известные подходы к построению баз нечетких правил не позволяют их напрямую применять для рассматриваемой предметной области. С другой стороны, для обобщенного алгоритма реализации нечетких продукционных правил классификации объектов необходимо при помощи соответствующих характеристик их описать количественно и качественно.

Поэтому представляется необходимым разработка новых нечетких продукционных правил классификации воздушных объектов, свободных от указанных выше недостатков и позволяющих разработать метод верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации.

Изложение основного материала

Процесс классификации воздушных объектов (ВОБ) рассматривается как установление принадлежности конкретного рассматриваемого ВОБ $x \in X$ к наперед заданному классу ВОБ:

$$F : X \rightarrow \{K_i^{AO}\}, \quad (1)$$

где X – множество всех выявленных ВОб; x – ВОб с номером N_l^{AO} , $l = \overline{1, L}$, L – количество выявленных ВОб; K_i^{AO} – класс ВОб, $i = \overline{1, 10}$.

Формально наперед заданные классы ВОб задаются в виде множества $\{K_i^{AO}\}$, элементами которого являются классы, определяемые так:

1) классы, определяемые автоматически или задаваемые автоматизировано:

- K_1^{AO} "ВОб неопределенный";
- K_2^{AO} "ВОб – самолет по заявке";
- K_3^{AO} "ВОб – нарушитель режима полетов";
- K_4^{AO} "ВОб без сигнала опознавания";
- K_5^{AO} "ВОб с сигналом опознавания";
- K_6^{AO} "ВОб постановщик помех";

2) классы, задаваемые автоматизировано:

- K_7^{AO} "ВОб – свой самолет госавиации";
- K_8^{AO} "ВОб – контрольный самолет";
- K_9^{AO} "ВОб – иностранный самолет – нарушитель государственной границы";
- K_{10}^{AO} "ВОб – воздушный противник".

Значения множества характеристик ВОб $\{c_j^{AO}\}$

и классы ВОб множества $\{K_i^{AO}\}$ находятся между собой в бинарном отношении с матрицей

$$\rho = [d_{ji}]_{m \times n}, \quad (2)$$

где $d_{ji} = 1$, если $c_j^{AO} \in K_i^{AO}$, а иначе $d_{ji} = 0$; m – количество значений характеристик ВОб; n – количество классов ВОб. Признаки ВОб, рассматриваемые как элементы множества $\{c_j^{AO}\}$, для классификации ВОб: определения государственной принадлежности (ОГП) c_1^{AO} ; корреляции план-трека c_2^{AO} ; нарушения режима полетов c_3^{AO} ; сопровождения траектории триангуляционным методом c_4^{AO} .

Значения признаков c_1^{AO} , c_2^{AO} , c_4^{AO} определяются по результатам обобщения трассовой информации о ВОб и представляют собой ЛП в терминах нечетких множеств.

Если нет нарушения, то значение признака c_3^{AO} по умолчанию равно 0, и автоматически изменяется на 1 при нарушении, если введен тип нарушения режима полетов для соответствующего ВОб.

Значения признаков c_1^{AO} , c_2^{AO} , c_4^{AO} , и c_3^{AO} , в общем случае, являются нечеткими числами, описываемыми термы соответствующих ЛП (рис. 1).

Автоматическая классификация выполняется по следующим лингвистически описанным правилам:

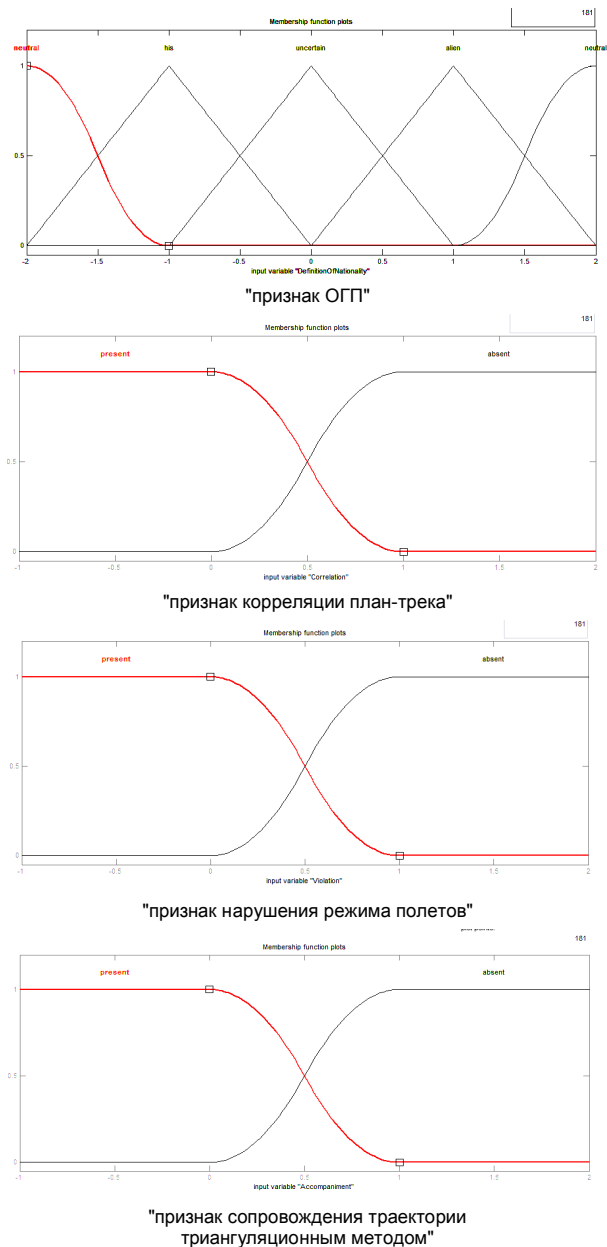


Рис. 1. Функции принадлежности термов ЛП

- класс "неопределенный ВОб" присваивается автоматически тем ВОб, у которых признак опознавания государственной принадлежности (ОГП) не определен (ВОб не запрошен системой радиолокационного опознавания);

- класс "ВОб – самолет по заявке" присваивается автоматически тем ВОб, которые не нарушают установленного режима полетов и для которых есть корреляция "план-трек";

- класс "ВОб – нарушитель режима полетов" присваивается автоматически тем ВОб, которые нарушают установленный режим полетов и для которых есть корреляция "план-трек", предварительная фиксация нарушения осуществляется автоматизировано путем ввода нарушения рассматриваемого ВОб;

- класс "ВОб без сигнала опознавания" присваивается автоматически тем ВОб, для которых нет корреляции "план-трек" и признак ОГП имеет значение "чужой";

- класс "ВОБ с сигналом опознавания" присваивается автоматически тем ВОБ, для которых нет корреляции "план-трек" и признак ОГП имеет значение "свой" или "нейтральный";

- класс "ВОБ постановщик помех" присваивается автоматически тем ВОБ, для которых нет корреляции «план-трек», признак ОГП имеет значение "чужой" и траектория полета обрабатывается с использованием триангуляционного метода.

Автоматизированный режим позволяет изменить оператору принадлежность ВОБ к классам из предыдущего перечня, определенную в результате автоматической классификации, а также установить или изменить принадлежность ВОБ к следующим классам, согласно выше описанных правил, дополненных следующими:

- класс "ВОБ – свой самолет государственной авиации" присваивается автоматизировано по решению оператора (признак ОГП которых имеет значение "свой") после определения оператором факта взлета самолета, обнаружения и захвата его на сопровождение и по результатам оценки воздушной обстановки, отображаемой на средствах отображения индивидуального и коллективного пользования;

- класс "ВОБ – контрольный самолет" присваивается автоматизировано по решению оператора тем ВОБ, которые являются своими самолетами (признак ОГП имеет значение "свой") и вылетели для обозначения воздушного противника на учениях, тренировках, проверках боевой готовности;

- класс "ВОБ – иностранный самолет – нарушитель государственной границы" присваивается автоматизировано по решению оператора тем ВОБ, для которых нет корреляции "план-трек", которые являются иностранными самолетами, и для которых выявлен факт пересечения государственной границы;

- класс "ВОБ – воздушный противник" присваивается автоматизировано по решению оператора, исходя из складывающейся воздушной обстановки в зоне ответственности, у которых признак ОГП имеет значение "чужой".

Формально правила классификации ВОБ, определяющие матрицу отношений 2, задаются совокупностью таких нечетких продукционных правил:

$$IF c_1^{AO} = 00 THEN x = K_1^{AO}; \quad (3)$$

$$IF c_3^{AO} = 0 AND c_2^{AO} = 1 THEN x = K_2^{AO}; \quad (4)$$

$$IF c_3^{AO} = 1 AND c_2^{AO} = 1 THEN x = K_3^{AO}; \quad (5)$$

$$IF c_1^{AO} = 01 AND c_2^{AO} = 0 THEN x = K_4^{AO}; \quad (6)$$

$$IF (c_1^{AO} = 10 OR c_1^{AO} = 11) AND c_2^{AO} = 0 THEN x = K_5^{AO}; \quad (7)$$

$$IF c_1^{AO} = 01 AND c_2^{AO} = 0 AND c_4^{AO} = 1 THEN x = K_6^{AO}; \quad (8)$$

$$IF c_1^{AO} = 10 AND O^d = o_1^d THEN x = K_7^{AO}; \quad (9)$$

$$IF c_1^{AO} = 10 AND O^d = o_2^d THEN x = K_8^{AO}; \quad (10)$$

$$IF c_1^{AO} = 10 AND c_2^{AO} = 0 AND O^d = o_3^d THEN x = K_9^{AO}; \quad (11)$$

$$IF c_1^{AO} = 01 AND O^d = o_4^d THEN x = K_{10}^{AO}, \quad (12)$$

где O^d – признак действия оператора по анализу информации, необходимой для автоматизированной классификации ВОБ; o_1^d – определение факта взлета своего самолета, обнаружения и захвата его на сопровождение и принятие решения оператором о классе ВОБ как "ВОБ – свой самолет государственной авиации"; o_2^d – определение факта взлета, обнаружения и захвата на сопровождение самолета для обозначения воздушного противника на учениях и принятие решения оператором как "ВОБ – контрольный самолет"; o_3^d – определение факта пересечения иностранным самолетом государственной границы и принятие решения оператором о классе ВОБ как "ВОБ – иностранный самолет – нарушитель государственной границы"; o_4^d – принятие решения оператором о классе ВОБ как "ВОБ – воздушный противник", исходя из складывающейся воздушной обстановки.

В общем случае, значения признака действия оператора O^d представляет собой нечеткие числа, описывающие термы соответствующей ЛП (рис. 2).

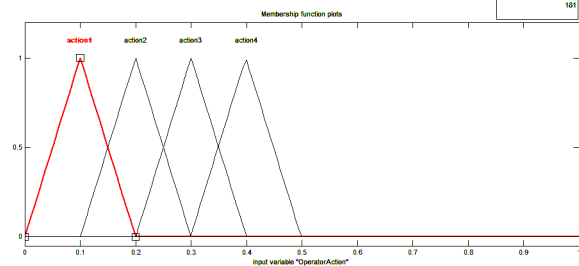


Рис. 2. Функции принадлежности термов ЛП "признак действия оператора по анализу информации, необходимой для автоматизированной классификации ВОБ, и действия по фиксации принятого им решения"

Непосредственно обобщенный алгоритм реализации нечетких продукционных правил классификации ВОБ включает алгоритмы решения частных задач автоматической и автоматизированной классификации ВОБ по их характеристикам на основе использования механизмов нечеткого логического вывода Сугэно 0-го порядка. Пример использования нечеткого логического вывода Сугэно 0-го порядка на базе правил (3) – (12) приведен на рис. 3, а алгоритм решения частной задачи автоматической классификации ВОБ – на рис. 4.

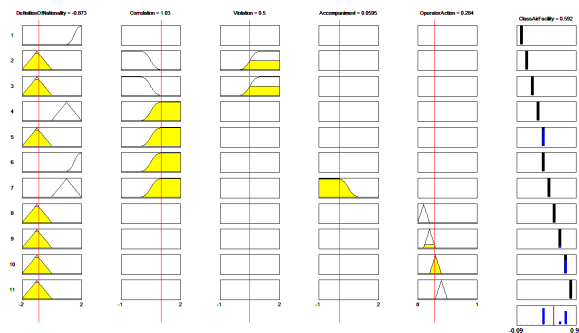


Рис. 3. Пример использования нечеткого логического вывода Сугэно 0-го порядка на базе правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов

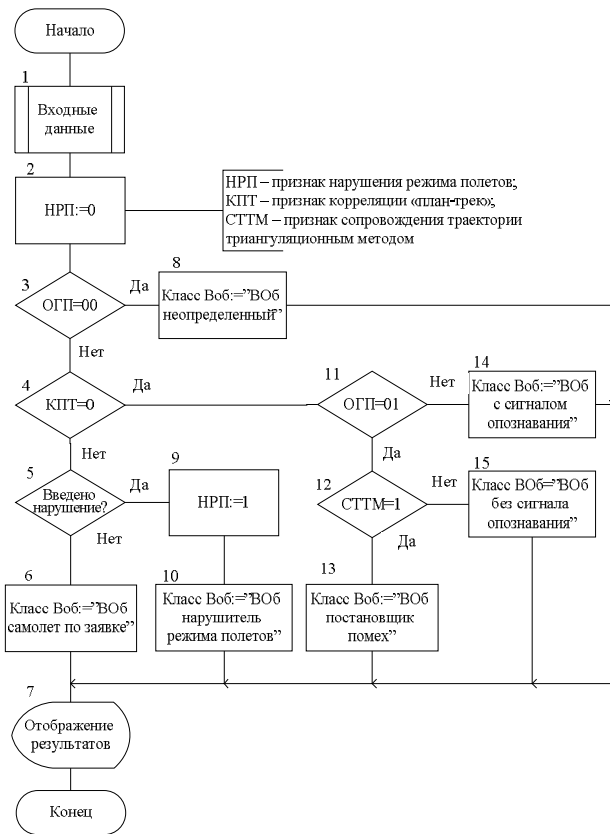


Рис. 4. Алгоритм решения частной задачи автоматической классификации ВОБ

Выполнение алгоритма, реализующего нечеткие продукционные правила классификации ВОБ (3-8), включает следующие операции и действия: поступает признак о ВОБ по результатам обобщения трассовой информации (блок 1); для рассматриваемого ВОБ признак нарушения режима полетов по умолчанию устанавливается в 0 (нет нарушения) (блок 2); анализируются значения признака ОГП (блок 3); если признак ОГП не определен, то ВОБ классифицируется как ВОБ неопределенный (блок 8); если признак ОГП определен, то анализируется значение признака корреляции «план-трек» (блок 4); если корреляции план-трека нет, то проверяется введение для ВОБ нарушения режима полетов оператором (блок 6); если нарушение введено оператором, то ВОБ классифицируется как ВОБ нарушитель режима полетов (блок 10); если нарушение не введено оператором, то ВОБ классифицируется как ВОБ самолет по заявке (блок 6); если корреляции план-трека есть, то анализируется признак ОГП (блок 11); если ОГП имеет значение "01" ("чужой"), то анализируется признак сопровождения траектории ВОБ триангуляционным методом (блок 12); если сопровождение траектории ВОБ триангуляционным методом есть, то ВОБ классифицируется как ВОБ постановщик помех (блок 13); если ОГП не имеет значение "01" ("чужой"), то ВОБ классифицируется как ВОБ с сигналом опознавания (блок 14); результаты классификации ВОБ отображаются на мониторе АРМ оператора ведения ВО (блок 7).

Алгоритм решения частной задачи автоматизированной классификации ВОБ представлен на рис. 5.

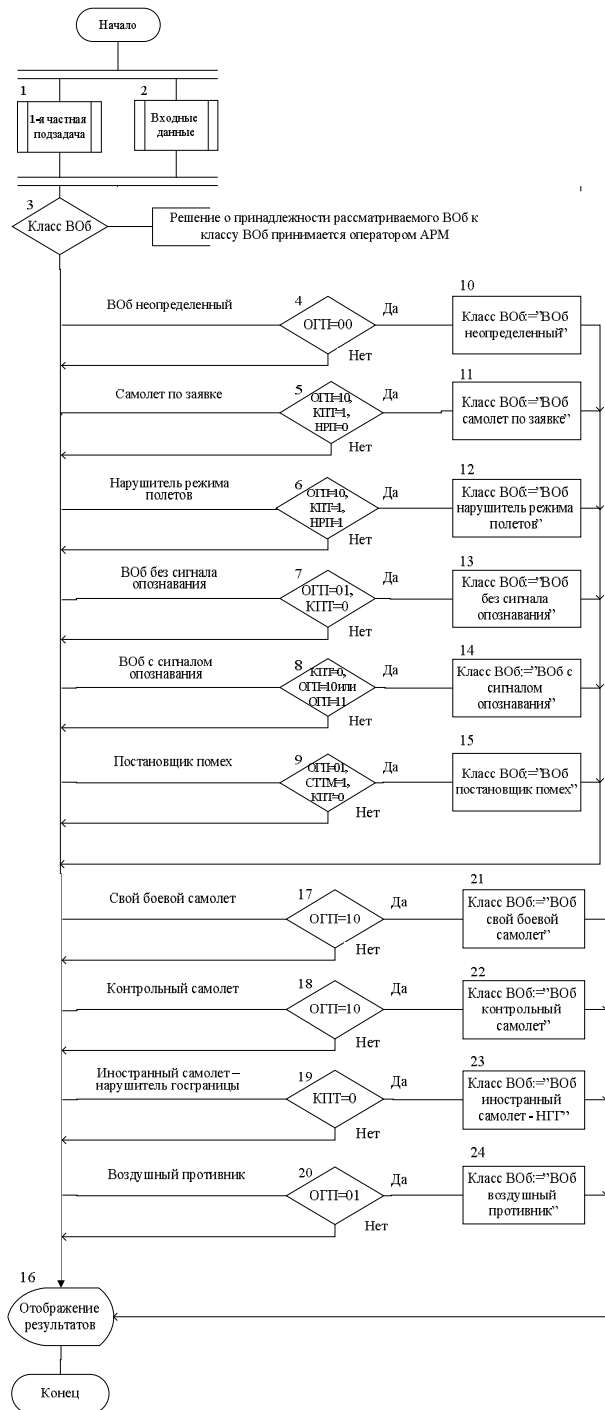


Рис. 5. Алгоритм решения частной задачи автоматизированной классификации ВОБ

Выполнение алгоритма, реализующего нечеткие продукционные правила классификации ВОБ (3-8), включает в себя такие операции и действия: выполняется автоматическая классификация ВОБ (блок 1); оператор принимает решение о классификации ВОБ, которые не были автоматически классифицированы (блок 3); в соответствии с принятым решением осуществляется выбор класса ВОБ (блоки 10-15, 21-24) при выполнении соответствующих условий (блоки 4-9, 17-20) в соответствии с правилами классификации ВОБ (формулы 3-12); результаты классификации отображаются на мониторе АРМ оператора (блок 16).

Выводы

1. Разработана база нечетких продукционных правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов в процессе контроля воздушного пространства и обобщенный алгоритм реализации этих правил.

2. Структурно нечеткие продукционные правила соответствуют правилам нечеткой логической модели Сугэно 0-го порядка. Формальное представление процесса классификации воздушных объектов с использованием нечеткой логической модели позволяет учесть нестохастический и субъективный характер процесса принятия решения оператором.

3. Непосредственно обобщенный алгоритм реализации нечетких продукционных правил класси-

фикации воздушных объектов включает алгоритмы решения частных задач автоматической и автоматизированной их классификации по соответствующим характеристикам на основе использования механизмов нечеткого вывода Сугэно 0-го порядка.

4. Разработан пример использования нечеткого логического вывода Сугэно 0-го порядка на базе разработанных правил.

5. Усилия, направленные на разработку базы нечетких продукционных правил нечеткой логической системы классификации воздушных объектов в процессе контроля воздушного пространства и обобщенного алгоритма реализации этих правил, послужат основой для разработки метода верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации воздушных объектов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mengshoel O. J., Delab S. Knowledge validation: principles and practice// IEEE Expert. - 1993. - 8. - P. 62 - 68.
2. Jahnke J., Schafer W., Zundorf A. Genetic fuzzy reasoning nets as a basis for reverse engineering relational database applications. - Germany, 1998. - 100 s. - http://www.unipaderbom.de/fachbereich/Schaefer/index_engl.html.
3. Hasegama T., Furuhashi T., Uchikama Y. Stability analysis of fuzzy control systems based on Petri nets// Proc. Int. Discourse on Fuzzy Logic and the Management of Complexity, FLAMOC'96. - 1996. - P. 191 - 195.
4. Polat F., Guvenir H. UVT: A unification-based tool for knowledge base verification// IEEE Expert. - 1993. - 8. - P. 69 - 75.
5. Тимочко А.А. Представление динамических взаимодействующих процессов в пространстве состояний нечеткой раскрашенной сети Петри для верификации программного продукта нечеткой логической системы классификации / А.А. Тимочко // Наука і техніка Повітряних Сил. – X. : ХНУПС, 2018. – №4(33). – С. 72-79.
6. Королюк Н.А. Формирование продукционных правил определения целесообразных параметров перехвата истребителями воздушных целей в условиях нестохастической неопределенности / Н.А. Королюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – X.: НАУ «ХАІ», 2007. – №1(20). – С. 94-100.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. А. Павленко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received 26.06.2018

Accepted for publication 12.09.2018

Розробка бази нечітких продукційних правил нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів у процесі контролю повітряного простору й узагальненого алгоритму їх реалізації

О.О. Тимочко

Контроль повітряного простору вимагає створення системи класифікації повітряних об'єктів. Це завдання вирішується в нечіткій постановці. Для цього розроблена база нечітких продукційних правил і узагальнений алгоритм їх реалізації. Стверджується, що традиційні підходи до розробки баз правил не досить ефективні для даної предметної області. Мета статті - розробка бази нечітких продукційних правил нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів. Проаналізовані підходи до розробки бази нечітких продукційних правил нечітких логічних систем класифікації. Для класифікації повітряного об'єкту встановлюється його приналежність до наперед заданого класу. Наперед задані класи формально задаються у вигляді множини. Елементами множини є класи, визначувані автоматично або ті, що задаються автоматизовано. Визначені основні ознаки для класифікації повітряних об'єктів. Значення ознак визначаються за результатами узагальнення трасової інформації або встановлюються за умовчанням. Значення ознак є лінгвістичними змінними. У загальному випадку вони є нечіткими числами, що описують терми відповідних лінгвістичних змінних. Структурно нечіткі продукційні правила відповідають правилам нечіткої логічної моделі Сугено 0-го порядку. Розроблений приклад використання нечіткого логічного виведення Сугено 0-го порядку на базі розроблених правил. Розроблена база нечітких продукційних правил і узагальнений алгоритм їх реалізації є основою методу верифікації програмного забезпечення нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів в процесі контролю повітряного простору.

Ключові слова: нечітке продукційне правило, класифікація повітряних об'єктів, база знань, функція приналежності, ознака повітряного об'єкта.

Development of a fuzzy productive rules of a fuzzy logical classification system of air objects in the air space control and generalized algorithm of their realization

O. Timochko

Airspace control requires the creation of a classification system for air objects. This problem is solved in a fuzzy setting. For this purpose, a base of fuzzy production rules and a generalized algorithm for their implementation have been developed. It is argued that traditional approaches to the development of rule bases are not sufficiently effective for the subject area under consideration. The purpose of the article is to develop a base of fuzzy production rules of a fuzzy logical system of classification of air objects. Analyzed approaches to the development of a base of fuzzy production rules of fuzzy logic classification systems. To classify an air object, its belonging to a predetermined class is established. Predefined classes are formally defined as a set. The elements of a set are classes defined automatically or set automatically. Identified the main features for the classification of air objects. The values of the signs are determined by the results of summarizing the trace information or are set by default. Character values are linguistic variables. In general, they are fuzzy numbers describing the terms of the corresponding linguistic variables. Structurally fuzzy production rules follow the rules of the 0th order fuzzy logical model of Sugeno. An example of using Sugeno 0-th order fuzzy inference based on the developed rules has been developed. The developed base of fuzzy production rules and a generalized algorithm for their implementation are the basis of the verification method for the software of a fuzzy logical system for classifying air objects in the process of monitoring airspace.

Keywords: fuzzy production rule, classification of air objects, knowledge base, membership function, sign of an air object.

Б.Т. Кононов, О.А. Кононова, Н.М. Куравська

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглядаються способи регулювання напруги в електричних мережах, засновані на зміні параметрів мережі, зміні реактивної потужності, використанні регулюємих силових трансформаторів, у яких можливо змінювати кількість витків їх обмоток та перерозподіляти магнітний потік й змінювати додаткові електрорушійні сили та кут їх вмикання. В електричній мережі можна здійснювати як централізоване (загальне), так і децентралізоване (місцеве) регулювання напруги. Загальне регулювання напруги здійснюється в центрах живлення і призводить до зміни напруги у всій електричній мережі і може бути використано для груп споживачів електричної енергії, що знаходяться в приблизно однакових умовах і мають збігаючись у часі графіки навантажень. Місцеве регулювання напруги використовується тоді, коли електрична мережа має багато ліній електропередачі, які мають значну довжину і істотно розрізняються графіками навантажень і режимів роботи споживачів електричної енергії. Як правило, місцеве регулювання напруги використовується у випадках забезпечення харчування електричною енергією споживачів першої категорії, до яких слід віднести споживачів військових об'єктів.

Ключові слова: регулювання напруги в електричній мережі, зміна параметрів електричної мережі, зміна реактивної потужності, зміна кількості витків обмоток трансформатора, перерозподіл магнітного потоку, додаткова електрорушійних сил, кут зсуву за фазою електрорушійних сил.

Вступ

Постановка проблеми. Регулювання напруги в системах електропостачання здійснюється з метою створення більш сприятливих умов для ефективного використання електричної енергії, що надається її споживачам, шляхом забезпечення вимагаємої її якості. В електричній мережі можливо здійснювати як централізоване (загальне), так й децентралізоване (місцеве) регулювання напруги. Загальне регулювання напруги здійснюється в центрах живлення та приводить до зміни напруги у всій електричній мережі й може бути використано для груп споживачів електричної енергії, що знаходяться в приблизно однакових умовах та мають співпадаючі за часом графіки навантажень.

Місцеве регулювання напруги використовується тоді, коли електрична мережа має багато ліній електропередавання, котрі мають значну довжину і суттєво розрізняються графіками навантажень та режимами роботи споживачів електричної енергії. Як правило, місцеве регулювання напруги використовується в випадках забезпечення живлення електричною енергією споживачів першої категорії, до яких слід віднести споживачів військових об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В відомій літературі [1-4] розглядаються існуючі способи регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання промислових та муніципальних об'єктів й наводяться рекомендації стосовно їх використання. Ці рекомендації не завжди можуть бути використаними в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів, характерними ознаками яких є незначна питома щільність навантажень, значна кількість повітряних і кабельних ліній електропередавання, й велика кількість споживачів електричної енергії першої категорії та споживачів категорії ІА, які характеризуються більш жорсткими вимогами до показників якості електричної енергії й надійності та безперебійності живлення [5]. Разом з тим, в відомих публікаціях не надаються рекомендації стосовно використання тих чи інших способів регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів.

вачів електричної енергії першої категорії та споживачів категорії ІА, які характеризуються більш жорсткими вимогами до показників якості електричної енергії й надійності та безперебійності живлення [5]. Разом з тим, в відомих публікаціях не надаються рекомендації стосовно використання тих чи інших способів регулювання напруги в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів.

Основна частина

Розглядаючи задачу вибору способу і засобів регулювання напруги в електричній мережі, як операцію [6,7,8] в якій для досягнення поставленої мети необхідно з'ясувати чинники, що впливають на хід її проведення й очікуємі результатам, перш за все, визначимо, чому в електричній мережі мають місце втрати напруги і чим вони обумовлені.

Слідую [5], визначимо, що при передачі електричної енергії по повітряній або кабельній лінії електропередавання з використанням знижувального силового трансформатора, слід враховувати падіння напруги на активних та реактивних опорах лінії електропередавання і трансформатора й визначити подовження $\Delta U_{\text{поз}}$ та поперечну $\Delta U_{\text{поп}}$ складові втрат напруги з виразів

$$\Delta U_{\text{поз}} = I_a R_3 + I_p X_3; \quad \Delta U_{\text{поп}} = I_a X_3 - I_p R_3, \quad (1)$$

де R_3 , X_3 – загальний активний й реактивний опори лінії та трансформатори; I_a , I_p – активна та реактивна складові струму лінії.

Складові втрат напруги (1) можна представити через величини передаємої активної P_a та реактивної Q_p потужності

$$\Delta U_{\text{поз}} = \frac{P_a R_3 + Q_p X_3}{U}, \quad \Delta U_{\text{поп}} = \frac{P_a X_3 - Q_p R_3}{U}, \quad (2)$$

де U – напруга на початку лінії електропередавання.

З співвідношень (1) та (2) можна зробити висновки, що зменшення (компенсація) втрат напруги і відповідно забезпечення вимагаємої якості електричної енергії може бути досягнуто шляхом зміни параметрів електричної мережі, а саме зміни величини загального реактивного опору X_3 й шляхом генерування реактивної потужності Q_p .

Відповідні схеми електричних мереж, в яких використовуються ці рішення, наведені на рис. 1.

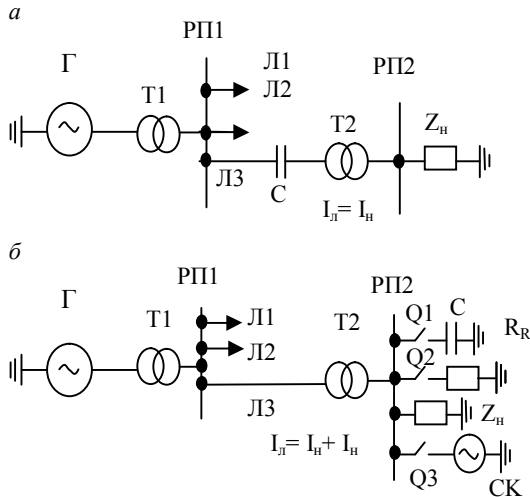


Рис. 1. Схеми електричних мереж з компенсацією втрат напруги

На рис. 1, а наведена схема електричної мережі, в якій джерелом енергії є генератор Г з підвищуючим трансформатором Т1, розподільчими пристроями РП1 та РП2, лініями електропередавання Л1, Л2, Л3 знижуючим трансформатором Т2 та конденсатором С, який використовується для повздовжньої ємнісної компенсації втрат напруги. В випадку повної компенсації ємність конденсатора С вибирається так, щоб $X_C = X_3$, чим досягається зменшення повздовжньої складової втрат напруги на величину, що дорівнює добутку реактивного струму I_p на загальну реактивність X_3 .

Повздовжню ємнісну компенсацію втрат напруги недоцільно використовувати в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів. Це, по перше, пов'язано з можливістю пробою конденсатора С й, як наслідок, перерви в електропостачанні в зв'язку з кидком напруги на ємності конденсатора при вмиканні лінії електропередавання, по друге, це пов'язано з можливістю виникнення небажаних резонансних явищ при вмиканні трансформатора Т2, навантаження якого мале або взагалі відсутнє.

На рис. 1, б наведена схема електричної мережі в варіанті поперечної ємнісної компенсації (включений вимикач Q1) та в варіанті генерування реактивної потужності (включений вимикач Q3). При поперечній ємнісній компенсації по лінії Л3 проходить не тільки струм навантаження I_n , но й струм зарядження конденсатора I_C , що змінює кут зсува фазою між напругою на початку лінії U_1 та струмом лінії I_n , що приводить до зменшення повздовжньої складової втрати напруги.

Поперечну ємнісну компенсацію, також, небажано використовувати в електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів. Це, по перше, пов'язано з підвищеною загрозою ураження електричним струмом особового складу, що здійснює експлуатацію обладнання розподільчого пристрою, а, по друге, це пов'язано зі суттєвим зростанням вагобаритних характеристик розподільчого пристрою в зв'язку з необхідністю здійснення розрядки конденсатора С за допомогою використання для цього розрядного опору R_R , вмикаємого вимикачем Q2.

Більш прийнятним для систем електропостачання військових об'єктів є варіант з застосуванням синхронного компенсатора СК, вмикаємого за допомогою вимикача Q3. Синхронний компенсатор виробляє реактивну потужність Q_p , яку не треба передавати по лінії електропередавання що дозволяє відповідно до співвідношення (2), знизити втрати напруги. В якості синхронного компенсатора доцільно використовувати синхронні генератори резервних джерел енергії, наприклад, дизель-генератори або бензинові електроагрегати, в яких замість нероз'ємної муфти, що поєднує вали генератора та приводного двигуна використовувати роз'ємну муфту.

При наявності напруги в електричній мережі слід запустити резервне джерело живлення, виконати його вмикання на паралельну роботу, відключити муфту, зупинити приводний двигун й перевести синхронний генератор в режим синхронного компенсатора, змінюючи для цього струм в колі збудження.

В випадку, коли за допомогою розглянутих рішень не вдається підтримувати вимагаєму якість електричної енергії, доцільно здійснювати регулювання напруги, впливаючи при цьому на роботу трансформатора Т2. Узагальнена схема силового трансформатора, за допомогою якого можливо здійснювати регулювання напруги наведена на рис. 2.

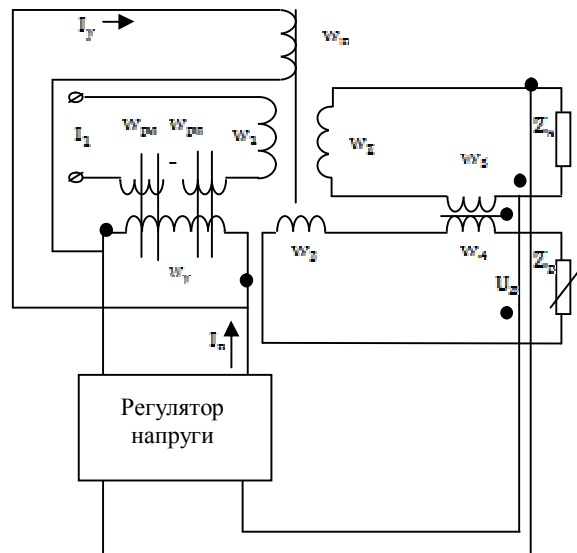


Рис. 2. Узагальнена схема регулюємого трансформатора

В наведеній узагальненій схемі регулюємого трансформатора напруга U_1 подається на вхід електричного кола, в якому послідовно з первинною обмоткою w_1 включені робочі обмотки магнітного під-

силового $w_{рл}$ та $w_{рп}$, падіння напруги U_p на яких залежить від величини струму підмагнічування I_p , значення якого визначається величиною напруги U_2 , знімаємої з вторинної w_2 обмотки трансформатора.

В коло вторинної обмотки трансформатора w_2 послідовно включена обмотка w_5 вольтододаточного трансформатора, первинна обмотка w_4 якого послідовно з'єднана з обмоткою w_3 силового трансформатора і змінним опором Z_p . В розглядаємії схемі магнітопровід трансформатора підмагнічується струмом I_y , що подається на обмотку підмагнічування w_n . Вихідний струм регулятора напруги залежить від величини вихідної напруги U_2 .

Розглянемо основний режим роботи трансформатора, коли навантаження Z_n включено. Для цього режиму роботи поточкозчеплення первинної Ψ_1 та вторинних Ψ_2 та Ψ_3 обмоток відповідно дорівнюють:

$$\Psi_1 = w_1 \Phi_0 + L_{S1} i_1;$$

$$\Psi_2 = w_2 \Phi_0 + L_{S2} i_1;$$

$$\Psi_3 = w_3 \Phi_0 + L_{S3} i_1,$$

де Φ_0 – основний магнітний потік магнітопроводу трансформатора; L_{S1} , L_{S2} , L_{S3} – індуктивності розсіювання обмоток, визначаємі їх потоками розсіювання Φ_{S1} , Φ_{S2} та Φ_{S3} .

В обмотках w_1, w_2, w_3 наводяться електрорушійні сили e_1, e_2 та e_3

$$e_1 = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -w_1 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S1} \frac{di_1}{dt} = e_{01} + e_{S1};$$

$$e_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -w_2 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S2} \frac{di_1}{dt} = e_{02} + e_{S2};$$

$$e_3 = -\frac{d\Psi_3}{dt} = -w_3 \frac{d\Psi_0}{dt} - L_{S3} \frac{di_1}{dt} = e_{03} + e_{S3}.$$

Відповідно до [9] складемо рівняння рівноваги напруг, прикладених до електричних кіл первинної і вторинної обмоток трансформатора, враховуючи те, що падіння напруги U_p на робочих обмотках $w_{рл}$ та $w_{рп}$ магнітного підсилювача залежить від величини струму підмагнічування, тобто це падіння напруги визначається виразом $u_p = I_1 \cdot X_{wp}$, й те, що за допомогою вольтододаточного трансформатора, створеного обмотками w_4 та w_5 , електрорушійна сила e_3 обумовлює появу в колі вторинної обмотки w_2 додаткової електрорушійної $e_{дод}$. Відповідні рівняння мають вигляд:

$$u_1 = i_1 R_1 - e_{01} - e_{S1} + U_p(I_n) = i_1 R_1 + w_1 \frac{d\Phi_0}{dt} + L_{S1} \frac{di_1}{dt} - U_p(I_n);$$

$$u_2 = e_{02} + e_{S2} - i_2 R_2 + e_{дод} = -w_2 \frac{d\Phi_0}{dt} + L_{S2} \frac{di_1}{dt} - i_2 R_2 + e_{дод},$$

де R_1, R_2 – активні опори первинної та вторинної обмоток; $L_{S1} = w_1 \cdot \Phi_{S1} / i_1$, $L_{S2} = w_2 \cdot \Phi_{S2} / i_2$ – індуктивності розсіювання первинної та вторинної обмоток; Φ_{S1}, Φ_{S2} – потоки розсіювання первинної та вторинної обмоток.

Розуміючи під коефіцієнтом перетворення напруги K відношення модулів первинної та вторинної напруги, тобто $K = |U_1|/|U_2|$, зробимо висновок, що регулювання напруги за допомогою силового трансформатора може здійснюватися шляхом зміни магнітного потоку Φ_0 , шляхом зміни індуктивностей розсіювання L_{S1}, L_{S2} або зміни потоків Φ_{S1}, Φ_{S2} , шляхом зміни падіння напруги на робочих обмотках магнітного підсилювача $u_p(I_n)$, шляхом зміни додаткової електрорушійної сили $e_{дод}$. й шляхом зміни кута γ між електрорушійною силою e_{02} та додатковою електрорушійною силою $e_{дод}$.

Розглянемо спочатку перший спосіб регулювання напруги, заснований на зміні кількості витків w . За цим способом обмотку високої напруги, в нашому випадку обмотку w_1 , слід виконати з відгалуженнями і здійснювати механічне перемикання відгалужень. Можливо також первинну обмотку виконати в вигляді двох обмоток $w_{1\alpha}$ та $w_{1\beta}$ та здійснювати електричну комутацію цих обмоток за допомогою тиристорних ключів ТК α та ТК β . Регулювання напруги зміною кількості витків доцільно виконувати на стороні високої напруги, оскільки при перемиканнях можливо вимкнення електричної дуги, погасити яку простіше при менших значеннях струму. При механічному перемиканні відгалужень для здійснення комутації потрібно мати два рухомих контактів, для управління якими електропривід повинен мати можливість реверса й для обмеження струмів, коли рухоми контакти знаходяться на різних відгалуженнях і створюють короткозамкнене коло, до складу регулятора напруги потрібно вводити струмообмежуючі реактори. Все це суттєво ускладнює регулятор напруги і знижує надійність регулюемого трансформатора. Більш простішим є варіант регулювання з електричною комутацією відгалужень (рис. 3)

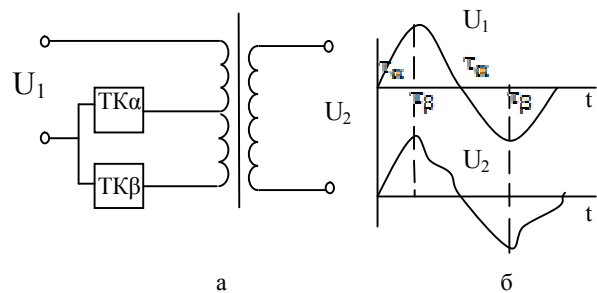


Рис. 3. Регулювання напруги шляхом електричної комутації відгалужень: а – схема регулюемого трансформатора; б – часові діаграми

В схемі (рис. 3) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких відповідно включені тиристорні ключі ТК α та ТК β . Для збільшення напруги необхідно збільшити час τ_α . Разом τ_α та τ_β дорівнюють половині періоду $T/2$. Недоліком розглянутого варіанта регулювання напруги є необхідність використання потужних індуктивних фільтрів для покращення форми вихідної напруги. Це обмежує діапазон застосування регулюемых трансформаторів з електричною комутацією відгалужень потужностями, що не перевищують 200 кВА.

При регулюванні напруги шляхом зміни магнітного потоку, частіше за все, використовують трансформатори з магнітним шунтом, трансформатори з підмагнічуванням головних стрижнів і трансформатори з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток.

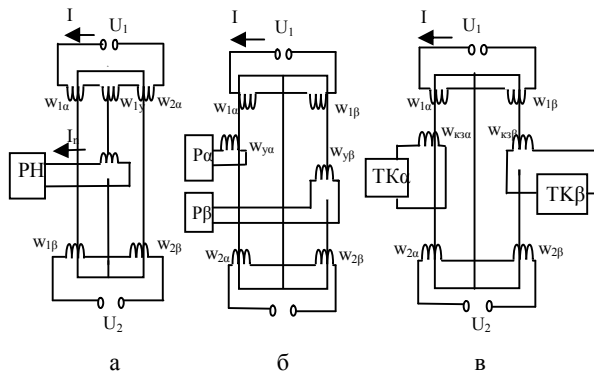


Рис. 4. Трансформатори регулюємі зміною магнітного потоку: а – трансформатор з магнітним шунтом; б – трансформатор з підмагнічуванням головних стрижнів; в – трансформатор з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток

Для всіх трансформаторів, показаних на рис. 4, спільним є те, що їх магнітопровід виконаний Ш-подібним, а первинна w_1 і вторинна w_2 обмотки складаються з двох частин $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ та $w_{2\alpha}$ й $w_{2\beta}$. У трансформаторі з магнітним шунтом (рис.4,а) величина магнітного потоку залежить від величини струму підмагнічування I_n , який подається на обмотку підмагнічування w_n магнітного шунта. В випадку, коли струм підмагнічування I_n малий, магнітопровід шунта не насичений і індуктивний опір обмотки шунта w_n великий, а струм I_1 , який визначається індуктивним опором обмоток $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ та обмотки шунта w_n , малий. Намагнічувальна сила, яка створюється обмотками $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ дуже мала, відповідно малий магнітний потік Φ й мала електрорушійна сила e_2 , що створюється обмотками $w_{2\alpha}$ та $w_{2\beta}$. При зростанні струму підмагнічування I_n осердя магнітного шунта насичується, індуктивний опір обмотки w_n зменшується, завдяки чому зростає струм I_1 , зростає намагнічувальна сила $F_1 = I_1 \cdot (w_{1\alpha} + w_{1\beta})$ зростає магнітний потік Φ й зростає, в решті решт, вихідна напруга U_2 .

У трансформатора з підмагнічуванням головних стрижнів (рис. 4, б) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких подається струм управління $I_{y\alpha}$ або струм управління $I_{y\beta}$ в відповідно обмотки управління $w_{y\alpha}$ та $w_{y\beta}$. При подачі струму управління в обмотку $w_{y\alpha}$ насичується магнітопровід лівого стрижня, індуктивний опір обмоток $w_{1\alpha}$ та $w_{2\alpha}$ стає практично рівним нулю, ці обмотки ніби то закорочуються й перетворення напруги здійснюється β – трансформатором при цьому величина $u_2 = u_1 (w_{2\beta} / w_{1\beta}) = u_1 \cdot K_\beta$. При подачі струму управління в обмотку $w_{y\beta}$ насичується магнітопровід правого стрижня, індуктивний опір обмоток $w_{1\beta}$ та $w_{2\beta}$ стає практично рівним нулю і перетворення напруги

здійснюється α -трансформатором, при цьому, величина $U_2 = U_1 (w_{2\alpha} / w_{1\alpha}) = u_1 \cdot K_\alpha$. Якщо прийняти, що $K_\alpha > K_\beta$, то для підвищення напруги треба збільшувати на протязі на півперіоду $T/2$ інтервал часу τ_β , відповідно зменшуючи інтервал часу τ_α . Варіант регулювання напруги шляхом підмагнічування головних стрижнів, частіше за все, використовується у автотрансформаторних стабілізаторів напруги.

У трансформаторів з тиристорною комутацією короткозамкнених обмоток (рис. 4, в) регулювання напруги здійснюється шляхом зміни інтервалів часу τ_α та τ_β , на протязі яких тиристорні ключі ТК α та ТК β закорочують обмотки $w_{k3\alpha}$ та $w_{k3\beta}$ і у цих обмотках виникає струм, під дією якого у відповідних лівому (α – трансформатор) та правому (β – трансформатор) головних стрижнях з'являється магнітний потік, направлений протилежно магнітному потоку, який створюється обмотками $w_{1\alpha}$ й $w_{1\beta}$ під дією струма I_1 , що протікає в колі цих обмоток. Таким чином, якщо включений тиристорний ключ ТК α , то результуючий магнітний потік в лівому головному стрижні практично відсутній і перетворення напруги здійснюється β – трансформатором з коефіцієнтом трансформації $K_\beta = w_{2\beta} / w_{1\beta}$. В випадку включення тиристорного ключа ТК β перетворення напруги відбувається з коефіцієнтом $K_\alpha = w_{2\alpha} / w_{1\alpha}$. Якщо вважати, що $K_\alpha > K_\beta$, то для підвищення напруги треба збільшувати інтервал часу τ_β й відповідно зменшувати інтервал часу τ_α .

У трансформаторів (рис. 5), у яких, відповідно до співвідношень (4), регулювання напруги здійснюється шляхом зміни індуктивності розсіювання L_3 , на одному стрижні розміщена первинна обмотка w_1 , короткозамкнена обмотка w_{k3} й рухома вторинна обмотка w_2 .

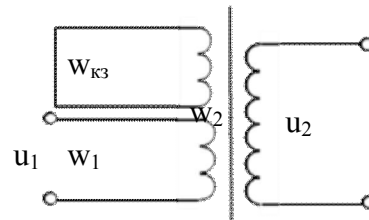


Рис. 5. Регулюємі трансформатор з рухомою вторинною обмоткою

Під дією напруги U_1 , прикладеної до обмотки w_1 , в цій обмотці з'являється струм I створюється намагнічуюча сила $F_1 = I_1 \cdot w_1$ і в магнітопроводі трансформатора виникає магнітний потік Φ , який складається з основного магнітного потоку Φ_0 і потоку розсіювання Φ_{1s} . Під дією основного магнітного потоку Φ_0 в короткозамкненій обмотці w_{k3} з'являється електрорушійна сила E_{k3} і по цій обмотці протікає струм I_{k3} , що приводить до появи зустрічного потоку Φ_{k3} , який також складається з двох потоків основного Φ_{0k3} і потоку розсіювання Φ_{sk3} . В крайньому верхньому положенні рухомої вторинної обмотки w_2 результуючий магнітний потік $\Phi_{2\beta}$, що діє на цю обмотку є мінімальним і дорівнює різниці основного магнітного потоку Φ_0 і потоку короткозамкненої обмотки Φ_{k3} . В крайньому нижньому положенні рухомої вторинної

обмотки w_2 результуючий магнітний потік Φ_{2n} максимальний і дорівнює різниці магнітного потоку Φ_3 і основної частині Φ_{0k3} потоку короткозамкненої обмотки. Оскільки електрорушійна сила, що виникає у вторинній обмотці w_2 прямо пропорційна величині магнітного потоку Φ_2 , неважко впевнитися, що при переміщенні вторинної обмотки вихідна напруга буде плавно змінюватися. Регулювання напруги при цьому базується на зміні величини індуктивностей розсіювання первинної обмотки L_{S1} і короткозамкненої обмотки L_{SK3} . Для збільшення діапазону регулювання напруги треба збільшувати потоки розсіювання Φ_{S1} та Φ_{SK3} , що, в решті решт, суттєво знижує коефіцієнт корисної дії трансформатора. Крім того значними недоліками такого трансформатора є обмежена швидкодія, складність конструкції та невисока надійність, обумовлена наявністю рухомої обмотки. Розглянута конструкція використовується лише для окремих типів зварювальних трансформаторів.

При регулюванні напруги шляхом зміни величини падіння напруги U_p на робочих обмотках магнітного підсилювача змінюється величина струму підмагнічування I_n , що подається на обмотку управління w_y магнітного підсилювача (рис. 2). При збільшенні струму підмагнічування I_n збільшується насичення осердя магнітного підсилювача і знижується індуктивний реактивний опір x_p його робочих обмоток $w_{рл}$ та $w_{рп}$. При цьому зростає струм I_1 , що протікає по первинній обмотці w_1 трансформатора, показаного на рис. 2, а значить зростає магнітний потік, що пронизує вторинну обмотку трансформатора w_2 (рис. 2), і збільшується вихідна напруга U_2 . Перевагами розглянутого способу регулювання напруги є простота конструкції, висока швидкодія і головне, плавність регулювання без викривлення форми кривої вихідної напруги, що має місце у варіантах регулювання шляхом підмагнічування стрижнів й тиристорної комутації короткозамкнених обмоток.

Регулювання напруги зміною величини додаткової електрорушійної сили $e_{\text{дод}}$ відповідно до співвідношень (5) здійснюється шляхом управління її величиною, як це показано на рис. 2. Додаткова електрорушійна сила $e_{\text{дод}}$ створюється за допомогою вольтододаткового трансформатора, що має первинну w_4 вторинну w_5 обмотки. Первинна обмотка w_4 цього трансформатора отримує живлення від обмотки w_3 трьохобмоточного трансформатора. Величина напруги, що може бути прикладена до обмотки w_4 , визначається значенням регулюємого опору реактора z_p .

Кут зсува за фазою γ між електрорушійною силою \dot{E}_2 , яка отримується в обмотці w_2 трьохобмоточного трансформатора, та електрорушійною силою $\dot{E}_{\text{дод}}$, яка виникає в обмотці w_5 , визначається групою з'єднань обмоток трансформаторів. В електричних мережах систем електропостачання військових об'єктів застосовують як повздовжнє, так і поперечне регулювання за допомогою вольтододаткових трансформаторів. При повздовжньому регулюванні електрорушійні сили \dot{E}_2 та $\dot{E}_{\text{дод}}$ знаходяться у фазі або протифазі, а при поперечному регулюванні, яке найлегше реалізується у трифазних електричних колах, кут зсуву за фазою γ змінюється через 30° в діапазоні від 0 до 360° і не дорівнює 0 або 180° .

Висновки

1. Втрати напруги, що мають місце в електричних мережах військових об'єктів, залежать від графіків навантажень цих об'єктів і визначаються довжиною ліній електропередавання й активними та реактивними навантаженнями.

2. Для зменшення втрат напруги в лініях електропередавання доцільно підвищувати значення передаваної напруги, обмежуючи її лише з умов зменшення додаткових витрат на ізоляцію.

3. Для регулювання напруги в електричних мережах військових об'єктів необхідно використовувати силові трансформатори, які встановлені в трансформаторних підстанціях цих об'єктів і забезпечують зниження напруги до значень, на яких здійснюється живлення електротехнічного обладнання і зразків озброєння і військової техніки.

4. Для регулювання напруги в електричних військових об'єктів можливо використовувати способи регулювання, засновані на зміні параметрів електричної мережі, на зміні величини реактивної потужності, що виробляється власними електричними машинами, на зміні кількості витків обмоток трансформатора, на зміні основного магнітного потоку та зміні індуктивностей розсіювання, на зміні величини напруги, що підводиться до первинної обмотки трансформатора, на зміні величини додаткової електрорушійної сили, що включена в коло вторинної обмотки трансформатора, і зміні кута зсува за фазою між основною та додатковою електрорушійними силами.

5. Вибір конкретного способу та засобів регулювання напруги в електричних мережах військових об'єктів залежить від складу споживачів і їх категорії, наявності автономних та резервних джерел живлення, вимогами до якості електричної енергії й таких її показників як допустимі відхилення і форма кривої живлячої напруги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловьев П.М. Автоматизация энергетических систем. – М.Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 532 с.
2. Барзам А.В. Системная автоматика. – М.Л.: Энергия, 1964. – 472 с.
3. Бажанов С.М., Бенин В.Л. Автоматическое регулирование в энергосистемах. – Киев. Техника, 1965. – 374 с.
4. Рогожкин Г.М. Автоматизация систем электроснабжения / Г.М. Рогожкин, А.Д. Савоскин, Б.Т. Кононов, В.П. Козиренко / – МО СССР, 1985. – 514 с.
5. Кононов Б.Т. Релейный захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник / Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, В.Б. Кононов / – Х.: МОУ, ХУПС, 2007. – 384 с.
6. Надежность и эффективность в технике : Справочник : В 10 т. / Ред совет : В.С. Авдуевский (пред) и др. –М.: Машиностроения, 1986. – Т1.: Методология. Организация. Терминология. / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.

7. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10т. / Ред. совет В.С. Авдудевский (пред) и др. – М.: Машиностроение, 1988 : Т3. Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.
8. Кононов Б.Т. Обґрунтування методики дослідження шляхів підвищення надійності роботи систем обертання антен радіолокаційних станцій / Б.Т. Кононов, Н.М. Куравська, Наука і техніка Повітряних Сил України. 2016. Вип. 1 (22). С. 88 – 90.
9. Кононов Б.Т. Диференціальні рівняння перехідних процесів у високовольтній трифазній електричній мережі / Б.Т. Кононов, А.О. Мушаров, А.О. Нечаус / Збірник наукових праць ХНУПС. Вип. 1 (22), 2016. С. 114 – 117.

REFERENCES

1. Solovjov P.M.. Automation of power systems. – M.L.: Gosenergoizdat, 1956. – 532 pages.
2. Barzam A.V. System automatic equipment. – M.L.: Energy, 1964. – 472 pages.
3. Bazhanov S.M., Benin V.L. Automatic control in power supply systems. – Kiev. Equipment, 1965. – 374 pages.
4. Rogozhkin G.M. Automation of power supply systems / G.M. Rogozhkin, A.D. Savoskin, B.T. Kononov, V.P. Kozirenko / – MO USSR, 1985. – 514 pages.
5. Kononov B.T. Releyny a zakhist that automatic equipment in systems електропостачання v_yskovy about' ектів. P_druchnik / B.T. Kononov, B.F. Samoilenko, V.B. Kononov / – X.: Municipal educational institution, HOOPS, 2007. – 384 p.
6. Reliability and efficiency in the equipment: Reference book: In 10 t. / Red council: V.S. Avduyevsky (before), etc. – M.: Mechanical engineering, 1986. – T1.: Methodology. Organization. Terminology. / Under the editorship of A.I. Rembeza. – 224 pages.
7. Reliability and efficiency in the equipment: Reference book: In 10 t. / An edition council V.S. Avduyevsky (before), etc. – M.: Mechanical engineering, 1988: T3. Efficiency of technical systems / Under the editorship of V.F. Utkin, Yu.V. Kryuchkov. – 328 pages.
8. Kononov of B.T. Obgruntuvann of a technique дослідження шляхів підвищення надійності robot of systems обертання antennas rad_olokats_ynu станцій / B.T. Kononov, N.M. Kuravska, Science i tekhn_ka Pov_tryanikh Sil Ukraşni. 2016. VIP. 1 (22). Page 88 – 90.
9. Kononov B.T. Diferents_aln_rivnyannya perekh_dnyu процесів at високовольтній трифазній електричній мережі / B.T. Kononov, A.O. Musharov, A.O. Nechaus / Zb_rnik naukovy праць HNUPS. VIP. 1 (22), 2016. Page 114 – 117.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,
 Національний технічний університет "ХПІ", Харків
 Received (Надійшла) 15.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.10.2018

Анализ способов регулирования напряжения в электрических сетях систем электроснабжения военных объектов

Б. Т. Кононов, О. А. Кононова, Н. М. Куравська

В статье рассматриваются способы регулирования напряжения в электрических сетях, основанные на изменении параметров сети, изменении реактивной мощности, использовании регулируемых силовых трансформаторов, в которых возможно изменять количество ветки их обмоток и перераспределять магнитный поток и изменять дополнительные эдс и угол их включения. В электрической сети можно осуществлять как централизованное (общее), так и децентрализованное (местное) регулирования напряжения. Общее регулирование напряжения осуществляется в центрах питания и приводит к изменению напряжения во всей электрической сети и может быть использовано для групп потребителей электрической энергии, находящихся в примерно одинаковых условиях и имеют совпадая по времени графики нагрузок. Местное регулирование напряжения используется тогда, когда электрическая сеть имеет много линий электропередачи, которые имеют значительную длину и существенно различаются графиками нагрузок и режимов работы потребителей электрической энергии. Как правило, местное регулирование напряжения используется в случаях обеспечения питания электрической энергией потребителей первой категории, к которым следует отнести потребителей военных объектов.

Ключевые слова: регулирование напряжения в электрической сети, изменение параметров электрической сети, изменение реактивной мощности, изменение количества ветки обмоток трансформатора, перераспределение магнитного потока, дополнительная электродвижущих сил, угол сдвига по фазе электродвижущих сил.

Analysis methods of voltage regulation in electric networks of power systems of military installations

B. Kononov, O. Kononova, N. Kuravska

In the article discusses the methods of voltage regulation in electrical networks based on changing network parameters, changing reactive power, using adjustable power transformers, in which it is possible to change the number of branches of their windings and redistribute the magnetic flux and change the additional emf and the angle of their inclusion. In the electrical network can be carried out as a centralized (general), and decentralized (local) voltage control. The total voltage regulation is carried out in the power centers and leads to a change in voltage throughout the entire electrical network and can be used for groups of electrical energy consumers that are in approximately the same conditions and have coinciding load diagrams. Local voltage regulation is used when the electrical network has many power lines, which are of considerable length and significantly differ in the load schedules and modes of operation of consumers of electrical energy. As a rule, local voltage regulation is used in cases of supplying electrical energy to consumers of the first category, which should include consumers of military facilities.

Keywords: voltage regulation in the electrical network, change in the parameters of the electrical network, change in reactive power, change in the number of transformer windings, redistribution of magnetic flux, additional electromotive forces, phase angle of electromotive forces.

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаїрова

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОКРЕМИХ ЦИЛІНДРІВ БАГАТОЦИЛІНДРОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ТА БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

Наводяться рекомендації щодо підвищення достовірності оцінювання загального технічного стану дизельних та бензинових двигунів внутрішнього згорання електроагрегатів військових електростанцій при використанні в якості діагностичного параметри коефіцієнта корисної дії або питомого розходу палива. Основна увага приділяється способам оцінювання технічного стану окремих циліндрів багатоциліндрових двигунів. Пропонується при оцінюванні ступеня нерівномірності роботи циліндрів двигуна в якості діагностичного параметра використовувати ступінь нерівномірності кутової частоти обертання його вала, пояснюється, як слід вимірювати цю величину, вказується, що на достовірність результатів вимірювань впливають крутильні коливання пружної системи «колінчатий вал – циліндро-поршнева група». Наводяться варіанти технічних рішень, використання яких дозволить усунути вплив крутильних коливань на результати діагностування. Визначено, що дієвим засобом врахування крутильних коливань пружної системи «колінчатий вал – циліндро-поршнева група» при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання вала є використання змінної частоти генерування імпульсів, за допомогою яких здійснюють визначення часу повороту вала на зазначений кут, або визначення кута між спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрів за допомогою індикатора моменту вприскування палива в циліндр двигуна та датчика верхньої мертвої точки.

Ключові слова: діагностичні параметри для оцінювання загального технічного стану двигуна та оцінювання технічного стану окремих циліндрів, ступінь нерівномірності частоти обертання вала, крутильні коливання та їх вплив на результати визначення ступеня нерівномірності роботи окремих циліндрів.

Вступ

Постановка проблеми. Забезпечення безвідмовності автономних та резервних джерел електричної енергії, які працюють в системах електропостачання комплексів озброєння і військової техніки, досягається своєчасним проведенням регламенту і ремонту їх окремих вузлів та систем. В теперішній час, як правило, періодичність виконання регламентних робіт і їх обсяг визначаються статистичними даними щодо зниження працездатності тих чи інших типів дизельних або бензинових агрегатів. Зазначений підхід до проведення регламенту не враховує дійсний технічний стан агрегату, призводить до зайвих матеріальних і часових втрат, знижує надійність військових електростанцій, оскільки не виключає їх несподіваної відмови.

Ступінь достовірності визначення дійсного технічного стану військової електростанції залежить від того як повно та чи інші контролюємі параметри відображають фактичний стан об'єкту контролю. Кількість таких параметрів повинна бути достатньою для визначення фактичного технічного стану військового електроагрегата, а власне діагностичні параметри повинні давати відповідь щодо ефективності процесів перетворення енергії, якості виробляємої електричної енергії й стану механічно спряжених вузлів та деталей. З'ясувати, які параметри слід віднести до діагностичних параметрів можливо, якщо представити військовий електроагрегат як об'єкт діагностики в вигляді деякої складної системи, яка складається з послідовно та паралельно з'єднаних ланок. До таких ланок слід віднести регулятор частоти обертання, систему паливоподачі, циліндро – поршкову групу, яка складається з і-циліндрів, з'єднаних паралельно, колінчатий вал, синхронний генератор з системою

збудження. Між окремими послідовно з'єднаними ланками можливо встановити функціональні зв'язки між їх вхідними та вихідними параметрами, наприклад, для системи паливоподачі залежність

$$F_1 = f(n, g_{ЦП}), \quad (1)$$

де n – частота обертання вала; $g_{ЦП}$ – циклова подача палива в і-му циліндрі.

Для циліндро-поршкової групи, колінчатого вала та генератора слід встановити такі залежності

$$F_2 = f(g_{ЦП}, N_i); \quad (2)$$

$$F_3 = f(N_i, N_m); \quad (3)$$

$$F_4 = f(N_m, P_a), \quad (4)$$

де N_i – індикаторна потужність і-го циліндра; N_m – механічна потужність на валу; P_a – активна потужність на виході генератора.

Узагальнюючими параметрами, які дозволяють здійснити оцінювання вдосконаленості процесу перетворення енергії є часові витрати палива G_n (вхідний параметр) та активна потужність P_a (вихідний параметр). Таким чином, в якості узагальнюючого діагностичного параметра, за допомогою якого можливо здійснювати оцінювання загального технічного стану військового агрегата можливо використовувати коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P_a}{H_n G_n}, \quad (5)$$

де H_n – теплотворна властивість палива.

В якості діагностичного параметру для оцінювання загального технічного стану також можливо використовувати питомі втрати палива g , які визначаються при постійних значеннях виробляємої напруги $U = \text{const}$ і її частоти $f = \text{const}$.

Наявність паралельних ланок вимагає здійснення окремої оцінки їх технічного стану, як і оцінки технічного стану механічно спряжених деталей й оцінки технічного стану систем двигуна, таких як змащення, охолодження, газорозподілу тощо.

Для оцінювання технічного стану механічно спряжених деталей можливо використовувати віброакустичні методи або методи, засновані на визначенні змінення маси Δm чи геометричних розмірів $\Delta \ell$ діагностуємих деталей. Крім того, часто використовують методи, засновані на виявленні в рідині, що змащує, металевих частинок, які вказують на підвищений знос тих чи інших вузлів електроагрегатів. Віброакустичні методи діагностики базуються на проведенні спектрального аналізу пружних коливань, що виникають при взаємодії спряжених деталей в момент зміни напрямку їх руху. При цьому при зміні частоти віброакустичного сигналу визначають джерело сигналу (вузол, який зношується), а по потужності сигналу (інтенсивності) визначають ступінь зносу вузла. Стан окремих систем електроагрегата оцінюють, використовуючи такі параметри як тиск, температура та витрати речовин, які використовуються в цих системах, а саме в системах охолодження, змащення, підготовки палива. Стан систем підготовки повітря та газовихлопу оцінюють по механічному забрудненню фільтруючих елементів та визначенню продуктів неповного згоряння палива (визначенню таких величин, як CO, S) в системі газовихлопу. Стан системи газорозподілу, частіше за все, визначають, використовуючи віброакустичні методи. Технічний стан генератора звичайно визначають шляхом вимірювання величини опору ізоляції його струмоведучих частин відносно корпусу, стан його механічно спряжених деталей визначають таким же способом як і стан таких же деталей власне привідного двигуна.

При визначенні технічного складу паралельно з'єднаних ланок доцільно порівнювати показники їх роботи. При цьому найбільш складно здійснювати оцінювання технічного стану циліндро-поршневої групи, де для оцінювання, частіше за все, використовують ступінь нерівномірності розподілу навантаження між окремими циліндрами

$$\delta_i = \frac{x_i - x_{cp}}{x_{cp}}, \quad (6)$$

де x_i – параметр робочого процесу в i -му циліндрі; x_{cp} - середнє значення параметра.

До параметрів, які можливо використовувати для оцінювання якості протікання робочих процесів в циліндрі слід віднести циліндрові індикаторні потужності N_i , середній індикарний тиск P_i , максимальний тиск в процесі стискування P_{max} і максималь-

ний тиск в процесі згоряння P_{maxz} , середній інтегральний тиск P_t , температура відпрацювавших газів T_{zi} , миттєве значення частоти обертання валу n_i , що відповідає такту робочого ходу в i -му циліндрі.

Використання такого параметра як циліндрова індикаторна потужність N_i дозволяє здійснювати пряме оцінювання технічного стану окремих циліндрів двигуна. Решта параметрів використовуються для непрямих оцінок технічного стану циліндрів двигуна.

Суттєвою проблемою при оцінюванні технічного стану окремих циліндрів з використанням зазначених параметрів є проблема достовірності результатів вимірювань. Так, при використанні такого параметра як величина індикаторної потужності N_i необхідно зняти індикаторну діаграму, здійснити її обробку та використовувати при цьому для вимірювання середнього індикаторного тиску пристрій, який повинен містити у своєму складі перетворювач тиску і положення поршня з координат « тиск P – час t » в координати « тиск P - об'єм V ». Точність вимірювання залежить від точності прив'язки індикаторної діаграми до верхньої мертвої точки в контролюємому циліндрі двигуна. При використанні в якості діагностичних параметрів значень тиску або температури на результати вимірювань суттєво впливає місце встановлення відповідних датчиків тиску і температури. Певні труднощі властиві також методу оцінювання ступеня нерівномірності роботи циліндрів, заснованому на визначенні миттєвих значень частоти обертання валу n_i , що відповідають такту робочого ходу в i -му циліндрі двигуна. Ці труднощі, в першу чергу, пов'язані зі впливом на результат вимірювань крутильних коливань, які виникають при роботі двигуна в його валопроводі.

Аналіз публікацій. Питанням, пов'язаним з підвищенням достовірності результатів визначення як загальних, так і часткових діагностичних параметрів присвячені роботи [1-6].

Так, в [1] при використанні в якості загального діагностичного параметра коефіцієнта корисної дії η або питомих витрат палива g пропонується враховувати вплив атмосферних умов, а саме атмосферного тиску, температури навколишнього середовища і відносної вологості повітря. Це потрібно здійснювати шляхом приведення результатів визначення індикаторної потужності N_i до нормальних атмосферних умов. Крім того, при визначенні потужності механічних втрат пропонується проводити синхронізацію електроагрегата з мережею, а потім виключати подачу палива в привідний двигун, переводячи тим самим генератор в режим синхронного електричного двигуна. Виконання зазначених операцій дає підставу стверджувати, що потужність, яка споживається електричним генератором, працюючим як двигун, дорівнює потужності механічних втрат. В [2] для визначення потужності механічних втрат пропонується визначати час зупинки електроагрегата після виключення подачі

палива. В [7] при визначенні потужності механічних втрат пропонується знаходити рішення диференціального рівняння руху валу двигуна, оскільки, якщо вважати, що механічні втрати, тобто момент опору є постійною величиною і постійною величиною є момент інерції, то визначення часу зупинки дозволить знайти потужність механічних втрат N_m .

В [3-6] наводяться рекомендації, використання яких дозволить підвищити достовірність результатів вимірювання таких діагностичних параметрів як тиск газів P_2 та їх температури T_2 . В [7] вказується, що більш точний результат діагностування технічного стану окремих циліндрів може бути отриманий в випадку, коли в якості діагностичного параметру використовувати ступінь нерівномірності частоти обертання валу δ , визначаємо як відношення різниці між максимальним ω_{max} і мінімальним ω_{min} значенням кутової частоти обертання до середнього значення ω_c кутової частоти обертання, тобто

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_c}. \quad (7)$$

Разом з тим, в [7] вказано застереження про те, що при користуванні цим показником обов'язково слід враховувати крутильні коливання валу, котрі викликають неоднозначність результатів визначення кутів повороту валу. При цьому в [7] та і в інших роботах по розглядаємії тематиці не вказано як саме слід враховувати вплив крутильних коливань валу двигуна. Таким чином, зрозуміло, що підвищити достовірність результатів оцінювання технічного стану окремих циліндрів багатоциліндрового дизельного або бензинового двигуна можливо шляхом уточнення результатів визначення ступеня нерівномірності частоти обертання валу, враховуючи при цьому коливання пружної системи, що утворена колінчатим валом і циліндро-поршневою групою, в якій крім обертового руху є поступовий рух

Основна частина

При використанні непрямого методу оцінювання ступеня нерівномірності роботи циліндрів багатоциліндрового дизельного або бензинового двигуна шляхом визначення ступеня нерівномірності обертання його вала можливо вимірювати прискорення вала в обмеженому діапазоні кутів його повороту, вимірювати прискорення вала при його прокручуванні й в режимах зміни частоти обертання (зростання частоти обертання валу або її зменшення при гальмуванні). Результат може бути досягнутий при вимірюванні часу і шляху розгону в діапазоні заданих частот обертання або визначенням поточного значення кутової частоти обертання й різниці між максимальним і мінімальним значеннями кутової частоти та встановленням допустимої граници цієї різниці. Загальним недоліком перерахованих способів визначення нерівномірності обертання валу є необхідність виконання зазначених вимірювань в спеціально організованих режимах роботи елект-

роагрегатів, що не завжди можливо в умовах їх експлуатації в системах електропостачання комплексів озброєння і військової техніки [8-9].

Більш зручніше проводити діагностування електроагрегатів в звичайних експлуатаційних режимах їх роботи під навантаженням. Авторами в [10] запропонований спосіб вимірювання ступеня нерівномірності частоти обертання валу, заснований на вимірюванні тривалості відрізків часу повороту кулічатого валу на заданий кут, що дорівнює куту між черговими спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрах двигуна, враховуючи при цьому можливість зміни кутової частоти обертання валу, тобто враховуючи його прискорення. Оскільки значення миттєвої кутової частоти ковзання, які відповідають робочому руху поршня в тому чи іншому циліндрі, неоднакові в зв'язку з тим, що потужності, які розвиваються циліндрами, неоднакові, оскільки час повороту вала t_i на кут, що дорівнює куту між спалахами в сусідніх циліндрах $\phi_{cнл}$, буде неоднаковим, тобто

$$t_i = \frac{\phi_{cнл}}{\omega_i}. \quad (8)$$

Якщо вимірювати час t_i шляхом підрахунку кількості імпульсів n_i , що надходять за час t_i з виходу генератора імпульсів, частота якого f_2 стабільна, то величина n_i буде дорівнювати

$$n_i = \frac{t_i}{T_2} = \frac{\phi_{cнл} f_2}{\omega_i}, \quad (9)$$

де T_2 – період слідування імпульсів з виходу генератора імпульсів.

При порівнянні величин n_i та n_{i+1} в відповідності до порядку роботи циліндрів визначається величина відносного ступеня нерівномірності частоти обертання валу $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = n_i - n_{i+1} = \frac{\phi_{cнл} f_2 (\omega_{i+1} - \omega_i)}{\omega_{i+1} - \omega_i}. \quad (10)$$

Запропонований спосіб визначення ступеня нерівномірності частоти обертання валу може бути використаний в випадку, коли вимірювання виконують при послідовному відключенні одного з циліндрів двигуна.

Зазначене вимірювання виконують для одного виключеного циліндра і решти працюючих від моменту часу, що відповідає положенню колінчатого вала в верхній мертвій точці в такту стискування на кутовому інтервалі, який дорівнює куту між черговими спалахами.

Потім знаходять величину збільшення тривалості цикла при виключеному циліндрі у порівнянні з середньою тривалістю робочого циклу при всіх включених циліндрах.

По результатах порівняння можна зробити висновки щодо технічного стану циліндрів та встановити, що циліндр є несправним у випадку, коли три-

валість циклу збільшилась на час, який менше середньої тривалості циклу t_{cp} , зменшеної в

$$(i-1)(1+\delta_{don}) \text{ раз,}$$

де i – кількість циліндрів; δ_{don} – ступінь нерівномірності в відносних одиницях, яка вважається допустимою для даного типу двигуна.

Вибір величини

$$\frac{t_{cp}}{(i-1)(1+\delta_{don})}$$

в якості міри для оцінювання технічного стану двигуна пояснюється наступними міркуваннями. У випадку, коли всі циліндри знаходяться в працездатному стані і їх внесок в роботу двигуна однаковий, тривалість t_I цикла в циліндрі при одному виключеному циліндрі визначається таким чином

$$t_I = \frac{i}{i-1} t_{cp}, \quad (11)$$

а збільшення тривалості циклу Δt_i визначається як

$$\Delta t_i = t_{Ii} - t_{cp} = \frac{t_{cp}}{i-1}. \quad (12)$$

Діючи державні стандарти допускають можливість нерівномірності роботи окремих циліндрів двигуна, що дає підстави внести в співвідношення (12) поправку, яка враховує допустиму ступінь нерівномірності δ_{don} , і вважати, що в випадку коли

$$\Delta t_i < \frac{t_{cp}}{(i-1)(1+\delta_{don})}. \quad (13)$$

i -циліндр розвиває недопустимо малу потужність та його слід вважати несправним.

Суттєвим недоліком розглянутих способів визначення ступеня нерівномірності частоти обертання валу є низька достовірність результатів вимірювання часу повороту валу на кут, що дорівнює куту між спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрах двигуна. Це пов'язано з тим, що для виконання вимірювань пристрої діагностики обладнують датчиками положення колінчатого вала [11-12], на роботу яких впливають крутильні коливання, які виникають в пружній системі « колінчатий вал – циліндро-поршнева група ». В результаті в процесі вимірювань відбувається вимірювання не часу повороту валу на кут ϕ_{enl} між спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрів, а час повороту валу на кут

$$\phi_{enl} \pm \Delta\phi,$$

де $\Delta\phi$ - кут закручування валу. Не врахування крутильних коливань знижує достовірність оцінки технічного стану окремих циліндрів дизельних та бензинових двигунів. Для подолання цього недоліку в [10] пропонується здійснювати вимірювання часу повороту валу на зазначений кут зі змінним масштабом часу, використовуючи для цього керуемий генератор імпульсів,

частота слідування імпульсів на виході якого залежить від значення керуючої напруги, яка подається на вхід керуемого генератора імпульсів і визначається поточним значенням кута закручування $\Delta\phi$, який вимірюється датчиком крутильних коливань [13-17]. При цьому для забезпечення вимагаємої роботи пристрою діагностики пропонується використовувати в його складі систему фазового автоматичного підстроювання частоти, яка складається з фазового детектора, фільтра нижніх частот та керуемого генератора імпульсів. Фазовий детектор [18-19] пропонується виконати на базі асинхронного RS-тригера, на S-вхід якого подаються вихідні сигнали формувача імпульсів. Імпульсна послідовність, що слідує з виходу формувала імпульсів з частотою ω_I , визначається вимірювальним перетворювачем положення валу двигуна. Часові інтервали між імпульсами при нерівномірності роботи циліндрів двигуна є неоднаковими. На R-вхід RS-тригера поступають сигнали з виходу керуемого генератора імпульсів, частота ω_0 яких, при відсутності керуючого сигналу з фільтра низьких частот, є свідомо меншою номінальної частоти обертання двигуна $\omega_{ном}$.

Тривалість сигналу високого рівня на прямому виході RS – тригера, визначається фазовим зсувом між імпульсними послідовностями з виходу формувала імпульсів та з виходу керуемого генератора імпульсів, й залежність від початкової різниці частот ω_I та ω_0 .

Напруга з виходу RS- тригера через фільтр нижніх частот подається до входу керуемого генератора імпульсів. При цьому відбувається автоматичне підстроювання частоти ω_0 керуемого генератора імпульсів до частоти ω_I . Імпульсна послідовність з виходу керуемого генератора імпульсів зсунута по фазі в бік відставання на кут β , який пропорційний початковій різниці частот ω_I та ω_0 . В свою чергу, величина кута зсуву фаз β пропорційна напрузі, яка необхідна для підстроювання частоти керуемого генератора імпульсів ω_0 до значення ω_I . Величина кута зсуву фаз β використовується в подальшому для визначення нерівномірності частоти обертання валу двигуна. Для цього на інтервалі часу, що відповідає кутовому відрізьку β , підраховується кількість імпульсів n_i , які подаються з виходу керуемого генератора імпульсів високої частоти f_2 , частота якого залежить від крутильних коливань. Підрахунок кількості імпульсів n_i здійснюється в реверсивному лічильнику імпульсів. На кутовому відрізьку β_{i+1} відбувається зчитування кількості імпульсів n_{i+1} , яке записано в реверсивному лічильнику імпульсів. Кількість імпульсів, що залишилась в реверсивному лічильнику імпульсів пропорційна величині нерівномірності частоти обертання валу δ .

Більш вдалий варіант врахування впливу крутильних коливань на результат визначення ступеня

нерівномірності частоти обертання вала двигуна запропонований в [20]. В цьому пристрої для врахування впливу крутильних коливань на визначення моментів початку та закінчення процесів вимірювання відрізків часу, які визначають такт робочого ходу (розширення) в тому чи іншому циліндрі двигуна, крім датчика положення колінчатого вала, формувача імпульсів, RS-тригера, фільтра нижніх частот, керуемого генератора імпульсів, генератора імпульсів високої частоти й реверсивних лічильників імпульсів, пропонується ввести датчик циклів, в якості якого використовується індикатор моменту вприскування палива в перший, за порядком роботи, циліндр двигуна та датчики верхньої мертвої точки поршня для кожного з циліндрів двигуна. Введені додаткові елементи дозволяють здійснювати корекцію результатів підрахунку кількості імпульсів n_i за час повороту вала на кут, що визначається при зміні положення колінчатого вала.

У випадку, коли сигнал на виході датчика верхньої мертвої точки поршня з'являється пізніше ніж сигнал на виході датчика положення вала двигуна у реверсивному лічильнику імпульсів здійснюється додавання до кількості імпульсів, записаних у цьому лічильнику на кутовому інтервалі, що визначається часом між появою сигналу від датчика положення колінчатого вала і від датчика верхньої мертвої точки в першому циліндрі двигуна.

У випадку, коли сигнал на виході датчика верхньої мертвої точки поршня з'являється раніше ніж сигнал на виході датчика положення колінчатого вала здійснюється віднімання в реверсивному лічильнику імпульсів кількості імпульсів, яка визначається часом між появою сигналу від датчика верхньої мертвої точки поршня в першому за порядком роботи циліндрі та появою сигналу від датчика положення колінчатого вала.

Висновки

1. При оцінюванні технічного стану дизельних та бензинових двигунів електроагрегатів військових електростанцій їх загальний технічний стан необхідно визначати, використовуючи для цього в якості діагностичного параметру коефіцієнт корисної дії електроагрегата або питомі втрати палива.

2. Для підвищення достовірності результатів діагностування загального технічного стану пропонується враховувати вплив на результати вимірювань атмосферних умов та механічні втрати, способи визначення яких наводяться.

3. При оцінюванні технічного стану окремих циліндрів дизельного або бензинового двигуна слід використовувати в якості діагностичного показника ступінь нерівномірності частоти обертання його вала.

4. Для підвищення достовірності результатів технічного діагностування дизельних та бензинових двигунів військових електроагрегатів шляхом визначення ступеня нерівномірності частоти обертання його вала обов'язково слід враховувати вплив крутильних коливань на результати вимірювань.

5. Дієвим засобом врахування крутильних коливань пружної системи «колінчатий вал – циліндро-поршнева група» при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання вала є використання змінної частоти генерування імпульсів, за допомогою яких здійснюють визначення часу повороту вала на зазначений кут, або визначення кута між спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрів за допомогою індикатора моменту вприскування палива в циліндр двигуна та датчика верхньої мертвої точки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Диагностика и техническое обслуживание машин.: учебник для студентов высших учебных заведений / [Ананьин А.Д., Михлин В.М., Габитов И.И. и др.].—М.: Издательский центр "Академия", 2008.— 432 с.
2. Губертус Гюнтер Диагностика дизельных двигателей. Серия "Автомеханик". Пер. с нем. Ю.Г. Грудского.—М.: ЗАО "КЖИ За рулем", 2004.— 176 с. ил.
3. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы.: учебн. пособие/ В. Д. Мигаль.— Х.: "Майдан", 2014.— 516 с.
4. Чарльз Уайт. Диагностика двигателя. Коды неисправностей: Руководство. Издательство: Алфамер Паблшинг ЗАО, 2003.—256 с.
5. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 239 с. – (Надежность и качество. Межиздат. сер.).
6. Мислович М. В. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів / М. В. Мислович, Р. К. Сисак // Техн. електродинаміка. – 2015. – № 1. – С. 78–85. - Бібліогр.: 9 назв.
7. Кононов Б.Т. Вибір показника для оцінювання технічного стану дизель-генератора / Б.Т. Кононов, О.І. Бондаренко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 3(52). – С. 113–117.
8. Техническая диагностика / И. М. Синдеев [и др.] ; под общ. ред В. В. Клюева, И. П. Пархоменко. – М. : Машиностроение, 1987. – 351 с.
9. Поляков А. П. Обгрунтування критеріїв оцінки впливу удосконаленої системи діагностування на ефективність використання транспортних засобів / А. П. Поляков, О. З. Горбай, М. Ю. Миронюк // Вісн. машинобуд. та транспорту. – 2016. – № 2. – С. 77–81.
10. АС СССР №1469384 Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания./ Н.И Григоров, М.И. Загороднев, Б.Т.Кононов, В.З. Ройк, Б.Ф. Самойленко, К.Г.Сергеев, Ю.И.Стрелков. Заявлено 20.08.1987, опубл. 30.03.1989, бюл.№12.

11. Мигаль В.Д. Системы диагностирования автомобиля: учебник / В.Д. Мигаль. —Х.: Майдан, 2017.— 592 с.
12. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобіля: навч. Посібник / О.Ф.Дашенко, В.Г. Максимов, О.Д.Ніцкевич та ін. За ред. М.Б.Копитчука. Одеса: Наука і техніка, 2012.—392 с.
13. Серридж М. Пьезоэлектрические акселерометры и преусилители: справочник по теории эксплуатации / М. Серридж, Т. Р. Лихт.— Дания. Брюль и Кьер, 1987.—186 с.
14. Панфилов Д.Н. Датчики фирмы Motorola/ Д.Н.Панфилов, В.С. Иванов.—М.: ДОДЭКА,2000.—96 с.
15. Джексон Р.Г. Новейшие датчики/ Р.Г.Джексон.— М.: Техносфера,2007.—384 с.
16. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден.—М.: Техносфера, 2005.—592 с.
17. Литвиненко В.В. Автомобильные датчики, реле и переключатели / В.В. Литвиненко, А.П. Майструк.—М.: ЗАО КЖИ “За рулем”, 2004.—176 с.
18. Смирнов Ю.А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, А.В. Мухаванов.— СПб.: Изд-во “Лань”, 2012.—612 с.
19. Сашко В.А. Електронне та електричне обладнання автомобілів / В.А. Сашко.—К.: Каравела, 2007.—367 с.
20. Патент України на корисну модель № 126897. Пристрій для оцінювання нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання/ Б.Т. Кононов, О.А.Кононова, А.О.Нечаус, О.О. Ручка, В.М. Уваров. Заявлено 01.02.2018, опубл. 10.07.2018, бюл.№13.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,
Національний технічний університет “ХПІ”, Харків

Received 12.07.2018

Accepted for publication 12.09.2018

Пути повышения достоверности оценивания технического состояния отдельных цилиндров многоцилиндровых дизельных и бензиновых двигателей

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаирова

Приводятся рекомендации насчет повышения достоверности оценивания общего технического состояния дизельных и бензиновых двигателей внутреннего сгорания электроагрегатов военных электростанций при использовании в качестве диагностического параметра коэффициента полезного действия или удельного расхода топлива. Основное внимание уделяется способам оценивания технического состояния отдельных цилиндров многоцилиндровых двигателей. Предлагается при оценивании степени неравномерности работы цилиндров двигателя в качестве диагностического параметра использовать степень неравномерности угловой частоты вращения его вала. Объясняется, как следует измерять эту величину, указывается что на достоверность результатов измерений влияют крутильные колебания упругой системы «коленчатый вал - цилиндро-поршневая группа». Приводятся варианты технических решений, использование которых позволит устранить влияние крутильных колебаний на результаты диагностирования. Определено, что действенным средством учета крутильных колебаний упругой системы «коленчатый вал - цилиндро-поршневая группа» при определении степени неравномерности частоты вращения вала является использование переменной частоты генерации импульсов, с помощью которых осуществляют определение времени поворота вала на указанный угол, или определение угла между вспышками в соседних с порядком работы цилиндров с помощью индикатора момента впрыска топлива в цилиндр двигателя и датчика верхней мертвой точки.

Ключевые слова: диагностические параметры для оценивания общего технического состояния двигателя и оценивания технического состояния отдельных цилиндров, степень неравномерности частоты вращения вала, крутильные колебания и их влияние на результаты определения степени неравномерности работы отдельных цилиндров.

Ways of increase in reliability of estimation of technical condition of separate cylinders of multicylinder diesel and petrol engines

B. Kononov, Yu. Musairova

Studying subject in article is possible ways of increase in reliability of estimation of technical condition of separate cylinders of multicylinder diesel and petrol engines. Degree of reliability of determination of the valid technical condition of military power plant depends on that as fully controlled parameters reflect actual state of a subject to control. Recommendations about increase in reliability of estimation of the general technical condition of diesel and petrol internal combustion engines of electrical units of military power plants when using as diagnostic parameters of efficiency or specific fuel consumption are provided. The main attention is paid to ways of estimation of technical condition of separate cylinders of multicylinder engines. It is offered at estimation of degree of unevenness of operation of cylinders of the engine as diagnostic parameter to use degree of unevenness of angular frequency of rotation of his shaft. Speaks properly to measure this size, it is specified that the reliability of results of measurements is influenced by torsional fluctuations of the elastic system "cranked shaft-cylinder-piston group". Also for increase in reliability of results of diagnosing it is offered to consider influence of atmospheric conditions, such as atmospheric pressure, ambient temperature and relative humidity of air and also mechanical losses. Options of technical solutions which use will allow to eliminate influence of torsional fluctuations on results of diagnosing are given in article. It is determined that the effective means of taking into account torsional oscillations of the elastic system "crankshaft - cylinder-piston group" in determining the degree of unevenness of the rotational speed of a shaft is the use of a variable pulse generating frequency, by which they determine the rotational time of a shaft at a given angle, or determine the angle between flashes in adjacent cylinders with the help of an indicator of the moment of fuel injection into the engine cylinder and the sensor of the upper dead center.

Keywords: diagnostic parameters for estimation of the general technical condition of the engine and estimation of technical condition of separate cylinders, degree of unevenness of frequency of rotation of a shaft, torsional fluctuations and their influence on results of definition of degree of unevenness of operation of separate cylinders.

Л. Г. Корнієнко¹, В. Д. Карлов¹, А. М. Артеменко²¹ Харківській національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна² Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

ЗОНИ ВИЯВЛЕННЯ РЛС МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ З ВРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ І ВИКОРИСТАННЯ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ

Предметом дослідження є методика розрахунку зон виявлення РЛС метрового діапазону, на формування якої істотно впливає Земля. Метою роботи є розробка та аналіз математичної моделі зони виявлення, яка узагальнює відому модель на випадок, коли антена РЛС не має фазового центру або він не збігається з початком обраної системи координат для розрахунку діаграми спрямованості антени. Модель базується на методі відбиттєвої трактовки і враховує особливості побудови антени. Випромінюючі елементи антени у вигляді хвильових каналів розташовані на двох поверхнях, що дозволяє підбором висот поверхів і їх збудження сигналами з визначеними амплітудами і початковими фазами зменшити глибину провалів в діаграмі спрямованості в певних кутових секторах. У таких антенах звичай відсутній фазовий центр, тому в математичній моделі зони виявлення враховані не тільки амплітудні, а й фазові характеристики антени. Це дозволило врахувати відмінності фаз полів у напрямках на ціль і точку відображення й уточнити результат інтерференції прямих і відбитих хвиль. Проведено розрахунки зон виявлення, що ілюструють вплив на їх параметри електричних властивостей землі, висот підйому антени і її нахилу відносно горизонту. Математична модель реалізована за допомогою доступного і простого комп'ютерного математичного пакета Mathcad. Комп'ютерна модель дозволяє при змінах конструкції антени або електричних параметрів Землі оперативно оцінювати зони виявлення та можливість їх управління для поліпшення умов виявлення цілей під певними кутами місця.

Ключові слова: зона виявлення, метод відбиттєвої трактовки, пряма і відбита хвилі, електричні параметри земної поверхні, коефіцієнт відбиття, висота підйому приймально-передавальної антени, амплітудна і фазова діаграми, інтерференційний множник, максимальна дальність виявлення.

Вступ

Для ефективного виконання бойових задач по захисту від засобів повітряного нападу важливо мати інформацію за параметри зони виявлення РЛС, та способи їх зміни для адаптації до повітряної обстановки. Така інформація також важлива при розгортанні РЛС на нових позиціях. В умовах обмежених можливостей по вимірюванню діаграми спрямованості антени (наприклад методом обльоту) з врахуванням впливу на неї земної поверхні, стає актуальним пошук інших способів оцінки зон виявлення. Привабливим є метод математичного моделювання, який дозволяє оперативно здійснювати пошук раціональних (оптимальних) рішень при застосуванні комп'ютерних програм. Загальні теоретичні дані для математичного моделювання зон виявлення відомі, наприклад в [1, 2, 3]. Однак, внаслідок певних особливостей побудови антен РЛС метрового діапазону [4, 5] вони, як показують дослідження, потребують доповнення і конкретизації, зокрема застосування в опису електромагнітних процесів, окрім амплітудних, ще й фазових характеристик антени.

Метою роботи є розробка математичної моделі зони виявлення РЛС метрового діапазону з врахуванням особливостей побудови і способів використання антени та аналіз параметрів зон виявлення і можливостей їх регулювання на позиціях з різним типом земної поверхні.

Основна увага приділяється аналізу математичних співвідношень, області їх застосування та відповідності реальним даним.

Виклад основного матеріалу

Математична модель зони виявлення. Максимальна дальність виявлення D цілі (з ефективною

відбиттєвою поверхнею $\sigma_{\text{ц}}$) РЛС з граничною чутливістю приймача $P_{\text{пр.мін}}$, з потужністю випромінювання P антеною із коефіцієнтом спрямованої дії (КСД) $D(\theta, \varphi) = D_m F_A^2(\theta, \varphi)$ на довжині хвилі λ , визначається виразом [1, 2]

$$D = D_e F(\theta, \varphi),$$

$$D_e = \sqrt[4]{[PD_m^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}] / [(4\pi)^3 P_{\text{пр.мін}}]}, \quad (1)$$

де D_m – максимальна дальність виявлення цілі у вільному просторі, $F(\theta, \varphi)$ – амплітудна діаграма спрямованості (ДС) приймально-передавальної антени з врахуванням впливу Землі (θ – кут місця, φ – азимут), D_m – максимальне значення КСД антени, яка у вільному просторі має нормовану амплітуду ДС $F_A(\theta, \varphi)$.

На дальність виявлення РЛС метрового діапазону суттєво впливає Земля, бо частина поля випромінювання антени, що піднята на висоту h_A , відбивається від поверхні Землі і підсумовується з прямою хвилею в точці спостереження, що приводить, в залежності від фазових співвідношень хвиль, до збільшення або зменшення результуючої амплітуди поля. Для гладкої поверхні Землі відбиття можна вважати дзеркальним, для розрахунку поля використовують метод відбиттєвої трактовки [1, 2], у відповідності з яким вираз для ДС в дальній зоні антени та її дзеркального зображення (рис. 1) має в площині кута місця такий вигляд:

$$F(\theta) = F_A(\theta) \times$$

$$\times \sqrt{1 + \Gamma^2 \frac{F_A^2(-\theta)}{F_A^2(\theta)} + 2\Gamma \frac{F_A(-\theta)}{F_A(\theta)} \cos(2kh_A \sin \theta - \beta)}, \quad (2)$$

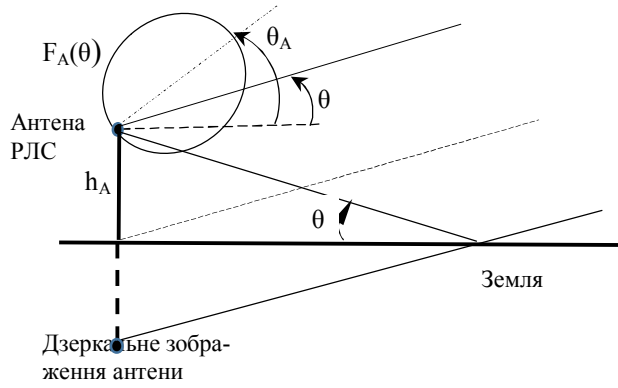


Рис. 1. До методу відбиттєвої трактовки

де $k = 2\pi/\lambda$ - хвильове число вільного простору; $F_A(\theta)$, $F_A(-\theta)$ - значення нормованої амплітудної ДС антени в напрямках на ціль та на точку відбиття відповідно; $\Gamma' = \Gamma e^{j\beta}$ - коефіцієнт відбиття від гладкої поверхні: його модуль Γ та аргумент β , який визначає фазовий зсув між відбитою та падаючою хвилями. Коефіцієнт відбиття залежить від кута θ , поляризації падаючих хвиль та відносної комплексної діелектричної проникності земної поверхні

$$\varepsilon' = \varepsilon - j60\lambda\sigma.$$

Одна і та ж земна поверхня з відносною діелектричною проникністю ε і питомою провідністю σ в залежності від довжини хвилі λ може діяти як провідник ($\varepsilon \ll 60\lambda\sigma$), діелектрик ($\varepsilon \gg 60\lambda\sigma$) або напівпровідник ($\varepsilon \approx 60\lambda\sigma$).

Другий множник в (2) з квадратним коренем визначає модуль інтерференційного множника, який описує результат інтерференції прямої і відбитої хвиль в напрямку кута θ при орієнтації максимуму амплітудної ДС в напрямку кута θ_A .

Антени РЛС виявлення метрового діапазону для отримання потрібної форми зони виявлення будують двоповерховими (двоюрисними) з можливістю механічного повороту у вертикальній площині та з нерівномірним і несинфазним збудженням [4]. При такому збудженні геометричний центр антени (піднятий на висоту h_A) не є фазовим центром, ДС антени у вільному просторі, яка розраховується відносно центру, стає комплексною, і тому вираз (2) для цього випадку стає некоректним, бо він не враховує фазові співвідношення полів випромінювання антени в напрямку на ціль та на точку відбиття [6].

Врахування вказаного ефекту приводить до наступного виразу для максимальної дальності виявлення РЛС

$$D = D_0 F_A(\theta) \times \sqrt{1 + \Gamma^2 \frac{F_A^2(-\theta)}{F_A^2(\theta)} + 2\Gamma \frac{F_A(-\theta)}{F_A(\theta)} \cos(2kh_A \sin \theta - \beta - \zeta)}, \quad (3)$$

де $\zeta = \arg \frac{F_A(-\theta)}{F_A(\theta)}$ - аргумент відношення комплексної ДС антени в напрямках на точку відбиття і на ціль відповідно. Ця величина визначає різницю фаз прямої і відбитої хвиль, яка виникає внаслідок ви-

промінювання антеною хвилі з несферичним фронтом відносно геометричного центру антени.

Будемо розглядати нормовану до дальності D_0 зону виявлення РЛС у координатах: нормована висота над плоскою землею $H(\theta) = (D \sin \theta)/D_0$, нормована горизонтальна дальність $R(\theta) = (D \cos \theta)/D_0$. Це дозволяє абстрагуватися від енергетичних показників РЛС та типу цілі і зосередитися на аналізі впливу параметрів антени та Землі на зону виявлення.

Аналітична модель ДС антени. ДС антени у вертикальній площині формується двоелементною вертикальною антенною решіткою з відстанню між елементами $d = h_B - h_H$, де h_B , h_H - висоти підйому верхнього та нижнього ярусів антени. Елементом є директорна антена з горизонтальним розташуванням вібраторів, для розрахунку ДС якої потрібно використовувати складні чисельні методи, основу яких складає розрахунок розподілу струму в антені методами обчислювальної електродинаміки [7]. Директорна антена за принципом дії аналогічна антенам біжучих хвиль [8], що дозволяє скористатися результатами теорії цих антен для визначення апроксимаційного виразу для ДС директорної антени. Визначено, що функція

$$f_e(\theta) = \left| \frac{\sin \psi}{\psi} \cos(0,7\theta) \right|; \quad (4)$$

$$\psi = \frac{2,7\pi}{\lambda} (1,44 - \cos \theta)$$

з точністю до 10% описує значення основних показників реальної ДС директорної антени РЛС [5] в області головного і першого бічного пелюсток на робочій частоті. Нормована ДС директорної антени наведена на рис.2 (пунктир). Напрямок головного максимуму ДС орієнтований уздовж її осі.

Згідно з теорією антенних решіток [9] нормована комплексна ДС антени у вертикальній площині у місцевій системі координат з початком у геометричному центрі решітки, розташованому на висоті $h_A = 0,5(h_B + h_H)$, визначається добутком ДС елементів решітки (4) на комплексний множник системи

$$f'_N(\theta) = \sum_{n=-1}^1 a_n \exp[j(\phi_n + 0,5nkd \sin \theta)].$$

Отже нормована комплексна ДС антени буде

$$F'_A(\theta) = F_A(\theta) e^{j\Phi_A(\theta)} = f_e(\theta) f'_N(\theta) / f_e(\theta_A) f_N(\theta_A). \quad (5)$$

Амплітудно-фазовий розподіл $a_n \exp(j\phi_n)$ залежить від характеристик дільника потужності між ярусами антени. В РЛС до нижнього ($n = -1$) ярусу підводиться 60% потужності, до верхнього ($n = 1$) - 40% і він збуджується сигналом з випередженням по фазі на $0,5\pi$.

При відстані між ярусами $d = 1,29\lambda$ максимуми множника системи порядку m , напрямки яких визначаються за формулою

$$\sin \theta_{mN} = (\xi / kd) + m\lambda / d,$$

при $\xi = -0,5 \pi$ формуються під кутами $\theta_{0N} = -11,2^\circ$, $\theta_{-1N} = -75,7^\circ$, $\theta_{1N} = 35,6^\circ$.

Графік нормованого множника системи показаний на рис. 2 (штрих).

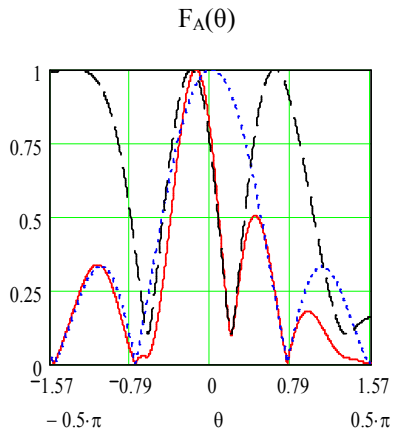


Рис. 2. Спрямовані характеристики антени

У множника системи дифракційні пелюстки мають різну ширину, бо відхилені на різні кути, провали не досягають нуля внаслідок несиметричного амплітудного розподілу. Отже, максимуми ДС елемента решітки та її множника не співпадають, що приводить до певного придушення пелюстків. Нормована амплітудна ДС антени (суцільна крива на рис. 2) несиметрична, максимуми головного і придушених дифракційних пелюсток по напрямкам та значенням змінилися по відношенню до множника системи, дифракційний пелюсток $m = -1$ в бік Землі придушений краще, ніж $m = +1$. Головний максимум ДС орієнтований під кутом $\theta_A = -8,3^\circ$.

На рис.3 наведена в межах головної пелюстки ДС фазова діаграма антени $\Phi_A(\theta)$.

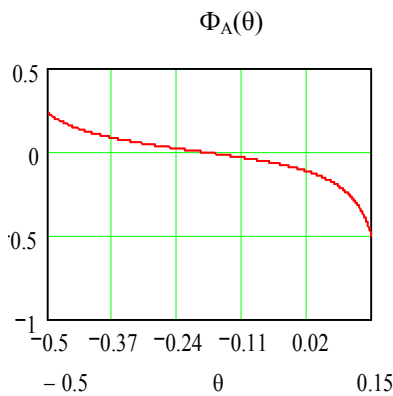


Рис. 3. Фазова характеристика антени

Вона не постійна, як це має місце для сферичного фронту хвилі. Фаза поля випромінювання по обидві сторони від напрямку головного максимуму амплітудної ДС мають різні знак і значення, що змінює різницю фаз прямої і відбитої хвилі в напрямку на ціль і впливає на результат їх інтерференції. Отже, в напрямку на ціль ($\theta > 0$) і на точку відбиття ($\theta < 0$) антена випромінює різні амплітуди і фази поля. Вирази (3), (5) визначають математичну модель зони виявлення.

Аналіз зон виявлення. На рис. 4 наведені зони виявлення РЛС з горизонтально поляризованою антеною в координатах висота H – дальність R , які нормовані до максимальної дальності виявлення D_b у вільному просторі, для двох висот підйому траверси антени на позиції з сухим ґрунтом ($\epsilon=4$, $\sigma=10^{-3}$) – суцільні криві, та морською водою ($\epsilon=80$, $\sigma=4$) – пунктир.

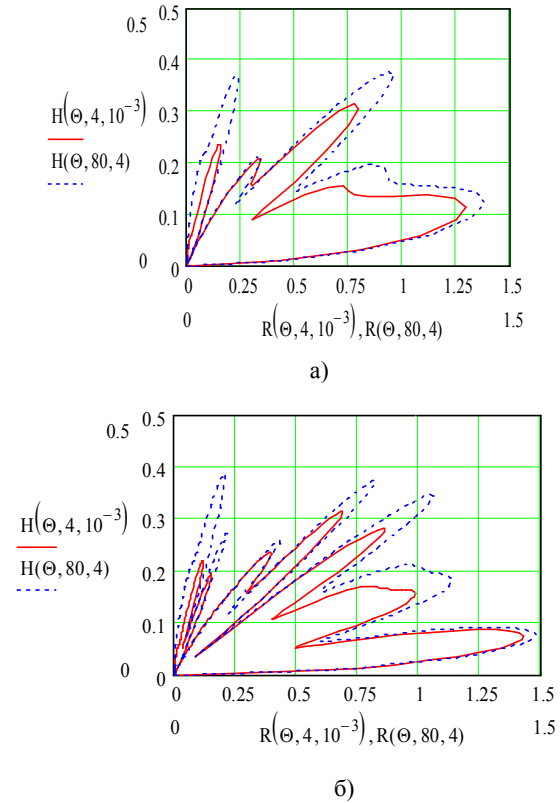


Рис. 4. Нормовані зони виявлення РЛС метрового діапазону: а - $h_A = 2,7\lambda$; б - $h_A = 4,8\lambda$

Зони виявлення доцільно аналізувати до кутів $35 - 40^\circ$, що знаходяться в межах головної пелюстки ДС директорної антени. Наведені графіки мають багатопелюсткову структуру. Кількість пелюстків, напрямки та значення екстремальних випромінювань залежать в першу чергу від висоти антени. Зі збільшенням h_A умови безпровальної проводки цілей погіршуються, однак підвищуються можливості виявлення маловисотних цілей. Так, для $h_A = 2,7\lambda$ нормована стеля безпровальної проводки в межах зони виявлення для сухого ґрунту складає $N_{ст} = 0,09$, нормована максимальна дальність виявлення $R = 1,29$, для $h_A = 4,8\lambda$ – $N_{ст} = 0,04$, $R = 1,43$. Збільшення дальності виявлення на малих висотах виникає внаслідок притискання нижнього пелюстка ДС до Землі (з 5 до 3°). При цьому збільшується коефіцієнт відбиття, а також сумарна амплітуда поля в напрямках $\pm 3^\circ$ на ціль і точку відбиття в порівнянні з напрямками $\pm 5^\circ$ (рис. 2). Більш привабливими для виявлення цілей є позиції РЛС біля моря, яке в метровому діапазоні хвиль наближається до провідника. Покращання основних показників зони виявлення пов'язане зі збільшенням модуля коефіцієнта відбиття, який при горизонтальній поляризації мало

відрізняється від одиниці. Приріст дальності виявлення стає більш примітним зі збільшенням кута θ , де більш значним є приріст (в порівнянні з сухим ґрунтом-діелектриком) коефіцієнта відбиття. Наведені результати по основним параметрам добре узгоджені з параметрами реальних зон виявлення, наведеними в [5].

У процесі бойової роботи виникає необхідність змінювати деякі параметри зони виявлення. Для цього передбачена можливість механічно нахилити антену вверх до $+15^\circ$, або вниз (до Землі) на -5° . Нахил полотна антени на кут θ_e повертає ДС антени без зміни її форми так, що в напрямку на ціль і на точку відбиття її значення змінюються до величин

$$F'_A(\theta - \theta_e), F'_A(-\theta - \theta_e).$$

На рис. 5 показані значення амплітудних ДС антени на ціль і точку відбиття для $\theta_e = 0$ (відповідно суцільна і штрих криві), -5° (суцільна крива і пунктир), $+5^\circ$ (суцільна крива і штрих-пунктир), а на рис. 6 – зони виявлення РЛС для $\theta_e = 0$ (суцільна крива), -5° (штрих), $+5^\circ$ (пунктир) для сухого ґрунту при висоті антени $h_A = 2,7\lambda$.

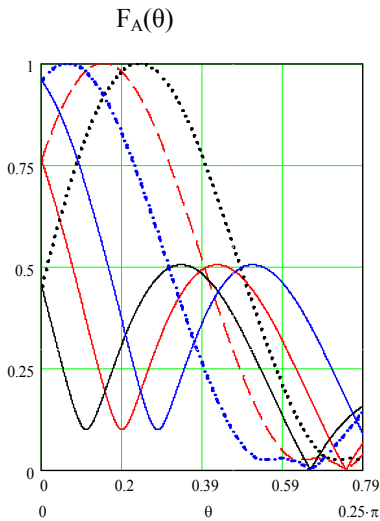


Рис. 5. Значення ДС на ціль і точку відбиття

Поверот антени вверх на 5° збільшує верхню межу зони виявлення по куту місця до 42° , зменшує радіус вирви до значення висоти цілі, покращує умови виявлення цілей під малими кутами місця і верхній межі зони, але при цьому зменшується стеля безпровальної проводки цілі, погіршуються умови виявлення цілі під кутами місця $8...14^\circ$. Збільшення дальності виявлення маловисотних цілей виникає внаслідок того, що при наближенні максимуму ДС до горизонту, збільшуються амплітуди поля випромінювання в напрямках на ціль і точку відбиття, що видно з рис. 5 (штрих-пунктирна сумісно з суцільною криві).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы радиолокации: справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. Том1, гл.2: Расчет дальности действия радиолокационной станции/ Л.Блэйк – М. : Сов. радио,1976.– 456 с.
2. Распространение радиоволн: монография / Черный Ф.Б. – М.: Сов.радио,1972. – 464 с.
3. Barton D. Radar systems analysis and modeling/ David K. Barton// – Boston, MA Artech. House 2004. – 545 p.

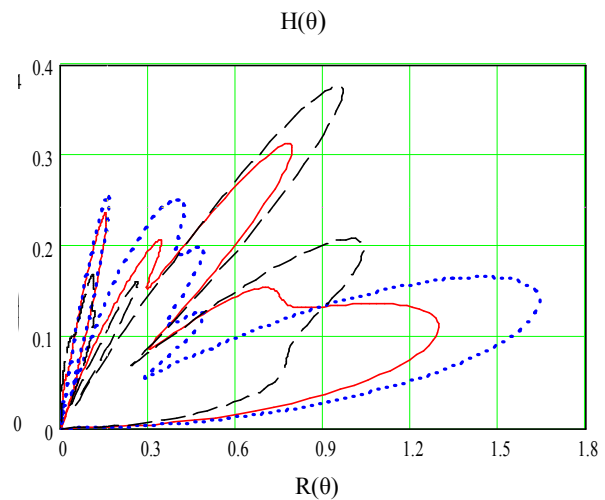


Рис. 6. Зони виявлення при різних кутах нахилу антени

При нахилі антени вниз в напрямку на ціль під малими кутами випромінюється незначна амплітуда поля, тому умови виявлення цілей поліпшуються лише під кутами $8...14^\circ$ та $19...25^\circ$, де амплітуда поля на точку відбиття стає досить значною.

Висновки

Розглянута математична модель зон виявлення РЛС метрового діапазону, розташованих на гладкій поверхні Землі. Антена внаслідок певних особливостей побудови випромінює хвилі с несферичним фронтом відносно початку вибраної системи координат.

Тому запропонована модель, яка, на відміну від відомої, містить інформацію за фазову характеристику антени, що впливає на результат інтерференції прямих і відбитих хвиль.

Проведені розрахунки зон виявлення ілюструють вплив на їх параметри електричних властивостей Землі, висот підйому антени та її нахилу відносно горизонту. Надані фізичні пояснення отриманим результатам. Наведені дані відповідають відомим для окремих випадків результатам. Математична модель просто реалізується за допомогою доступного комп'ютерного математичного пакету Mathcad [10]. Використання комп'ютерної моделі на базі отриманої аналітичної моделі дозволяє, зокрема, при розгортанні РЛС на нових позиціях або при зміні електричних параметрів Землі оперативно оцінювати зони виявлення та можливості їх управління для покращання умов локації цілі під певними кутами місця.

Узагальнення методики визначення зон виявлення на випадки випромінювання антеною несферичного фронту хвилі надає можливість уточнити результати розрахунку приземних зон виявлення [11] та коефіцієнта використання горизонту [12].

4. Мобільна радіолокаційна станція П-18. Будова, принцип дії систем та пристроїв: навчальний посібник/ Тхоржевський В.І., Тхоржевський І.В., Вишневецький В.В., Гахович С.В. та ін. – К. : ТОВ «Чайка-Всесвіт», 2006. – 162 с.
5. Озброєння підрозділів і частин радіотехнічних військ ППО ПС. Оглядова РЛС П-18Р: навчальний посібник для військ. Частина 1: навчальний матеріал / В.І. Ткаченко, Д.А. Гриб, М.Д. Рисаков, С.А. Макаров, В.І. Васишин, В.Г. Карев, О.П. Кулик. – Харківський університет Повітряних Сил. – Харків, 2008 – 389с.
6. Корнієнко Л.Г. До визначення поля системи випромінювачів, піднятих над земною поверхнею / Л.Г. Корнієнко // Системи обробки інформації. – 2018. – №4. – С.37-41
7. Вычислительные методы в электродинамике: монография / под ред. Р. Митры, пер. с англ. Под ред. Э.Л. Бурштейна. – М.: Мир, 1977. – 486с.
8. Антенны: учебное пособие/ Шифрин Я.С. – Х.: ВИРТА, 1976. – 408 с.
9. Антенны и устройства СВЧ: учеб. для радиотехнич. спец. вузов / Сазонов Д.М. – М.: Высш.шк., 1988. – 432 с.
10. Самоучитель Mathcad 11: монография / Кирьянов Д.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560с.
11. Приземные зоны видимости РЛС с учетом влияния сферичности Земли и радиорефракции / Н.А. Арманд, В.А. Андрианов, Б.В. Ракигин и др. – М.: ИРЭ АН СССР, 1977. – 80 с.
12. Климченко В.Й. Особливості розрахунку коефіцієнта використання радіогоризонту в оглядових РЛС метрового діапазону хвиль / В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, І.Л. Єфімов // Озброєння та військова техніка. Науково-технічний журнал. – ЦНДІ ОБТ – 2016. – № 4 (12). – С. 27–31.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л. Ф. Купченко,
Харківський національний університет імені Івана Кожедуба, Харків
Received 18.07.2018
Accepted for publication 19.09.2018

Зоны обнаружения РЛС метрового диапазона с учетом особенностей построения и использования антенной системы

Л. Г. Корниенко, В. Д. Карлов, А. Н. Артеменко

Предметом исследования является методика расчета зон обнаружения РЛС метрового диапазона, на формирование которой существенное влияние оказывает Земля. Целью работы является разработка и анализ математической модели зоны обнаружения, которая обобщает известную модель на случай, когда антенна РЛС не имеет фазового центра или он не совпадает с началом выбранной системы координат для расчета диаграммы направленности антенны. Модель базируется на методе отражательной трактовки и учитывает особенности построения антенны. Излучающие элементы антенны в виде волновых каналов расположены на двух этажах, что позволяет подбором высот этажей и их возбуждения сигналами с определенными амплитудами и начальными фазами уменьшить глубину провалов в диаграмме направленности в определенных угловых секторах. В таких антеннах обычно отсутствует фазовый центр, поэтому в математической модели зоны обнаружения учтены не только амплитудные, но и фазовые характеристики антенны. Это позволило учесть различия фаз полей в направлениях на цель и точку отражения и уточнить результат интерференции прямых и отраженных волн. Проведены расчеты зон обнаружения, иллюстрирующие влияние на их параметры электрических свойств земли, высот подъема антенны и ее наклона относительно горизонта. Математическая модель реализована с помощью доступного и простого компьютерного математического пакета Mathcad. Компьютерная модель позволяет при изменении конструкции антенны или электрических параметров Земли оперативно оценивать зоны обнаружения и возможности их управления для улучшения условий обнаружения целей под определенными углами места.

Ключевые слова: зона обнаружения, метод отражательной трактовки, прямая и отраженная волны, электрические параметры земной поверхности, коэффициент отражения, высота подъема приемно-передающей антенны, амплитудная и фазовая диаграммы, интерференционный множитель, максимальная дальность обнаружения.

Zones detection metric radars with the account of the peculiarities of construction and use of the antenna system

L. Kornienko, V. Karlov, A. Artemenko

The subject of the study is the methodology for calculating the radar detection zones of the meter range, the formation of which is significantly influenced by the Earth. The aim of the work is the development and analysis of the mathematical model of the detection zone, which generalizes the known model to the case when the radar antenna does not have a phase center or it does not coincide with the beginning of the chosen coordinate system for calculating the antenna pattern. The model is based on the method of reflective interpretation and takes into account the features of antenna construction. The radiating elements of the antenna in the form of wave channels are located on two floors, which makes it possible to select the heights of floors and their excitation with signals with certain amplitudes and initial phases to reduce the depth of the dip in the radiation pattern in certain angular sectors. In such antennas there is usually no phase center, therefore, in the mathematical model of the detection zone, not only the amplitude, but also the phase characteristics of the antenna are taken into account. This made it possible to take into account the differences in the phases of the fields in the directions to the target and the reflection point and to clarify the result of the interference of the direct and reflected waves. The calculations of the detection zones illustrating the effect on their parameters of the electric properties of the ground, elevations of the antenna and its inclination with respect to the horizon are carried out. The mathematical model is realized with the help of an accessible and simple computer mathematical package Mathcad. The computer model allows, with changes in the design of the antenna or electrical parameters of the Earth, to promptly estimate the detection zones and their control capabilities to improve the conditions for detecting targets at certain elevation angles.

Keywords: detection zone, reflection method, direct and reflected waves, electrical parameters of the earth's surface, reflection coefficient, height of the receiving and transmitting antenna, amplitude and phase diagrams, interference multiplier, maximum detection range.

О. А. Черток¹, Ю. А. Данилов², А. С. Могілатенко²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

МЕТОД АДАПТИВНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАДАЧ В КОМПЛЕКСІ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті розглядається метод адаптивного розподілу задач в комплексі засобів автоматизації системи управління спеціального призначення на основі аналізу загальної зовнішньої обстановки та функціонального стану оператора з використанням теорії масового обслуговування. Наведений метод розв'язує протиріччя, яке полягає у невідповідності обсягів задач, що вирішуються з використанням комплексу засобів автоматизації в умовах швидкої зміни загальної обстановки і інформаційного перевантаження операторів та необхідністю забезпечення заданого показника оперативності прийняття рішень. В роботі наведено запропоновану класифікацію оперативно-тактичних задач за типами вирішення в комплексі засобів автоматизації. Визначено параметри та критерії розподілу функцій між оператором та комплексом засобів автоматизації в системі управління спеціального призначення. Наведена схема визначення оптимального варіанту розподілу функцій між комплексом засобів автоматизації та оператором. Визначена структура методу адаптивного розподілу оперативно-тактичних задач в комплексі засобів автоматизації системи управління спеціального призначення. **Висновок.** За рахунок використання в комплексі засобів автоматизації спеціального призначення методу адаптивного розподілу задач, який враховує зміни зовнішньої обстановки та можливості оператора, підвищується оперативність вирішення задач управління.

Ключові слова: розподіл задач, комплекс засобів автоматизації, адаптивність, система управління спеціального призначення, оператор, функціональний стан.

Вступ

Постановка проблеми Комплекс засобів автоматизації (КЗА) системи управління спеціального призначення (СП) забезпечує автоматизацію найбільш складних і трудомістких задач управління (збір, обробку, збереження, документування та відображення інформації про загальну обстановку) за рахунок автоматизованого вирішення оперативно-тактичних задач (ОТЗ) в ході роботи.

Система управління СП представляє собою сукупність функціонально взаїмозв'язаних між собою органів управління, пунктів управління та технічної основи системи управління.

Управління силами та засобами повинно бути стійким, безперервним, оперативним та скритним, забезпечувати постійну готовність до виконання завдання за призначенням, ефективно використовувати можливості техніки та виконувати поставлені завдання у встановлені терміни та за будь-яких умов обстановки.

При аналізі застосування комплексів засобів автоматизації систем управління спеціального призначення спостерігається тенденція стосовно збільшення ролі людини при прийнятті відповідальних рішень.

Вважається, що на людину слід покладати виконання наступних функцій [1]:

- розпізнавання ситуації в цілому, по багатьом складнозв'язаним характеристикам, а також при неповній інформації про ситуацію;
- узагальнення окремих фактів в єдину систему;
- рішення завдань, в яких відсутній чіткий алгоритм, або відсутні точні правила обробки інформації;
- рішення завдань, які вимагають гнучкості і адаптації до умов, що швидко змінюються;

- рішення завдань з високою відповідальністю у разі виникнення помилки, та ін.

Особливістю функціонування КЗА системи управління спеціального призначення є те, що при збільшенні обсягів інформації, яка підлягає обробці у КЗА одночасному скорочується час, який відводиться на рішення задач [8].

Таким чином виникає протиріччя, яке полягає у невідповідності обсягів задач, що вирішуються з використанням КЗА в умовах швидкої зміни загальної обстановки і інформаційного перевантаження операторів КЗА та необхідністю забезпечення заданого показника оперативності прийняття рішень.

Високий ступінь невизначеності й динамічності загальної обстановки, обмежені часові рамки на вироблення рішень при значному об'ємі інформації свідчать про необхідність підвищення ефективності вирішення задач управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Закономірності процесу ухвалення рішень при ситуаційному аналізі обстановки є предметом наукових досліджень, які ведуться по двом напрямках. Перший напрям, знайшов відображення в теорії ухвалення рішень, і зводиться до пошуку відповідей на питання: "Як приймати рішення раціонально"? [3]. Другий напрям у вивченні закономірностей процесу ухвалення рішень та питань оптимізації висвітлює психологічна теорія. Психологічна теорія робить акцент на поведінкових аспектах ухвалення рішень людиною [4].

Предметом психологічної теорії рішень є діяльність особи, що приймає рішення в процесі виконання певних завдань. Вона вивчає такі послідовні етапи процесу ухвалення рішень:

- формування уявлення про завдання;
- оцінку корисності результатів альтернативних дій;

- прогнозування результатів альтернативних дій;
- прогнозування результатів рішень, що приймаються;
- вибір поведінки.

І що найважливіше - психологічна теорія вивчає вплив різних чинників на ухвалення рішень людиною [5].

Таким чином, ухвалення рішень це складний процес, який залежить від великого числа чинників. В основі цього процесу знаходиться людина. Але людина тісно взаємопов'язана з технікою

Метою статті є наведення удосконаленого методу розподілу задач, що вирішуються в комплексі засобів автоматизації системи управління спеціального призначення.

Основний матеріал

Адаптивність системи управління спеціального призначення визначається її здатністю ефективно виконувати задані функції в певному діапазоні зміни умов. Чим ширше цей діапазон, тим більше адаптивною вважається структура.

Для автоматизації вирішення оперативних і технологічних задач в КЗА системи управління спеціального призначення (СП) використовуються принципи побудови розподіленої системи [6]. За основу взаємодії елементів виробу вибрана клієнт-серверна технологія з використанням мережевого протоколу передачі даних ТСП/IP. Топологія побудови мережі – “зірка”. З робочих місць обслуговування КЗА здійснюється вирішення задач згідно їх функціональних обов'язків операторів [7]:

- автоматичний обмін інформацією з центральним обчислювальним комплексом;
- формування та відображення динамічної та статичної інформаційної моделі на засобах відображення АРМ згідно з призначенням та в обсязі, що забезпечує вирішення задач згідно функціональних обов'язків осіб обслуговування КЗА;
- автоматизоване управління режимами відображення інформаційної моделі та роботи АРМ;
- автоматизований обмін інформацією з базою даних;
- автоматизоване вирішення інформаційно-розрахункових задач та відображення їх результатів на засобах відображення АРМ;
- автоматизоване введення, передача та прийом неформалізованих команд, розпоряджень, сигналів, донесень;
- автоматизоване проведення тренувань.

Оперативні задачі в КЗА системи управління спеціального призначення, у відповідності до закладеного алгоритму управління, вирішуються в автоматизованому режимі.

Для повного використання можливостей КЗА необхідно брати до уваги окремі властивості вирішуваних задач.

Різний тип оперативно-тактичних задач повинен передбачати різну ступінь участі в них операторів КЗА.

При врахуванні різних факторів обстановки

що склалася, зовнішньої ситуації, стану техніки, морально-психологічного стану операторів, їх психофізіологічного стану та працездатності необхідно передбачити переведення задач до таких режимів (рис. 1):

1. Оперативно-тактична задача (ОТЗ), що вирішується автоматично, тобто без участі оператора КЗА.

2. ОТЗ, що вирішується автоматизовано (напівавтоматично), тобто передбачає втручання оператора КЗА до процесу вирішення завдання.

3. ОТЗ, що вирішується за викликом, коли оператор КЗА вирішує оперативну задачу, активуючи режим її виконання.

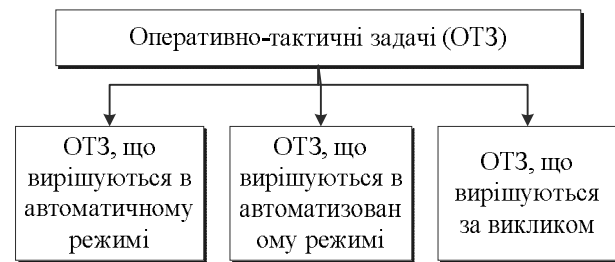


Рис. 1. Класифікація оперативно-тактичних задач за типами вирішення в КЗА

Саме в умовах складної зовнішньої обстановки на яку накладається перенавантаження операторів і спрацьовує така властивість як адаптивність.

Для вирішення задачі адаптивного розподілу оперативно-тактичних задач визначимо параметри та критерії розподілу функцій між оператором та КЗА в системі управління спеціального призначення. Для вирішення задачі розподілу функцій між КЗА і оператором повинні бути отримані оцінки параметрів та критерії. Такими величинами є:

l_j – щільність потоку часткових задач кожного типу ($j = 1, 2, \dots, m$);

$P_{ij}^{(c)}$ – ймовірність своєчасного вирішення часткових задач оператором з використанням технічних засобів ($i = 1$) та відповідно до прийнятого алгоритмом ($i = 2$);

$P_{ij}^{(b)}$ – ймовірність безпомилкового виконання окремих задач оператором ($i = 1$) і КЗА ($i = 2$).

Порядок визначення оптимального варіанту розподілу оперативних задач між оператором та КЗА представлений на рис. 2.

Основна частина задач, що вирішуються в КЗА системи управління СП, пов'язана з надходженням вхідної інформації. При її надходженні на вході обслуговуючих приладів. (під обслуговуючими приладами ми будемо розуміти або операторів, або алгоритми вирішення задач, що реалізуються в КЗА) формулюються вимоги до рішення задач обробки інформації та управління інформаційними моделями певного типу.

Щільність потоку таких задач визначають такі фактори:

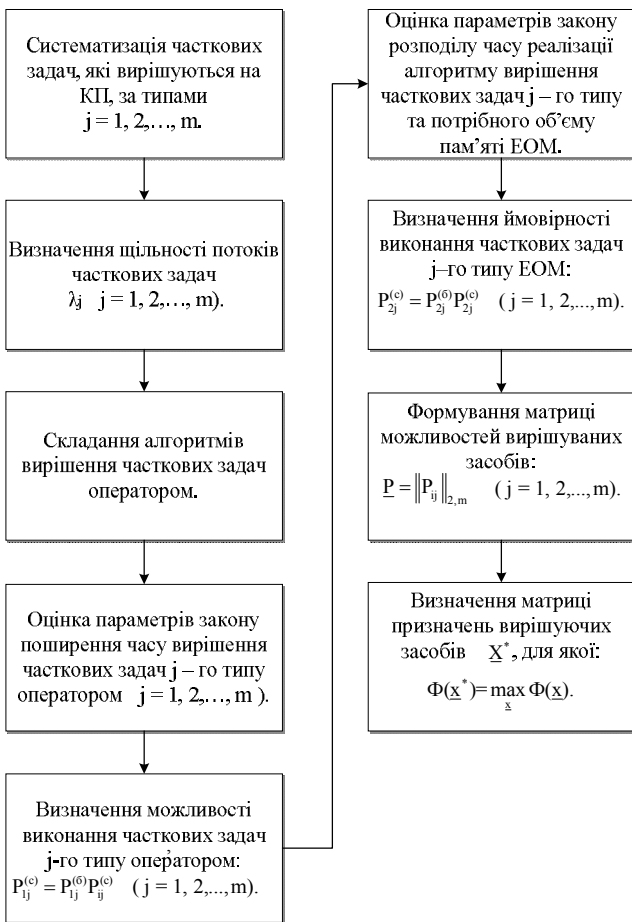


Рис. 2. Схема визначення оптимального варіанту розподілу функцій між КЗА та оператором

- інтенсивність оновлення вхідної інформації;
- тактико-технічні характеристики засобів обробки інформації;
- кількість джерел інформації;
- вірогідність ускладнення загального інформаційного простору тощо.

Максимальна щільність потоку задач визначається виразом:

$$L_{\max} = \sum_{i=1}^k n_i / T^{\text{онов}}, \quad (1)$$

де L_{\max} – максимальна щільність потоку задач;
 n_i – максимальне число об'єктів, від i -го джерела інформації;
 k – загальне число джерел інформації;
 $T^{\text{онов}}$ – період оновлення інформації.

Для визначення ймовірності своєчасного виконання часткових задач оператором скористаємось методом статистичного моделювання одноканальної системи масового обслуговування.

Метод статистичного моделювання дозволяє більш повно, порівняно з асимптотичними формулами, дослідити залежність якості обслуговування від характеристик потоку задач і параметрів обслуговуючого приладу.

Час, необхідний для вирішення задач оператором підпорядкований закону Пірсона:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{e^{-\beta}}{\Gamma(\beta)} (x-t_1)^{\beta-1} \exp\{-\beta(x-t_1)\}, & x > t_1; \\ 0, & x \leq t_1. \end{cases} \quad (2)$$

Для вирішення поставленої задачі використовуємо алгоритм, підготовчі операції якого включають в себе наступне:

1. Визначення коефіцієнтів завантаженості обслуговуючих операторів потоками задач j -го типу при однофункціональній діяльності за формулою:

$$z_j = \lambda_j t_j^{\text{роб}}. \quad (3)$$

2. Перевірка виконання умови:

$$\sum_{j=1}^{m_1} (1-z_j) \geq 1. \quad (4)$$

Якщо умова (4) не виконується, то визначити кількість обслуговуючих операторів $N_j^{\text{min}} < N_{\text{зад}}$ не є можливим. У цьому випадку діяльність операторів повинна бути однофункціональною, що обумовлено їх тимчасовою завантаженістю при вирішенні задач.

Якщо умова (4) виконується, то є можливість зменшити число обслуговуючих операторів, для чого перейти до п.3.

3. Якщо спочатку потоки пронумеровані довільним чином, то визначається підстановка

$$J = \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & m_1 \\ j_1 & j_2 & \dots & j_{m_1} \end{pmatrix},$$

для номерів якої j_1, j_2, \dots, j_{m_1} виконується умова:

$$z_{j_1} > z_{j_2} > \dots > z_{j_{m_1}}. \quad (5)$$

Подальша частина алгоритму визначення N_j^{min} і розподілу потоків між ними являє собою багатокрокову ітераційну процедуру, число кроків якої K визначається з умови:

$$K \leq \left\lceil \sum_{j=1}^{m_1} (1-z_j) \right\rceil, \quad (6)$$

де $\lceil z \rceil$ – найближча менша частина числа a .

Розглянемо K – й крок алгоритму.

4. Присвоїти $K := K + 1$ та визначити необхідну кількість обслуговуючих приборів на K – му, кроці за формулою:

$$N_K := N_{\text{зад}} - K. \quad (7)$$

5. Визначити послідовно N_K операторів на потоки часткових задач, починаючи з потоку з номером $j_1 \in J$ та закінчуючи потоком $j_{N_k} \in J$ та визначити $v=1$.

6. Визначити номер v^* обслуговуючого оператора з умови:

$$\sum_{j=1}^{S_r^*} z_j := \min_r \sum_{j=1}^{S_r} z_j, \quad r = 1, 2, \dots, N_k. \quad (8)$$

і призначити його на потік з номером j_{N_k+v} .

7. Перерахувати коефіцієнт завантаженості для r^* -го оператора:

$$z_{r^*} := \sum_{j=1}^{S_{r^*}} z_j + z_{j_{N_k+v}}. \quad (9)$$

8. Перевірити $v = m_l - N_k$.

Якщо ні, визначити $v := v + 1$ і перейти до п. 6, якщо да – до п.9.

9. Перевірити:

$$\sum_{r=1}^{N_k} (1 - z_r) \geq 1. \quad (10)$$

Якщо да, перейти до п. 4. Якщо ні, то $N_k = N_1^{\min}$ і розподіл потоків затверджується.

З урахуванням виразів (3 – 10) та процедур визначених вище можна визначити метод адаптивного розподілу задач між операторами та КЗА у наступному вигляді (рис. 3).

Вхідними даними, що використовуються в методі, є функціональний стан оператора, загальна обстановка, що склалася на даний момент часу та склад задач, що необхідно вирішувати в цих умовах.

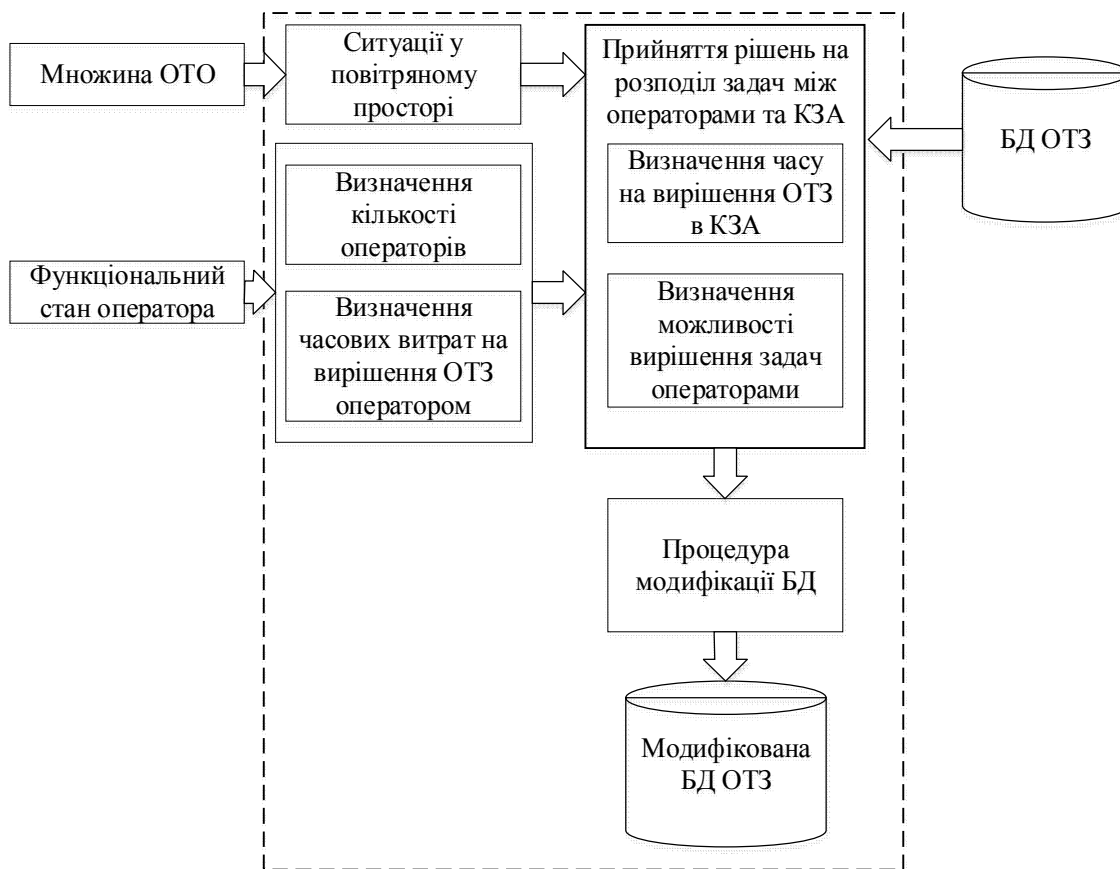


Рис. 3. Структура методу адаптивного розподілу оперативно-тактичних задач в КЗА спеціального призначення

Загальна обстановка передбачає різну кількість оперативно-тактичних задач, що до неї відносяться. Оперативно-тактичні задачі мають суворо визначену структуру.

У зв'язку зі зміною загальної обстановки та функціонального стану оператора спостерігається ситуація, коли оператор (група операторів) виявляються не спроможним виконувати функціональні обов'язки в повному обсязі.

У залежності від втомленості оператора, при не проявленні ним активності, частина задач, що вирішувались автоматизовано, переводиться до автоматичних. Задачі, що вирішувались за викликом, переміщуються до автоматизованих.

На виході ми маємо таку ж кількість оперативно-тактичних задач, що за кількістю співпадають, але мають іншу структуру.

Система управління резервує оператора при виникненні в його діяльності високої суб'єктивної складності через перевантаження інформацією, накопиченої в томи та інших чинників.

Висновки

За рахунок використання в комплексі засобів автоматизації спеціального призначення методу адаптивного розподілу задач, який враховує зміни зовнішньої обстановки та можливості оператора, підвищується оперативність вирішення задач управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Математические основы эргономических исследований: монография / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, и др. – Кропивницкий: КЛА НАУ, 2016. – 248 с.
2. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев. – Київ: Наукова думка, 1993. – 183 с.
3. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с. (Адаптивные и интеллектуальные системы).
4. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.
5. Худов Г.В. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3(43). – С. 179-185.
6. Степанов Г.С. Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні / Г.С. Степанов, В.В. Камінський, М.А. Павленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 1(30). – С. 18-23.
7. Висоцький О.В. Оптимальне правило прийняття рішення при сумісному пошуку і виявленні об'єктів по критерію максимальної правдоподібності / О.В. Висоцький, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 1(22). – С. 76-79.
8. Несміян О.Ю. Аналіз інформаційного забезпечення та завантаженості каналів прийому інформації операторами систем АСУ / О.Ю. Несміян, М.А. Павленко // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2(46). – С. 129-133.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 15.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.10.2018

Метод адаптивного распределения задач в комплексе средств автоматизации системы управления специального назначения

О. А. Черток, Ю. А. Данилов, А. С. Могилатенко

В статье рассматривается метод адаптивного распределения задач в комплексе средств автоматизации системы управления специального назначения на основе анализа общей внешней обстановки и функционального состояния оператора с использованием теории массового обслуживания. Приведенный метод разрешает противоречие, которое состоит в несоответствии объемов задач, которые решаются с использованием комплекса средств автоматизации в условиях быстрой смены общей обстановки, информационной перегрузкой операторов и необходимостью обеспечения заданного показателя оперативности принятия решений. В работе приведено классификацию оперативно-тактических задач по типам их решения в комплексе средств автоматизации. Определены параметры и критерии распределения функций между оператором и комплексом средств автоматизации в системе управления специальным назначением. Наведена схема определения оптимального варианта распределения функций между комплексом средств автоматизации и оператором. Определена структура метода адаптивного распределения оперативно-тактических задач в комплексе средств автоматизации системы управления специальным назначением. **Вывод.** За счет использования в комплексе средств автоматизации специального назначения метода адаптивного распределения задач, учитывающий изменения внешней обстановки и возможности оператора, повышается оперативность решения задач управления.

Ключевые слова: распределение задач, комплекс средств автоматизации, адаптивность, система управления специальным назначением, оператор, функциональное состояние.

Method of adaptive distribution of tasks in the complex of means of automating the management system of special purpose

O. Chertok, Yu. Danilov, A. Mogilatenko

The article discusses the method of adaptive distribution of tasks in a complex of automation equipment and special-purpose management based on the analysis of the general external environment and the functional state of the operator using queuing theory. The above method establishes a contradiction, which consists in the inconsistency of the volume of tasks that are solved using a set of automation tools in a rapidly changing general environment, information overload of operators and the need to ensure a given indicator of efficiency of decision making. The paper presents the classification of operational tactical tasks according to the types of their solution in a complex of automation equipment. The parameters and criteria for the distribution of functions between the operator and the complex of automation equipment in the special-purpose control system are defined. A scheme for determining the optimal variant of the distribution of functions between the complex of automation equipment and the operator has been suggested. The structure of the method of adaptive distribution of operational-tactical tasks in the complex of automation equipment for a special-purpose management system is determined. **Conclusion.** Due to the use in the complex of special purpose automation means of the adaptive distribution of tasks, which takes into account changes in the external environment and the capabilities of the operator, the efficiency of the decision of management problems increases.

Keywords: distribution of tasks, complex of automation tools, adaptability, special purpose management system, operator, functional state.

О. В. Денисенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

НОВИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКІВ НАСИЧЕННЯ

Предметом вивчення в статті є новий спосіб визначення часових інтервалів роз'їзду черг транспортних засобів у стоп-ліній регульованих перетинів і реальних значень потоків насичення (ПН). **Метою** є розробка способу, що дозволяє підвищити рівень якості світлофорного регулювання за рахунок більш точного визначення значень коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля (КПЛА) і ПН. **Завдання дослідження:** аналіз існуючих підходів до вимірювання ПН і КПЛА, а також визначення основних недоліків відомих рішень; розробка нового способу і моніторингу транспортних потоків (ТП) на регульованих перехрестях, який дозволяв би підвищити точність оперативного визначення ПН; розробка способу, який відповідає вимогам універсальних адаптивних систем, що дозволяють ефективно в динаміці реагувати на зміни умов руху ТП на перехресті. **Отримані такі результати.** Запропоновано новий спосіб визначення КПЛА і величин реального і ідеального ПН. Показано, що запропонована технологія вимірювання кінцевих параметрів дозволяє ефективно реагувати на зміни умов руху ТП на перехресті. **Висновки.** Ефективне визначення довжини черги, інтервалів руху, складу ТП в черзі, поправочних коефіцієнтів і реальних значень ПН по кожній смузі руху протягом світлофорного циклу дає можливість отримати більш повну інформацію для контролю і подальшого оперативного управління рухом на перехресті. При цьому з'являється можливість використання значення ідеального ПН для проектування перспективних перетинів з аналогічними прогнозними значеннями інтенсивностей ТП, топографією і схемою пофазного роз'їзду. Визначення ПН таким способом з високою частотою сканування і по реальним значенням часу роз'їзду, дає можливість істотно підвищити точність вимірювання кінцевих параметрів при визначенні оптимальних поточних значень елементів світлофорного циклу.

Ключові слова: потік насичення, часовий інтервал, транспортний потік, транспортний засіб, коефіцієнт приведення.

Вступ

Постановка проблеми. Швидке зростання автомобільного парку і відповідно інтенсивності руху неминує вестись до різкого збільшення кількості об'єктів світлофорного регулювання у містах. Тому вдосконалення методики проектування регульованих перетинів та визначення реальних параметрів руху ТЗ і характеристик ПН представляє безперечний практичний інтерес.

Проте не менше, на даний час вирішення практичних задач в області проектування об'єктів світлофорного регулювання в Україні пов'язано з низкою об'єктивних труднощів, наприклад, таких, як відсутність нових методичних вказівок, які містять докладні довідкові дані по ПН і коефіцієнтах приведення до легкових автомобілів, що ґрунтуються на результатах досліджень останніх років. За 2–3 останніх десятиліття було проведено велику кількість досліджень, направлених на виявлення впливу різних типів транспортних засобів на пропускну спроможність та ПН регульованого перетину.

Основним параметром, на який необхідно спиратися при розрахунку ПН і пропускну спроможності, затримок і довжини черги, є коефіцієнти приведення (Кпр) різних видів транспортних засобів (ТЗ) до легкового автомобіля. У нашій країні Кпр приймаються відповідно до нормативних документів [1], що діють також в країнах СНД. Ці нормативні документи не розглядають диференційовано умови руху (перегони доріг і вулиць, різні типи перетинів, погодні умови і так далі) і передбачають постійні коефіцієнти для різних елементів вулично-дорожніх

мереж (ВДМ). Тому оновлення і корекція довідкових даних принципово важливі, оскільки виразночіткій просліджують вплив динамічних характеристик сучасного автомобільного парку, що безперервно змінюються, на точність визначення режимів регулювання перехресть.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох літературних джерелах наголошується, що точність розрахунків режимів регулювання, пропускну спроможності і ПН регульованих перетинів залежить від точності визначення значень K_{np} і визнається необхідність використання їх спеціальних значень у різних умовах. Ознайомлення з публікаціями показує, що фахівці України і СНД приводять різні визначення понять ПН, втраченого часу, ефективної тривалості фаз, які інколи істотно відрізняються від визначень, що містяться в зарубіжній спеціальній літературі. Наприклад, в [2] ПН визначається як максимальна інтенсивність роз'їзду черги при повністю насиченій фазі. ПН S_{ij} (од./год.) для j -го напрямку (смуги руху) i -ої фази визначають шляхом натурних спостережень:

$$S_{ij} = \frac{3600}{n} \cdot \left(\frac{m_1}{t_1} + \frac{m_2}{t_2} + \dots + \frac{m_n}{t_n} \right), \quad (1)$$

де n – число вимірів; m_i – число приведених ТЗ, що минули стоп-лінію за час t_i .

У американському керівництві по пропускну спроможності [3] ПН S розглядається як "ідеальний рівень насичення" S_0 , (який дорівнює 1800 привед. од./год.), який застосовується у поєднанні з поправочними коефіцієнтами:

$$S = S_0 \cdot q \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_G \cdot f_P \cdot f_{BB} \cdot f_A \times f_{LU} \cdot f_{RT} \cdot f_{LT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}, \quad (2)$$

де q – кількість смуг руху; $f_w, f_{HV}, f_G, f_P, f_{BB}, f_A, f_{RT}, f_{LT}, f_{Rpb}, f_{Lpb}, f_{LU}$ – коефіцієнти, що враховують відповідно: ширину смуги руху, кількість вантажних автомобілів, ухил на підході до перехрестя, вплив пішоходів на транспортний потік, вплив зупинок суспільного транспорту, тип території, ліво- і правоповоротний рух, вплив велосипедистів і пішоходів відповідно на право- і лівоповоротний рух, рівномірність використання смуг руху.

Оцінка пропускної здатності фази [4] (рис. 1) отримало просту геометричну інтерпретацію. Площа під кривою визначається площею прямокутника з висотою – інтенсивністю ПН S і значенням G_e – ефективною тривалістю зеленого сигналу.

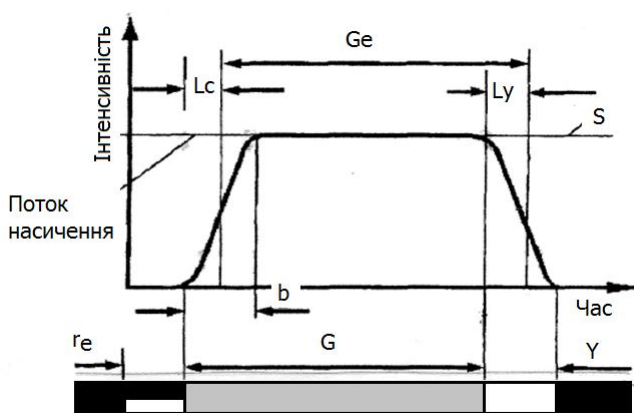


Рис. 1. Залежність "інтенсивність-час" для підходу до регульованого перехрестя в роботах Вебстера, де G - тривалість зеленого сигналу; Y - тривалість жовтого сигналу; r_e - тривалість поєднання червоного і жовтого сигналів; L_c - стартові втрати часу; L_y - частка жовтого сигналу в кінці фази, використовується для руху; b - проміжок часу від включення сигналу, що дозволяє рух, до настання потоку насичення

У основі визначення K_{np} згідно [5] є співвідношення динамічних габаритів ТЗ при русі на перегонах. Декілька інший підхід пропонується в [6], де для розрахунків K_{np} для кільцевих перетинів використовуються співвідношення мінімальних інтервалів між автомобілями різних типів при русі безпосередньо на перетинах цього типу.

Багато авторів для визначення K_{np} використовують лінійну регресію. Sosin [7] визначав інтенсивність руху в приведених легкових автомобілях по відношенню сумарної затримки транспортного потоку (ТП) D до середньої розрахункової затримки потоку, що складається тільки з легкових автомобілів d_S

$$f(k) = D / d_S, \quad (3)$$

Відношення $f(k)$ розглядалося як лінійна функція

$$f(k) = n_1 K_{np1} + n_2 K_{np2} + \dots + n_i K_{npi} \quad (4)$$

де n_i – число транспортних засобів типа i у потоці; K_{npi} – коефіцієнт приведення ТЗ типа i до легкового автомобіля.

Врубель Ю.А. визначив K_{npi} іншим способом, назвавши їх коефіцієнтами приведення до легкового автомобіля по потоку насичення [8]. Пропонувалося розглядувати відношення величини сталих інтервалів убування конкретних видів транспортних засобів T_{Hi} до величини сталого інтервалу убування потоку легкових автомобілів:

$$K_{npi} = T_{Hi} / T_{HL}. \quad (5)$$

Одним з чинників, що впливають на вибір регресійної моделі для визначення K_{npi} різних типів ТЗ, є проведення експериментальних обстежень, за звісними методиками, а також реалістичний рівень вивченої величини ПН. При цьому дослідження показали, що найбільш відповідною основою при виборі регресійної моделі є часові інтервали між ТЗ, що рухаються в потоці насичення при їх роз'їзді на перехресті. У [4] вплив вантажних автомобілів враховується при визначенні ПН, при використанні коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля K_{np} . Коефіцієнт приведення K_{np} - це кількість легкових автомобілів, якими можна замінити один вантажний автомобіль в черзі без зміни очікуваного часу, потрібного для роз'їзду первинної черги. Коефіцієнт приведення до легкового автомобіля, можна визначити просто з наступного відношення:

$$K_{np} = \bar{t}_{ван} / \bar{t}_{легк}, \quad (6)$$

де $\bar{t}_{ван}$ – середнє значення тимчасового інтервалу вантажного автомобіля, $\bar{t}_{легк}$ - середнє значення тимчасового інтервалу легкового автомобіля, с.

При цьому, для розрахункової методики найбільш раціональним вважається використання зворотної залежності між позицією автомобіля в черзі і величиною часового інтервалу. Регресійна модель визначення величини часового інтервалу залежно від порядкового номера автомобіля в черзі виглядає таким чином:

$$t_{легк} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{N}, \quad (7)$$

де $t_{легк}$ – величина часового інтервалу легкового автомобіля як функція від номера позиції легкового автомобіля в черзі, β_0 – вільний член регресійної моделі, що характеризує величину тимчасового інтервалу, відповідного ПН, β_1 – параметр регресійної моделі, що виражає величину, використовувану при визначенні відхилення тимчасового інтервалу i -го ТЗ в черзі від часового інтервалу насичення, N – змінна, що виражає номер позиції легкового автомобіля в черзі.

Слід зазначити, що порівняння K_{npi} , отриманих різними авторами відрізняються від значень, що приводяться в ДБН і СніП. Це ще раз підтверджує необхідність вживання спеціальних значень K_{np} , для

визначення ПН на регульованих перетинах. Необхідно відзначити, що найбільш близькою і прийнятною з цих позицій є методика досліджень і розрахунків, запропонована в [4] та [8].

Мета і постановка завдань. Постановленою метою є розробка способу, який дозволяє підвищити рівень якості світлофорного регулювання за рахунок більш точного визначення значення ПН. Згідно цієї мети були поставлені такі завдання досліджень:

- аналіз існуючих підходів до виміру і розрахунків ПН та коефіцієнтів приведення $K_{пр}$ та визначення основних недоліків відомих рішень;

- розробка нового способу та алгоритму моніторингу ТП на регульованих перехрестях, який би дозволяв підвищити точність оперативного визначення ПН;

- розробка пропозицій щодо нового способу, який би відповідав вимогам універсальної адаптивної системи, яка ефективно в динаміці реагує на зміни умов руху ТП на перехресті.

Викладення основного матеріалу

Автором пропонується новий підхід до визначення широкого кола параметрів руху ТП на підходах та виходах регульованих перехрестях. Сутність цього підходу складається у тому, що зону перехрестя пропонується сканувати одночасно двома вузькопрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону, що дасть змогу забезпечити визначення комплексу необхідних параметрів ТП одночасно по кожній смузі руху перехрестя [9].

У відповідності до запропонованого способу розгортка лазерного променя здійснюється скануючим блоком 1, який розташовується над перехрестям на спеціальній кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя (рис. 2).

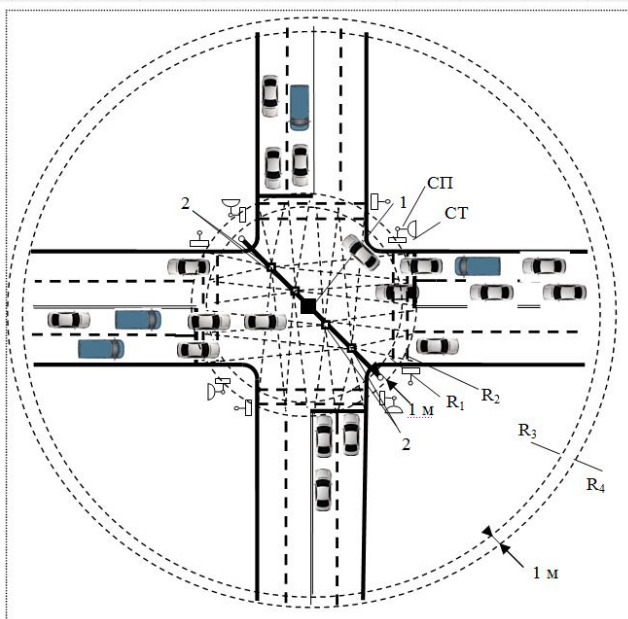


Рис. 2. Схема, що розкриває основні відмінні особливості запропонованого способу і послідовність його дій

У скануючому блоці, залежно від висоти його розміщення, одну з оптичних вісей розгортки оби-

рають так, щоб перший лазерний промінь відображував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя радіусом R_1 в області «стоп-ліній» всіх його підходів.

До складу скануючого блоку входять оптичні дискретні сканістори, один з яких забезпечує відхилення вісі першого лазерного променя в необхідне друге положення, при якому радіус кола R_2 на поверхні проїзної частини зменшується на задану величину. Тобто блок сканування на кожному періоді сканування змінює розгортку першого лазерного променя з однієї оптичної вісі на іншу та описує в зоні перехрестя на його поверхні два концентричні кола.

Другий оптичний промінь лазерної розгортки формується у одній площині з першим, але зі зміщенням на 180° по колу розгортки [10]. Цей промінь, як і перший, за допомогою відповідного сканістора 52 на кожному періоді сканування змінює оптичну вісь розгортки і також формує два концентричних кола. Радіуси сканування другого променя обирається за умови формування входу в контрольовану зону (КЗ) на відстані від стоп-ліній достатньої для фіксації найбільш повною чергою ТЗ, що може збиратися на червоному сигналі світлофору по будь-якій смузі.

Оптичні фотоприймачі 2 (ФПі), що розташовані на тому ж кронштейні і направлені кожний на свою смугу, в процесі розгортки лазерних променів по одному з кіл послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугах руху як на підходах, так і на виходах перехрестя.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при перетині одного з кіл, наприклад R_3 . При цьому завдяки періодичному скануванню зі змінною оптичною віссю лазерного променя з високою швидкістю з радіуса R_3 на R_4 і навпаки на дистанції 1 м визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань [10].

Довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в КЗ або в зоні «стоп-ліній» послідовно визначають реальні значення коефіцієнтів КППі як відношення величини середнього значення часового інтервалу \bar{t}_{gi} проїзду дистанції $R_3 - R_4 = 1$ м (або $R_1 - R_2 = 1$ м) конкретним типом ТЗ до величини середнього значення часового інтервалу \bar{t}_{ni} проїзду цієї дистанції легковим автомобілем:

$$K_{ППi} = \bar{t}_{gi} / \bar{t}_{ni} \quad (8)$$

Виміри у такому комплексі параметрів в зоні перехрестя дозволяють також визначити картограму інтенсивностей руху ТЗ за малі періоди часу (цикл СП) як у фізичних, так і у приведених одиницях:

$$N_{ПРj} = K_{ПП1}N_1 + K_{ПП2}N_2 + \dots + K_{ППi}N_i, \quad (9)$$

де $N_{ПРj}$ – інтенсивності руху ТЗ у приведених до легкового автомобіля одиницях по j -й смузі руху; N_i – число транспортних засобів типу i у потоці; $K_{ППi}$ – коефіцієнт приведення ТЗ типу i до легкового автомобіля.

Потім за результатами сканування КЗ першим променем обчислюють час проходження T_j черг, що

здійснюють роз'їзд ТЗ на «зелений» сигнал світлофору, а значення потоку насичення M_{Hj} по кожній смузі розраховують за формулою:

$$M_{Hj} = 3600 \cdot m_j / T_j, \quad (10)$$

де m_j – число приведених транспортних одиниць у черзі, що проходить через стоп-лінію за час T_j ; j – номер смуги руху (напряму руху).

Для визначення часу T пропонується у якості початкового моменту використовувати момент перетинання стоп-лінії переднім бампером першого в черзі ТЗ, а якщо ТЗ вже перетнув або стоїть на стоп-лінії – то момент початку його руху. При визначенні T як кінцевий момент пропонується брати момент проходження над стоп-лінією заднього бампера останнього в черзі ТЗ.

Такий підхід дозволяє відокремити зі значення T величину додаткового часу, необхідного для реакції водія на зміну світлофорного сигналу та уникнути помилки від неповного урахуванням довжини останнього в черзі ТЗ.

За результатами сканування вхідних і вихідних меж КЗ з'являється можливість визначення також і значень ідеального потоку насичені (ІПН), який використовується за методикою [2].

Для цього за результатами сканування першим променем в зоні стоп-ліній визначають часові інтервали руху h_{mj} роз'їзду всіх m ТЗ у черзі по кожній j -й смузі руху на відповідний зелений сигнал світлофору.

Далі в процесі виміру інтервалів руху h_{mj} визначають момент, починаючи з якого черга ТЗ роз'їжджається з інтервалами насичення, тобто з максимальною інтенсивністю руху ТЗ, тобто після перших 3-5 ТЗ черги. Цей період насичення T_j (для j -ої смуги руху) формується з моменту перетину кола сканування з радіусом R_1 переднім бампером ТЗ, що формує перший інтервал насичення і закінчується моментом перетину цього кола сканування переднім бампером останнього ТЗ насиченої черги. Також за останній ТЗ може прийматися ТЗ, що приєднався до черги в період дії зеленого сигналу [10].

Для визначення статистично значущих значень ІПН, необхідно обстежити мінімум 15-20 циклів регулювання з кількістю ТЗ більш ніж 8 в початковій черзі.

Значення середніх часових інтервалів h_{id} , що відображають ІПН, визначаються аналогічно як відношення величини всього часового інтервалу насичення T_{id} до кількості легкових або приведених ТЗ, які входять в частину черги.

Умови визначення ІПН пов'язані не тільки з виміром періодів насичення, але з вимогами щодо

смуг руху ТЗ тільки прямого напрямку, стандартної ширини смуги, відсутності ухилів в зоні перехрестя та ін. Тому для визначення ІПН на усіх підходах до перехрестя обирають смуги руху тільки прямого напрямку.

Значення середніх часових інтервалів h_{id} , які відображають ІПН, обчислюються аналогічно в процесі сканування першим променем і роз'їзду ТЗ через стоп-лінію.

Загальні поправочні коефіцієнтів ІПН кожного підходу до перехрестя для смуг руху, які відрізняються від ідеальних (смуги руху поворотних або змішаних по напрямках потоків, з ухилами та різною шириною смуг, з різним по складу ТП і таке ін.) визначаються як відношення ІПН M_j цих смуг (конкретних дорожніх умов) до ІПН $M_{(id)n}$:

$$f_{\Sigma} = \frac{M_j}{M_{(id)n}}, \quad (11)$$

де f_{Σ} – загальний поправочний коефіцієнт, який враховує дію всіх інших можливих факторів, які виникають по умовам діючих ІПН від ІПН.

Якщо в зоні перехрестя смуг відсутні ідеальними умови руху, то за результатами сканування першим променем визначають ІПН для конкретних дорожніх умов з урахуванням загального поправочного коефіцієнта.

Висновки

Ефективне визначення довжини черги, реального на даний момент часу проїзду, інтервалів руху, складу ТЗ в черзі та значень реального ІПН, ІПН та поправочних коефіцієнтів по кожній смузі руху на протязі часу дії світлофорного циклу дає можливість отримати більш повну інформацію для контролю і подальшого управління рухом на перехресті. При цьому з'являється можливість використання значення ІПН для проектування перспективних регульованих перехресть з аналогічними прогностичними значеннями інтенсивностей ТП, топографією та схемою пофазного роз'їзду.

Визначення ІПН, ІПН таким способом з високою частотою сканування і по реальним значенням часу роз'їзду з перехрестя різними типами ТЗ, дає можливість суттєво підвищити точність виміру кінцевих параметрів при визначенні оптимальних поточних значень елементів світлофорного циклу.

Пропозиція та розробка способу визначення ІПН за такою технологією і алгоритмом відповідає вимогам універсальної адаптивної системи, що ефективно в динаміці реагує на всілякі зміни умов руху ТП на перехресті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.3-4-2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dnaop.com>
2. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.
3. Highway Capacity Manual. – TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
4. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений. / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов., И.М. Головных. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

5. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения / В.В. Сильянов – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
6. Методические указания по проектированию кольцевых пересечений на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1980. – 76 с.
7. Sosin J.A. Delays at intersections controlled by fixed cycle traffic signals / J.A. Sosin // Traffic Eng. and Contr. – 1980. – V. 21, № 5. – P. 264–265.
8. Врубель Ю.А. О потоке насыщения / Ю.А. Врубель. – Минск, Белорус, полит. ин-т. 1988. – 7 с. – Рук. деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663 – ат. 89.
9. Пат. 122470 Україна, МКИ⁴ G 08 G 1/09. Спосіб визначення потоків насичення регульованого перехрестя / Денисенко О.В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 10.04.14, Бюл. № 7/2014.
10. Пат. 122470 Україна, МКИ⁴ G 08 G 1/09. Спосіб визначення ідеальних потоків насичення та поправочних коефіцієнтів для регульованих перехресть / Денисенко О.В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 25.10.16, Бюл. № 20/2016.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. О. Можаяев,
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків
Received (Надійшла) 29.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.10.2018

Новый подход к определению характеристик потоков насыщения

О. В. Денисенко

Предметом изучения в статье является новый способ определения временных интервалов разъезда очередей транспортных средств у стоп-линий регулируемых пересечений и реальных значений потоков насыщения (ПН). **Целью** является разработка способа, позволяющего повысить уровень качества светофорного регулирования за счет более точного определения значений коэффициентов приведения к легковому автомобилю (КПЛА) и ПН. **Задачи исследования:** анализ существующих подходов к измерению ПН и КПЛА, а также определение основных недостатков известных решений; разработка нового способа и мониторинга транспортных потоков (ТП) на регулируемых перекрестках, который позволял бы повысить точность оперативного определения ПН; разработка способа, который отвечает требованиям универсальных адаптивных систем, позволяющих эффективно в динамике реагировать на изменения условий движения ТП на перекрестке. **Получены следующие результаты.** Представлен краткий обзор публикаций и методов определения КПЛА и ПН. Предложен новый способ определения КПЛА и величин реального и идеального ПН. Показано, что предложенная технология измерения конечных параметров позволяет эффективно реагировать на изменения условий движения ТП на перекрестке. **Выводы.** Эффективное определение длины очереди, интервалов движения, состава. ТП в очереди, поправочных коэффициентов и реальных значений ПН по каждой полосе движения в течение светофорного цикла дает возможность получить более полную информацию для контроля и последующего оперативного управления движением на перекрестке. При этом, появляется возможность использования значения идеального потока насыщения для проектирования перспективных пересечений с аналогичными прогнозными значениями интенсивностей ТП, топографией и схемой пофазного разъезда. Определение ПН таким способом с высокой частотой сканирования и по реальным значениям времени разъезда, дает возможность существенно повысить точность измерения конечных параметров при определенных оптимальных текущих значений элементов светофорного цикла.

Ключевые слова: поток насыщения, временной интервал, транспортный поток, транспортное средство, коэффициент приведения.

New approach to definition of characteristics of streams of saturation

O. Denisenko

Studying subject in article is the new method of determination of temporal intervals of departure of turns of transport vehicles at the feet-lines of the managed crossing and real values of streams of satiation (SS). **An aim** is development of method allowing to promote the level of quality of the traffic-light adjusting due to more exact determination of values of coefficients of coercion to the passenger car (CCPC) and SS. **Research tasks:** analysis of the existent going near measuring SS and CCPC, and also determination of basic lacks of well-known decisions; development of new method and monitoring of transport streams (TS) on the managed crossing, that would allow to promote exactness of operative determination of SS; development of method, that answers the requirements of the universal adaptive systems allowing effectively in a dynamics to react on the changes of terms of motion of TS on crossing. **Next results are got.** The brief review of publications and methods of determination of CCPC and SS is presented. The new method of determination of CCPC and sizes of the real and ideal SS offers. It is shown that an offer technology of measuring of eventual parameters allows effectively to react on the changes of terms of motion of TS on crossing. **Conclusions.** Effective determination of length of turn, intervals of motion, composition of TS in a turn, correction coefficients and real values SS on every stripe of motion during a traffic-light cycle gives an opportunity to get more complete information for control and subsequent operative management by motion on crossing. Thus, possibility of the use of value of ideal SS appears for planning of the perspective crossing with the analogical prognosis values of intensities of TS, topography and chart of phase passing track. Determination of SS by such method with high-frequency of scan-out and on by the real value of time of departure, gives an opportunity substantially to promote exactness of measuring of eventual parameters at certain optimal current values of traffic-light loop constructs.

Keywords: saturation stream, time interval, traffic flow (TF), vehicle (TZ), reduction coefficient.

Н. П. Лукашова¹, Т. П. Павленко¹, Б. Г. Любарський², О. М. Петренко¹

¹Харківський університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РЕСОРНИХ ПІДВІШУВАНЬ РЕЙКОВОГО МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Об'єкт, що розглядається у статті – ресорне підвішування міського рейкового електрорухомого складу. **Мета статті**: провести аналіз сучасного стану конструкцій ресорних підвішувань рейкового міського електрорухомого складу та виявити перспективні напрямки для їх вдосконалення. **Результати**. В статті розглянуто сучасні технічні рішення, які використовуються у ресорному підвішуванні трамвайних вагонів: візок трамвайного вагона Т-3, Чехословаччина; візок трамвайного вагона «Спектр» виробництва ВАТ «Уралтрансмаш», Росія; візок низкопольного трамвайного вагона Flexx Urban 1000 фірми Bombardier, Канада. Проведено аналіз конструкцій ресорних підвішувань трамвайних та метро вагонів міського електрорухомого складу. **Висновки**. Визначено, що у візках трамвайних та метро вагонів, частіше для гасіння коливань застосовуються фрикційні гасителі коливань, що встановлюються у центральному підвішуванні; в останніх сучасних конструкціях, як на трамвайних вагонах так і на вагонах метро для гасіння коливань стали використовувати пневматичне регульоване підвішування, яке встановлюється замість фрикційного демпфера у другій ступені ресорного підвішування. Перспективними системами для гасіння коливань, які можливо встановити на МРЕРС, можуть бути електромеханічні амортизатори, що поширені в останній час на автомобільному транспорті.

Ключові слова: міський рейковий електрорухомий склад, трамвай, метровагон, ресорне підвішування, гасителі коливань, візок, пневмопідвішування, центральне підвішування трамвая.

Вступ

Ресорне підвішування міського рейкового електрорухомого складу (МРЕРС) є невід'ємним елементом ходової частини транспортного засобу. Створені нерівністю шляху та зовнішніми впливами силові впливи на екіпажну частину МРЕРС потребують компенсації та гасіння з боку ходової частини транспортного засобу задля створення комфортних умов пасажиром, з одного боку, та зменшення динамічного впливу на елементи ЕРС та рейкової колії з іншого. Ходові частини МРЕРС призначені для напрямку руху екіпажу шляхом, передачі навантажень від кузова на шлях та гасіння коливань, що виникають під час руху. Ходові частини повинні забезпечити безпеку руху, плавність ходу і економічну ефективність перевозок [1].

Основними елементами візки МРЕРС є рама, ресори підвішування, гальмівні пристрої, колісні пари (або колісні блоки) та тягові електродвигуни. Розглянемо основні типи візків та ресорних підвішувань які застосовуються на сучасному та перспективному пасажирському МРЕРС.

Аналіз останніх досліджень. За конструкцією візка трамвайних вагонів можна розділити на два основних типи. До першого типу відносяться візки, що підкатуються під «високоподлогні», які розглянуто у роботах [1, 2] трамвайні вагони, до другого – під «низькоподлогні» трамвайні вагони [1, 3-6]. Принципова відмінність в конструкції пояснюється, перш за все, необхідністю знизити рівень підлоги в трамвайному вагоні. Трамваї з низьким рівнем підлоги мають ряд переваг перед «високопольні»: підвищення комфортності перевезення пасажирів, скорочення часу стоянки на зупинках, поліпшення динаміки руху. За призначенням візки, що підкочуються під багатосекційні трамвайні вагони, ді-

ляться на моторні поворотні і підтримують неповоротні. Моторні поворотні візки забезпечує тягу трамвая і покращують вписування екіпажу в криву. Підтримують неповоротні візки призначені для передачі навантажень від кузова на шлях і гасіння виникаючих коливань під час руху трамвая. [1]

Ресорне підвішування візків вагонів Е, Еж, їх модифікацій і 81-717, 81-714, 68-7054 та 81-558 складається з буксового і центрального та розглянуто у роботах [7, 8]. Останнє служить для передачі тягового зусилля від візка кузову вагона, навантаження від ваги кузова на раму візка, а також підресорює кузов щодо візків.

Мета статті: провести аналіз сучасного стану конструкцій ресорних підвішувань рейкового міського електрорухомого складу та виявити перспективні напрямки для їх вдосконалення.

Результати досліджень

Розглянемо сучасні технічні рішення, які використовуються у ресорному підвішуванні трамвайних вагонів. Візок трамвайного вагона Т-3, Чехословаччина (рис. 1) [1, 2]. Основні частини візки - дві поздовжні балки і колісні пари з редуктором. Поздовжні балки і колісні пари конструктивно утворюють раму, на яку монтується інші частини візка. Ось колісної пари і редуктор укладені в сталеві литі кожухи з отворами для фіксувального валика і оснащені двома посадочними місцями для установки поздовжніх балок. Поздовжня балка звареної конструкції складається з штампованої сталевий балки коробчатого перетину і двох радісних закінчень. В отвори литих закінчень вставляють валик для фіксування балки на кожусі редуктора. У центральній частині візка розташована надресорна балка з розширеними на кінцях для установки пружин і амортизаторів центрального ресорного підвішування.

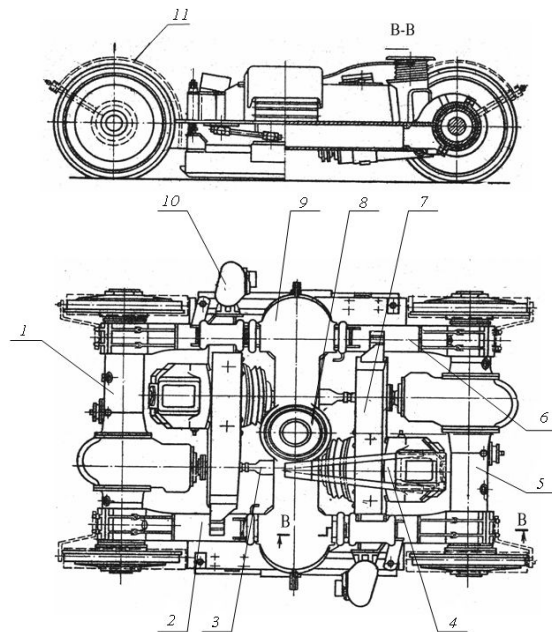


Рис. 1. Візок вагона Т-3: 1, 5 – колісні пари, 2, 6 – поздовжні балки, 3 – карданний вал, 4 – тяговий двигун, 7 – балка для підвищення тягового двигуна, 8 – пятник, 9 – люлька візка, 10 – електромагнітний привід гальма, 11 – надколісні кожухи

Центральне рессорне підвішування вагона Т-3 (рис.2) являє собою два комплекти амортизаторів, розміщених на поздовжніх балках візка. Комплект амортизаторів складається з двох спіральних пружин: зовнішньої і внутрішньої і шести гумових кілець, між якими прокладені сталеві прокладки (тарелі).

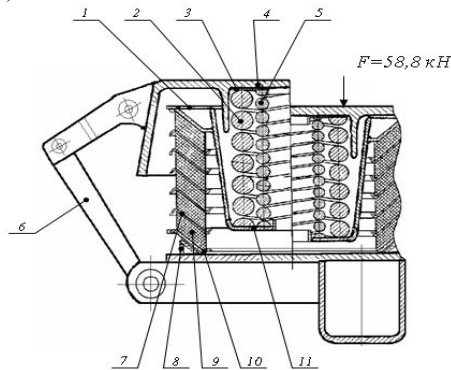


Рис. 2. Центральне коліскове підвішування трамвайного вагона моделі Т-3: 1 – прокладних кільце, 2 – зовнішня пружина, 3 – прокладка, 4 – знімне штамповане кільце, 5 – внутрішня пружина, 6 – тяга, 7 – сталеві тарелі, 8 – конусоподібна таріль, 9 – гумові ресори, 10 – опорне кільце, 11 – стакан

Візок трамвайного вагона «Спектр» виробництва ВАТ «Уралтрансмаш», Росія наведено на рис. 3 [1]. Він складається з двох поздовжніх балок, двох редукторів з напесованими на осі колесами (див., двох поперечних балок з електродвигунами, двох карданних валів, надресорної балки, двох комплектів пружин і двох гідравлічних гасителів коливань, двох рейкових черевиків, а також крил, гумових амортизаторів, упорів і деталей кріплення. На передній візку додатково кріпляться два патрубок пісочниці.

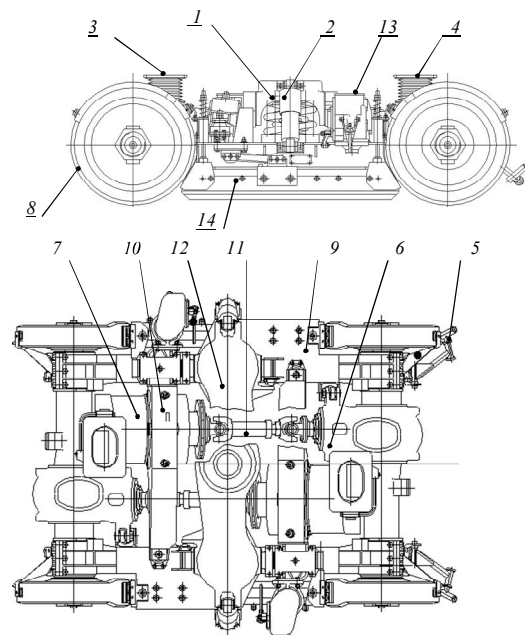


Рис. 3. Візок трамвайного вагона «Спектр»: 1 - циліндрична пружина; 2 - гідравлічний гаситель коливань; 3 - вентиляційний кожух; 4 - крила; 5 - патрубок пісочниці; 6 - редуктор; 7 - тяговий двигун; 8 - колесо; 9 - поздовжня балка; 10 - поперечна балка; 11 - карданний вал; 12 - надресорная балка; 13 - електромагнітний привід рейкового гальма; 14 рейковий гальмо

Між бічними поверхнями надресорної балки і кронштейнами (рис. 4) [1], привареними до поздовжніх балках візка, встановлені гумові буфери, які зверху притиснуті планками, закріпленими болтами. Гумові буфери забезпечують передачу зусиль і фіксацію надресорної балки в поздовжньому напрямку. Поджаття буферів забезпечується установкою сталевих пластин (рис. 4 поз. 8).

У поперечному напрямку передачу зусиль і фіксацію надресорної балки забезпечують амортизатори (рис. 4 поз. 3). Надресорна балка спирається на механізм пружної підвіски. До складу механізму пружної підвіски входять два комплекти пружин і два гасителя коливань (див. рис. 4 поз. 5). Хід механізму пружної підвіски обмежується гумовими упорами (рис. 4 поз. 17).

Комплект пружин складається з внутрішньої і зовнішньої 6 пружин, які встановлюються між нижнім і верхнім підставами. Підстави пружин через гумові подушки і сталеві диски спираються на надресорних балку і поздовжню балку візка. Гасителі коливань кріпляться в цапфах надресорної і поздовжньої балок.

Гідравлічний гаситель коливань сприяє забезпеченню необхідної плавності ходу вагона, знижує вплив рухомого складу на трамвайну колію, зменшує знос деталей візка, сприяє підвищенню безпеки руху. Візок низькопольного трамвайного вагона Flexx Urban 1000 фірми Bombardier, Канада (рис. 5), що призначено для використання на трамвайних коліях колії 1435 мм. Складається з рами зварної конструкції, двох тягових двигунів, чотирьох редукторів, чотирьох «розв'язаних» коліс, надбуксового і центрального підвішування [6].

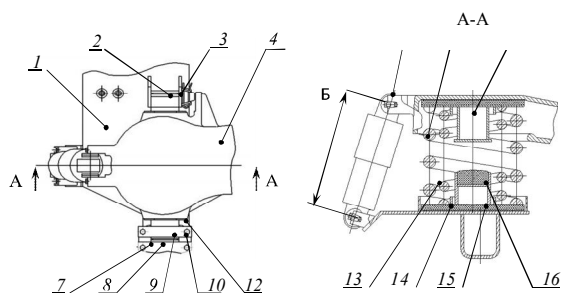


Рис. 4. Надресорних балка візка трамвайного вагона:
1 - поздовжня балка; 2, 9 - гумові буфери; 3 - амортизатор;
4 - надресорная балка; 5 - гідравлічний гаситель коливань;
6 - зовнішня пружина; 7 - кронштейн; 8 - сталевая пластина; 10 - планка; 11 - верхнє підставу; 12 - гладка пластина; 13 - внутрішня пружина; 14 - гумова подушка; 15 - сталевий диск; 16 - нижня частина



Рис. 5. Візок низковольтного трамвайного вагона Flexx Urban 1000 фірми Bombardier

Двигуни розташовуються з зовнішньої сторони візка і підвішені до рами. У з'єднанні двигунів з рамою застосовані гумові елементи для гасіння низькочастотних коливань двигуна. Центральне ресорне підвішування представлено пружинами і гідравлічними гасителями коливань.

Візок трамвайного вагона АТ 6/5 L має незалежно обертаються колеса (рис. 6). Рама візка - Н-подібної форми з двома стабілізуючими надресорних балками [7]. Центральне підвішування метровагонів Еж, їх модифікацій і 81-717, 81-714 (рис. 7) складається з центральної балки з п'ятикутних пристроєм і роликівими ковзунами, чотирьох комплектів дворядних циліндричних пружин з верхніми і нижніми опорами і гумовими прокладками, двох піддонів, в гнізда яких встановлюють комплекти пружин, чотирьох двошарнірної сережок, закріплених в поперечних балках рами чотирма валиками центрального підвішування.



Рис. 6. Моторна візок трамвайного вагона АТ 6/5 L

За допомогою валиків середніх і нижніх шарнірів з шайбами-опорами і рамок-підвісок піддони шарнірно з'єднані з сережками. Центральна балка шарнірно пов'язана з рамою візка двома гідроамор-

тизаторами. Для запобігання падінню на колію під час руху в разі обриву елементів підвішування на спеціальних кронштейнах поперечних балок рами закріплені через запобіжні скоби.

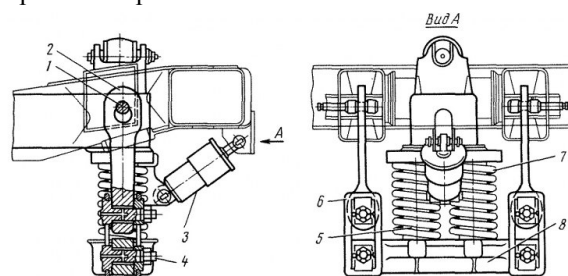


Рис. 7. Центральне ресорне підвішування метровагонів Е, Еж, їх модифікацій і 81-717, 81-714: 1- валики центрального підвішування; 2 – серга; 3-гідравлічний амортизатор; 4- валик; 5- внутрішня пружина; 6 – підвіска рамочна; 7- зовнішня пружина; 8 – піддон.

Центральне підвішування не регулюють по висоті. Складові підвіски в місцях зчленування мають шарніри з хорошою рухливістю в двох взаємно перпендикулярних площинах. Гідравлічний гаситель коливань (рис. 7) встановлюють на візках під кутом 35° до горизонтальної площини. Така установка дозволяє гасити як вертикальні, так і горизонтальні коливання рухомого складу.

Вагони серії Е-КМ які створені шляхом модернізації вагонів Еж на ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» мають нові візки моделі 68-7054 з центральним пневматичним ресорним підвішування яке доповнено гідроамортизаторами (рис. 8).

У першій буксовій ступені рама візка спирається на кожну буксу спирається через дві кручені циліндричні пружини, у другій кузовний ступені кузов спирається на раму візка через дві пневморессори, розташовані по краях рами в середині між осями Візки обладнані системою противоюзового захисту і гасіння коливань. Замість стандартних колодкових гальм на нових візках встановлені дискові.



Рис. 8. Візок вагону моделі 68-

Аналогічну конструкцію мають візки метровагонів 81-558 «Нева» (виробництва Росія), які наведені на рис. 9. Застосування пневматичного підвішування дозволило значно підвищити комфорт пасажирів при русі.



Рис. 9. Візок вагону моделі 81-558 «Нева»

ВИСНОВКИ

Для конструкцій візків та ресорних підвішувань МРЕРС можливо констатувати наступне: у візках трамвайних та метро вагонів, частіше за все для гасіння коливань застосовуються фрикційні гасителі коливань, що встановлюються у центральному підвішуванні для поліпшення плавності руху вони доповнюються гідравлічними демпферами; в останніх сучасних конструкціях, як на трамвайних вагонах так і на вагонах метро для гасіння коливань стали використовувати пневматичне регульоване підвішування, яке встановлюється замість фрикційного демпфера у

другій ступені ресорного підвішування. Фрикційні та гідравлічні демпфери дають можливість гасити коливання, які створюються при русі МРЕРС, однак регулювання їх параметрів при різній загрузці вагонів неможлива; застосування пневматичних ресор дає можливість регулювання параметрів демпфування, в залежності від загрузки вагону та величини зовнішніх впливів, однак пневматичне підвішування потребує додаткових втрат енергії та потужностей пневматичної системи МРЕРС. Перспективними системами для гасіння коливань, які можливо встановити на МРЕРС, можуть бути електромеханічні амортизатори, що поширені в останній час на автомобільному транспорті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бачурин Н. С. Ходовые части трамвайных вагонов : справочник / Н. С. Бачурин, А. А. Красниченко, Д. Ю. Шавырин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2011. – 40 с.
2. Иванов М.Д. Трамвайные вагоны Т-3 / М.Д. Иванов, А.А. Пономарев, Б.К. Иеропольский. – М.: Транспорт, 1977. – 240 с.
3. Ph. Hérisse. Трамвайные вагоны Combino / Ph. Hérisse // Vie Rail. – 2000. – № 2761.
4. Кулаков Б. М. Ремонт трамвайных вагонов / Б. М. Кулаков, М. Я. Резник – М. : Транспорт, 1980. – 463 с.
5. Bombardier Wins Contract for 24 Low-floor Flexity Classic Trams in Krakow [Electronic resource]. –Transportation: [site]. URL: <http://www.bombardier.com>.
6. Tram and light rail transits [Electronic resource]. – Rail solution : [site]. URL: <http://www.siemens.com>.
7. Візок мод. 68-7054 для вагонів метрополитену [Electronic resource]. URL: <http://www.kvsz.com>.
8. Ёе Вин Хан. Обоснование параметров пневморессоры ресорного подвешивания для вагона метрополитена города Янгон республики Мьянма. – Дисс. ... канд. техн. наук по спец.05.22.07 – подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. – М., 2014. – 132 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Буряковский,
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія»
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків
Received (Надійшла) 29.07.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.10.2018

Анализ конструкций рессорных подвешиваний рельсового городского электроподвижного состава

Н. П. Лукашова, Т. П. Павленко, Б. Г. Любарский, А. Н. Петренко

Объект, который рассматривается в статье – рессорное подвешивание городского рельсового электроподвижного состава. **Цель статьи:** провести анализ современного состояния конструкций рессорных подвешиваемых рельсового городского электроподвижного состава и выявить перспективные направления для их совершенствования. **Результаты.** В статье рассмотрены современные технические решения, используемые в рессорных подвешиваниях трамвайных вагонов: тележка трамвайного вагона Т-3, Чехословакия; тележка трамвайного вагона «Спектр» производства ОАО «Уралтрансмаш», Россия; тележка низкопольного трамвайного вагона Flexx Urban 1000 фирмы Bombardier, Канада. Проведен анализ конструкций рессорных подвешиваемых трамвайных и метро вагонов городского электроподвижного состава. **Выводы.** Определено, что в тележках трамвайных и метро вагонов, чаще всего для гашения колебаний применяются фрикционные гасители колебаний, устанавливаемые в центральном подвешивании; в последних современных конструкциях, как на трамвайных вагонах так и на вагонах метро для гашения колебаний стали использовать пневматическое регулируемое подвешивания, которое устанавливается вместо фрикционного демпфера во второй степени рессорного подвешивания. Перспективными системами для гашения колебаний, которые можно установить на МРЕРС, могут быть электромеханические амортизаторы, распространенные в последнее время на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: городской рельсовый электроподвижной состав, трамвай, метровагон, рессорное подвешивание, гаситель колебаний, тележка, пневмоподвешивание, центральное подвешивание трамвая.

Analysis of constructions of resports lingings of rail city electric mobile composition

N. Lukashova, T. Pavlenko, B. Liubarskyi, O. Petrenko

The object under consideration in the article is the spring suspension of the city railroad electric vehicle. **The purpose of the article:** to carry out an analysis of the current state of the structures of spring suspensions of the railroad urban electric vehicle and identify perspective directions for their improvement. **Results** The article considers modern technical solutions used in the spring suspension of tram cars: the trolley of the tramcar Т-3, Czechoslovakia; Trolleybus car "Spectrum" produced by OJSC "Uraltransmash", Russia; The trolley of Flexx Urban 1000 tram carriages in Bombardier, Canada. The article analyzes the designs of spring suspended tram and subway cars of city electric rolling stock. **Conclusions.** It was determined that in the tram and subway carriages, most often, friction dampers are used to dampen vibrations, which are installed in the central suspension; in the latest modern constructions, both on tram-wagons and on subway cars, pneumatic adjustable under-hanging, which is installed instead of the friction damper in the second degree of spring suspension, has been used to dampen vibrations. Propulsion systems for extinguishing oscillations that can be installed on the MERS, may be electromechanical shock absorbers, which are widespread in recent times in road transport.

Keywords: city rail electric rolling stock, tram, metro car, spring suspension, vibration damper, trolley, pneumatic suspension, central suspension of the tram.

С. В. Гадецкая, В. Ю. Дубницкий

Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ Университета банковского дела, Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ЗАДАННОЙ УСЕЧЁННЫМ ПОКАЗАТЕЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Поставлена задача об определении дифференциальной энтропии случайной величины, заданной усечённым распределением. Получены решения этой задачи для интервалов усечения следующих видов: $[a, b]$, $[0, a]$, $[a, +\infty]$. Приведено решение поставленной задачи для усечённого показательного распределения. Показано, что для показательного распределения, область определения которого ограничена только слева, величина энтропии, вычисленная справа от точки усечения, не зависит от расположения этой точки на числовой оси и равна энтропии, вычисленной вдоль всей области определения. Приведен способ численного интегрирования интеграла с бесконечным верхним пределом, позволяющий свести задачу к численному интегрированию в конечных пределах. Проведен численный анализ полученных решений. Введено понятие коэффициента усечения, равного отношению энтропии, вычисленной для случайной величины, заданной усечённым распределением, к энтропии, вычисленной для случайной величины, определённой на всей области её возможных значений, и вычислены его значения для показательного распределения. Для энтропии показательного распределения показана связь полученных решений с неполными гамма-функциями.

Ключевые слова: энтропия, усечённое распределение, показательное распределение, гамма-функция, неполная гамма-функция.

Введение

Предположим, что для непрерывной случайной величины X известны функция распределения $F(X)$ и плотность распределения $f(x)$. Возможные значения случайной величины X определены на отрезках $[0, a]$, $[a, b]$ и промежутке $[a, +\infty)$. Функционал вида:

$$H[-\infty, +\infty] = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx \text{ (нит)}, \quad (1)$$

называют приведенной [1] или дифференциальной энтропией [2] Шеннона. В связи с тем, что в условии (1) использовано основание натуральных логарифмов, единицей измерения энтропии принят *нит*, далее эта единица измерения используется по умолчанию. В рамках данной работы будет использован термин «энтропия». Если случайная величина X определена на интервале $0 < x < +\infty$, то условие (1) примет вид:

$$H[0, \infty] = - \int_0^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx. \quad (2)$$

В задачах, относящихся к различным предметным областям, указанным, например, в работах [3-6], используют ограниченные случайные величины \hat{X} , определённые в работе [7, с. 746] таким образом:

$$\hat{X} = \begin{cases} X, & \text{если } |X| \leq h, \\ 0, & \text{если } |X| > h. \end{cases} \quad (3)$$

Исходя из принципа историзма, следует считать первым упоминанием использования усечённых случайных величин библейский сюжет об из-

биении младенцев, описанный в работе [8, Мф 2:16] следующим образом: «Тогда Ирод послал избить всех младенцев в Вифлееме и во всех пределах его, от двух лет и ниже по времени». Таким образом, считая рост младенца случайной величиной, для решения поставленной задачи была использована усечённая случайная величина. Плотность усечённой на интервале (a, b) случайной величины X , имеющей функцию распределения $F(x)$, в работе [7, с. 747] определена так:

$$f_{(a,b)}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a, \\ \frac{f(x)}{F(b) - F(a)}, & \text{если } a < x \leq b, \\ 0, & \text{если } x > b. \end{cases} \quad (4)$$

Используя условия (1 – 4), определим энтропию случайной величины, заданной усечённым распределением:

$$H[a,b] = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a, \\ - \int_a^b \left(\frac{f(x)}{F(b) - F(a)} \times \ln \frac{f(x)}{F(b) - F(a)} \right) dx, & \text{если } a < x \leq b, \\ 0, & \text{если } x > b. \end{cases} \quad (5)$$

Анализ литературы. Авторам данного сообщения удалось найти только сборник примеров и задач по теории информации [9, с. 37], где приведена задача, для решения которой требуется вычислить энтропию усечённой нормально распределённой случайной величины. В цитируемой работе решение задачи не приведено, приведен лишь её ответ. В работе [2] получена энтропия усечённого только

на отрезке $[a, b]$ нормального распределения. Решение задачи в общем виде и для случая показательного распределения в доступной авторам данного сообщения литературе не найдено.

Постановка задачи: Найти общий вид решения задачи определения дифференциальной энтропии Шеннона для случайной величины, заданной усечённым распределением и получить её решение для усечённого показательного распределения.

Полученные результаты

При изложении процесса получения результатов поставленной задачи в целях сохранения преемственности принят уровень подробности их получения, согласованный с работой [2]. Пусть плотность вероятности $f(x)$ определена на отрезке $[a, b]$. Используя условие (5), получим:

$$H[a, b] = - \int_a^b \frac{f(x)}{F(b) - F(a)} \ln \frac{f(x)}{F(b) - F(a)} dx = - \frac{1}{F(b) - F(a)} \int_a^b f(x) [\ln f(x) - \ln(F(b) - F(a))] dx. \quad (6)$$

Преобразуя выражение (6), получим, что:

$$H[a, b] = - \frac{1}{F(b) - F(a)} \int_a^b f(x) \ln f(x) dx + \frac{1}{F(b) - F(a)} \cdot \ln(F(b) - F(a)) \cdot \int_a^b f(x) dx. \quad (7)$$

Из условий (1-2) и работ [10-11] следует, что:

$$\frac{1}{F(b) - F(a)} \int_a^b f(x) dx = 1. \quad (8)$$

Подставив условие (8) в условие (7), получим, что:

$$H[a, b] = -(F(b) - F(a))^{-1} \times \int_a^b f(x) \ln f(x) dx + \ln(F(b) - F(a)). \quad (9)$$

Рассмотрим решение задачи в том случае, когда возможные значения случайной величины X определены на отрезке $[0, a]$. Так как для функции распределения вероятности справедливо условие: $F(0) = 0$, то используя условие (9), получим, что:

$$H[0, a] = -[F(a)]^{-1} \int_0^a f(x) \ln f(x) dx + \ln F(a). \quad (10)$$

Рассмотрим решение задачи в том случае, когда возможные значения случайной величины X определены на полуинтервале $[a, +\infty)$. Так как для функции распределения вероятности справедливо условие: $F(+\infty) = 1$, то, используя условие (9), получим, что:

$$H[a, +\infty) = -(1 - F(a))^{-1} \times \int_a^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx + \ln(1 - F(a)). \quad (11)$$

Для удобства дальнейшего применения полученных результатов сведём их в табл. 1.

Таблица 1 – Дифференциальная энтропия Шеннона для случайной величины X , заданной усечённым распределением

Область определения возможных значений случайной величины X	Дифференциальная энтропия Шеннона случайной величины, заданной усечённым распределением
$-\infty < a < b < +\infty$	$H[a, b] = -(F(b) - F(a))^{-1} \times \int_a^b f(x) \ln f(x) dx + \ln(F(b) - F(a))$
$0 < x < a$	$H[0, a] = -[F(a)]^{-1} \times \int_0^a f(x) \ln f(x) dx + \ln F(a)$
$a < x < +\infty$	$H[a, +\infty) = -(1 - F(a))^{-1} \times \int_a^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx + \ln(1 - F(a))$

Рассмотрим применение полученного решения для определения величины энтропии случайной величины, заданной усечённым показательным распределением, функция распределения и плотность вероятности которого во всей области определения вид:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \quad f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{при } x \geq 0. \quad (12)$$

Величины $F(b) - F(a)$ и $\ln(F(b) - F(a))$, входящие в условие (9), примут в этом случае вид:

$$F(b) - F(a) = \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}),$$

$$\ln F(b) - F(a) = \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}). \quad (13)$$

Пусть плотность вероятности $f(x)$ определена на $[a, b]$. Тогда, используя условия (9) и (13), получим, что:

$$H[a, b] = - \int_a^b \lambda e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx / (e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}) + \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}). \quad (14)$$

Интегрируя числитель условия (14) получим, что:

$$\int_a^b \lambda e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx = e^{-a\lambda} (\ln \lambda - a\lambda - 1) - e^{-b\lambda} (\ln \lambda - b\lambda - 1). \quad (15)$$

Следовательно,

$$H[a, b] = \frac{e^{-\lambda a} (\lambda a + 1) - e^{-\lambda b} (\lambda b + 1)}{e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}} + \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}) - \ln \lambda. \quad (16)$$

Пусть плотность вероятности $f(x)$ определена на $[0, a]$. Тогда, приняв в условии (16), что $a = 0$ и переобозначив $b = a$, получим, что:

$$H[0, a] = \frac{1 - e^{-a\lambda} (a\lambda + 1)}{1 - e^{-a\lambda}} + \ln(1 - e^{-a\lambda}) - \ln \lambda. \quad (17)$$

Принимая в условии (16), что $b = a$, при условии, что $b \rightarrow \infty$, получим, что:

$$H[a, +\infty) = 1 - \ln \lambda = \ln \frac{e}{\lambda}. \quad (18)$$

В работе [2] показано, что для показательного распределения, заданного, как известно, на всей положительной полуоси, энтропия равна величине:

$$H[0, +\infty) = \int_0^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx = \ln \frac{e}{\lambda}. \quad (19)$$

Из условий (18) и (19) следует важный вывод о том, что для показательного распределения

$$H(x) = H[a, +\infty). \quad (20)$$

Иными словами, это означает, что для показательного распределения, область определения которого ограничена только слева, энтропия, вычисленная справа от точки усечения, не зависит от расположения этой точки на числовой оси и равна энтропии, вычисленной вдоль всей числовой оси.

Для удобства пользования сведём полученные результаты в табл. 2.

Таблица 2 – Дифференциальная энтропия Шеннона для случайной величины, заданной усечённым показательным распределением

Область определения возможных значений случайной величины X	Дифференциальная энтропия Шеннона случайной величины, заданной усечённым распределением
$-\infty < a < b < +\infty$	$H[a, b] = \frac{e^{-\lambda a} (\lambda a + 1) - e^{-\lambda b} (\lambda b + 1)}{e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}} + \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}) - \ln \lambda$
$0 < x < a$	$H[0, a] = \frac{1 - e^{-a\lambda} (a\lambda + 1)}{1 - e^{-a\lambda}} + \ln(1 - e^{-a\lambda}) - \ln \lambda$
$a < x < +\infty$	$\ln e / \lambda$

Из работы [2] следует, что для основных типов распределений получение в замкнутом виде выражений, приведенных в табл. 1, можно рассматривать

как самостоятельную задачу. Решение этой задачи численными методами осложнено тем, что в случае, когда $a < x < +\infty$, требуется вычислять интеграл с бесконечным верхним пределом. В работе [12, с. 105] предложено следующее решение поставленной задачи.

Пусть необходимо вычислить численным методом значение интеграла вида:

$$\int_a^{+\infty} f(x) dx, \quad a > 0. \quad (21)$$

Выполним замену переменной:

$$x = \frac{a}{1-t}, \quad dx = \frac{a}{(1-t)^2} dt. \quad (22)$$

Тогда интеграл (25) примет вид:

$$\int_a^{+\infty} f(x) dx = \int_0^1 a f\left(\frac{a}{1-t}\right) \frac{1}{(1-t)^2} dt. \quad (23)$$

Такая замена преобразует полупрямую $[a, +\infty)$ в отрезок $[0, 1]$. Если при этом подынтегральная функция и её производные ограничены, то интеграл вида (27) можно определять, применяя общепринятые методы приближенных вычислений. Проверим этот метод на примере показательного распределения, функция распределения и плотность которого имеют соответственно вид:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \quad f(x) = \lambda e^{-\lambda x}. \quad (24)$$

Пусть требуется определить вероятность того, что $P(x > a)$. Рассмотрим два возможных решения этой задачи:

$$P(x > a) = 1 - (1 - e^{-\lambda a}) \quad \text{или}$$

$$P(x > a) = \int_0^1 a \exp\left(-\lambda \frac{a}{1-t}\right) \frac{1}{(1-t)^2} dt. \quad (25)$$

Приняв, что $\lambda = 0,2$ и $a = 0,5$, получим, что эти два метода дают совпадающие результаты: $P(x > 0,5) = 0,9048$.

Назовём коэффициентом усечения величину, которую определим так:

$$\eta = H[a, b] / H[0, +\infty). \quad (26)$$

Рассмотрим применение полученных результатов на численном примере. Примем, что для рассматриваемого показательного распределения параметр $\lambda = 0,4$.

Результаты вычислений коэффициента усечения для этого случая приведены в табл. 3.

Из результатов вычислений следует, что эта величина возрастает с увеличением интервала усечения. Более подробный численный анализ полученных решений может стать темой дальнейших исследований.

Таблиця 3 – Вычисление дифференциальной энтропии случайной величины, распределённой по показательному закону при различных вариантах усечения интервала её определения

Вариант усечения	Величина энтропии (нит)	Коэффициент усечения
$H[0, +\infty]$	1,9162	1
$H[1, 4]$	1,0407	0,5431
$H[0, 1]$	0,0014	$7 \cdot 10^{-4}$
$H[1, +\infty]$	1,9160	0,9998

Связь между всеми полученными в данном сообщении результатами можно получить, используя гамма – функцию, необходимые сведения о которой приведены в работах [13,14].

Для каждой гамма – функции, в данном случае, определённой в виде:

$$\Gamma(u) = \int_0^{+\infty} x^{u-1} e^{-x} dx; \quad (27)$$

существует неполная гамма – функция, определённая как:

$$\gamma(u, a) = \int_0^a x^{u-1} e^{-x} dx; \quad (28)$$

и дополнительная неполная гамма – функция, определённая как:

$$\Gamma(u, a) = \int_a^{+\infty} x^{u-1} e^{-x} dx. \quad (29)$$

Числитель условия (14) представим в виде:

$$\begin{aligned} & \lambda \int_a^b e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx = \\ & = \lambda \ln \lambda \int_a^b e^{-\lambda x} dx - \lambda^2 \int_a^b x e^{-\lambda x} dx. \end{aligned} \quad (30)$$

Второе слагаемое в условии (30) представим в виде:

$$\begin{aligned} & \lambda \int_a^b \lambda x e^{-\lambda x} dx = \\ & = \lambda \left(\int_0^b \lambda x e^{-\lambda x} dx - \int_0^a \lambda x e^{-\lambda x} dx \right). \end{aligned} \quad (31)$$

Проводя в условии (31) замену вида $\lambda x = u$ и выполняя необходимые преобразования, получим, что:

$$\begin{aligned} H[a, b] = & \frac{\gamma(2, \lambda b) - \gamma(2, \lambda a)}{e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}} + \\ & + \ln(e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}) - \ln \lambda. \end{aligned} \quad (32)$$

Приняв $a = 0$ и переобозначив $b = a$, получим из (32):

$$H[0, a] = \frac{\gamma(2, \lambda a)}{1 - e^{-\lambda a}} + \ln(1 - e^{-\lambda a}) - \ln \lambda. \quad (33)$$

Используя условие (11), получим, что:

$$\begin{aligned} H[a, +\infty) = & - \frac{1}{1 - (1 - e^{-\lambda a})} \times \\ & \times \int_a^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx - \ln(1 - (1 - e^{-\lambda a})). \end{aligned} \quad (34)$$

Преобразуя условие (34), получим:

$$\begin{aligned} H[a, +\infty) = & \\ = & - \frac{1}{e^{-\lambda a}} \int_a^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x} \ln(\lambda e^{-\lambda x}) dx - \lambda a. \end{aligned} \quad (35)$$

Интегрируя условие (35), получим, что:

$$H[a, +\infty) = e^{\lambda a} \Gamma(2, \lambda a) - \lambda a - \ln \lambda. \quad (37)$$

Сравнивая условия (18) и (37), получим, что:

$$H[a, +\infty) = e^{\lambda a} \Gamma(2, \lambda a) - \lambda a - \ln \lambda = \ln \frac{e}{\lambda}. \quad (38)$$

Справедливость равенства (37) покажем на численном примере. Примем, что $\lambda = 0,04$, $a = 2$. Используя условие (18), получим, что:

$$H[a, +\infty) = \ln(e / \lambda) = \ln(e / 0,04) = 4,2188.$$

Используя условие (37), получим, что:

$$\begin{aligned} H[a, +\infty) = & e^{\lambda a} \Gamma(2, \lambda a) - \lambda a - \ln \lambda = \\ = & e^{0,08} \Gamma(2; 0,08) - 0,08 - \ln 0,04 = 4,2188. \end{aligned}$$

Для вычисления значения $\Gamma(2; 0,08)$ использован калькулятор, размещённый на сайте:

<https://keisan.casio.com/exec/system/1180573447>

Выводы

1. Поставлена задача об определении дифференциальной энтропии случайной величины, заданной усечённым распределением.

2. Получены решения этой задачи для интервалов усечения следующих видов: $[a, b]$, $[0, a]$, $[a, +\infty)$.

3. Приведено решение поставленной задачи для усечённого показательного распределения.

4. Показано, что для показательного распределения, область определения которого ограничена только слева, величина энтропии, вычисленная справа от точки усечения, не зависит от её расположения на числовой оси и равна энтропии, вычисленной вдоль всей области определения.

5. Приведен способ численного интегрирования интеграла с бесконечным верхним пределом,

позволяющий свести задачу к численному интегрированию в конечных пределах. Проведен численный анализ полученных решений

6. Введено понятие коэффициента усечения, равного отношению энтропии, вычисленной для случайной величины, заданной усечённым распре-

делением к величине энтропии, вычисленной для случайной величины, определённой на всей области возможных значений и вычислены его значения.

7. Для показательного распределения показана связь полученных решений с неполными гамма-функциями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Вентцель. – Москва: Изд. НАУКА, 1969.- 576 с.
2. Michlowicz J.V. Handbook of DIFFERENTIAL ENTROPY. / J.V. Michlowicz, J.M. Nichols, F. Bucholtz.- NtwYork.: A. SHARPMAN & HALL, 2014. -220 p.
3. Тихов М.С. Эконометрические модели с цензурированными данными / М.С. Тихов, Т.С. Бородина. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 552 с.
4. Анализ надёжности технических систем по цензурированным выборкам / В.М. Скрипкин, А.Е. Назин, Ю.Г. Приходько, Ю.Н. Благовещенский. – Москва: Радио и связь, 1998. – 184 с.
5. Abdushukurov, A.A. (1987), ‘‘ Estimation of probability density and intensity function of the Koziol – Green model of random censoring’’, Sankhya, Ser.A. 1987, v.4, p.150-168.
6. Nelson, W. (1972), ‘‘Theory and applications for hazard plotting for censored failure data’’, Technometrics, 1972, v.14, p. 945-965.
7. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. – Москва: Большая Российская энциклопедия, 2004. – 910с.
8. Евангелие / Москва: Благовест, 2014. – 464 с.
9. Кавчук С.В. Сборник примеров и задач по теории информации. Руководство для практических занятий на базе Mathcad 6.0 Plus./ С.В. Кавчук - Таганрог: Изд-во ТРГУ, 2002. - 64 с.
10. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями / А.Хальд. – Москва: Иностр. лит., 1956. – 595 с.
11. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности / Я.Б. Шор- Москва: Сов.радио, 1962. – 527 с.
12. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – Санкт-Петербург: БхВ, 2011. – 592 с.
13. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовица и И. Стигана - Москва: Наука, 1979.-832 с.
14. Прудников А.П. Интегралы и ряды / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев - Москва: Наука, 1981. – 798 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є. П. Пуятін,

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Received (Надійшла) 13.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.09.2018

Визначення диференціальної ентропії випадкової величини, яка задана урізанням показниковим розподілом

С. В. Гадецька, В. Ю. Дубницький

Поставлено задачу про визначення диференціальної ентропії випадкової величини, яка задана урізанням показниковим розподілом. Отримано розв'язання цієї задачі для інтервалів урізання наступних видів: $[a, b]$, $[0, a]$, $[a, +\infty]$. Наведено розв'язок поставленої задачі для урізаного показникового розподілу. Доведено, що для показникового розподілу, область визначення якого обмежена тільки зліва, величина ентропії, обчислена праворуч від точки урізання, не залежить від розташування цієї точки на числовій осі і дорівнює ентропії, обчисленої уздовж всієї області визначення. Викладено спосіб чисельного інтегрування інтегралу з нескінченною верхньою границею, що дозволяє звести задачу до чисельного інтегрування в кінцевих границях. Проведено чисельний аналіз отриманих рішень результатів. Введено поняття коефіцієнта урізання, який дорівнює відношенню ентропії, обчисленої для випадкової величини, яка задана урізанням розподілом, до ентропії, обчисленої для випадкової величини, визначеної на всій області її можливих значень, і обчислені його значення. Для показникового розподілу показано зв'язок отриманих розв'язків з неповними гамма-функціями.

Ключові слова: ентропія, урізаний розподіл, показниковий розподіл, гамма-функція, неповна гамма-функція.

Definition of the differential entropy of a random value given by a truncated distribution

S. Gadetska, V. Dubnitskiy

The problem of determining the differential entropy of a random variable given by a truncated distribution is formulated. The solutions of this problem are obtained for truncation intervals of the following types: $[a, b]$, $[0, a]$, $[a, +\infty]$. The solution of the problem for the exponential distribution is given. It is shown that for an exponential distribution whose domain of definition is bounded only on the left, the entropy value calculated to the right of the truncation point does not depend on the location of this point on the numerical axis and is equal to the entropy calculated along the entire domain of definition. A method of numerical integration of an integral with an infinite upper limit is given, which makes it possible to reduce the problem to numerical integration in finite limits. A numerical analysis of the solutions is obtained. The concept of the truncation coefficient which equal to the ratio of the entropy of a random variable of a truncated distribution to the entropy of a random variable determined on the whole range of its possible values is introduced. Its values are calculated for the exponential distribution. The relationship between obtained solutions for the exponential distribution and incomplete gamma function is shown.

Keywords: entropy, truncated distribution, exponential distribution, gamma function, incomplete gamma function.

В. О. Гороховатський, А. А. Васильченко, К. П. Манько, Р. П. Пономаренко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДИФІКАЦІЙ МЕТОДУ ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЛЕВАНТНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ ЗА ОПИСАМИ У ВИГЛЯДІ МНОЖИНИ ДЕСКРИПТОРІВ КЛЮЧОВИХ ТОЧОК

Предметом досліджень статті є моделі для встановлення ступеня релевантності зображень у просторі дескрипторів ключових точок зображень для реалізації структурних методів розпізнавання зорових образів у системах комп'ютерного зору. **Метою** є проведення експериментального дослідження ефективних за параметром швидкодії модифікацій способів встановлення подібності описів у просторі дескрипторів ключових точок на підставі апарату аналізу бітових даних. **Завдання:** розроблення математичних та програмних моделей оброблення даних при обчисленні подібності структурних описів, вивчення властивостей та особливостей застосування цих моделей, оцінювання ефективності за результатами оброблення конкретних зображень. Застосовуваними **методами** є: детектор BRISK для формування дескрипторів ключових точок, інтелектуальний аналіз даних, метод кластеризації к-середніх, методи побітового оброблення та підрахунку частоти входження даних, теорія хешування бітових даних, програмне моделювання. Отримані такі **результати**. Методи класифікації зображень з використанням подібності описів у просторі дескрипторів ключових точок отримують подальший розвиток та застосування на підставі впровадження апарату аналізу бітових даних. Кластерне подання описів не тільки скорочує час оброблення, але й показує чутливість модифікації методу до незначних особливостей зображення і його можливість широкого застосування у системах комп'ютерного зору. Хешування опису без втрати даних суттєво прискорює (у експерименті у сотні разів) процес обчислення ступеня релевантності описів. Вибрана хеш-функція може впливати на результат і сприяти покращенню рівня розрізнення зображень. Побудова узагальненого опису у вигляді спільного дескриптора значно скорочує час обчислень, при цьому виникає потреба у попередньому обробленні опису з метою формування скороченого опису із списку значущих дескрипторів. **Висновки.** Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу структурного розпізнавання зображень на основі опису як множини дескрипторів ключових точок шляхом застосування апарату кластеризації, виявлення узагальнених властивостей та хешування даних для визначення модифікованих мір релевантності аналізованих та еталонних описів. Практична значущість роботи – досягнення суттєвого рівня підвищення швидкодії обчислення релевантності зображень, підтвердження результативності запропонованих модифікацій на прикладах зображень, отримання прикладних програмних моделей для дослідження та впровадження методів класифікації у системах комп'ютерного зору.

Ключові слова: структурні методи розпізнавання зображень, детектор BRISK, кластеризація у просторі дескрипторів, узагальнений дескриптор, хешування, релевантність описів, голосування, метрика Хемінга, швидкодія визначення релевантності.

Вступ

Структурні методи розпізнавання зображень на підставі формування опису об'єктів у вигляді множини ключових точок (КТ) набули застосування завдяки таким практично важливим властивостям, як інваріантність отриманого опису до геометричних перетворень об'єктів, можливість прийняття рішення за неповним описом, стійкість до завад та ін. [1-5]. Основні проблеми впровадження цих методів у системах комп'ютерного зору пов'язані з вдалим вибором типу дескриптора КТ, встановлення необхідної для успішного розпізнавання кількості КТ у описах, поданні опису у стисненому вигляді задля скорочення обчислювальних затрат, пов'язаних з процедурами визначення релевантності для множин КТ, що описують зображення об'єктів.

Останнього часу набули популярності такі детектори КТ, як BRISK [1, 5], так як вони подають дескриптор КТ у виді бінарного вектору ознак, що сприяє можливості застосування обговорюваних методів у мобільних пристроях. Бінарний образ дескриптора КТ не тільки спрощує та прискорює

обчислення, але й досить ґрунтовно відображає властивості фрагментів зображення, що в подальшому сприяє якісному розпізнаванню.

Напрямки сучасних досліджень, що в цілому сприяють підвищенню ефективності структурних методів, пов'язані зокрема з такими задачами, як подання множини дескрипторів у кластерному виді, формуванні «спільного дескриптора» на підставі множини дескрипторів КТ усього зображення, застосуванні хешування у просторі дескрипторів [2, 3, 6].

Метою статті є проведення експериментального дослідження модифікацій методу класифікації зображень з використанням подібності описів у просторі дескрипторів ключових точок на підставі апарату аналізу бітових даних.

Задачами дослідження є розроблення математичних та програмних моделей оброблення даних при обчисленні подібності структурних описів, вивчення властивостей та особливостей застосування цих моделей з урахуванням значень їх параметрів, оцінювання результативності за результатами оброблення конкретних зображень.

Опис пропозованих модифікацій при здійсненні зіставлення описів

Під ключовою точкою розуміємо бінарний вектор $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, $b_i \in \{0, 1\}$, причому для детектора BRISK значення $n = 512$. Структурний опис зображення візуального об'єкта – це скінченна множина $B \in \{b, b \in B^n\}$, де B^n – множина всіх бінарних векторів розмірності n . У складі опису B можливе співпадання значень окремих елементів.

Традиційний метод для обчислення релевантності двох описів O_1, O_2 зводиться до підрахунку числа r «еквівалентних» елементів одного з описів, що вважається еталоном, у складі іншого опису

$$r = \text{card}\{x_1 \in O_1 \mid x_1 \sim x_2, x_2 \in O_2\}. \quad (1)$$

Еквівалентність $x_1 \sim x_2$ в (1) трактується як

$$x_1 \sim x_2 : \rho(x_1, x_2) \leq \delta, \quad (2)$$

де ρ – деяка метрика у просторі B^n , δ – поріг для значення метрики, в межах якого елементи x_1, x_2 вважаються еквівалентними.

Як правило, прийняття рішення ґрунтується на нормованому значенні r , де параметром нормування є чисельність $m_1 = \text{card}\{O_1\}$ елементів етальної множини O_1 . Для дескрипторів КТ з простору B^n у виразі (2) можна використати нескладну для обчислень метрику Хемінга. Більш проблематичні за обсягом обчислень підходи пов'язані з визначенням мір подібності чи відстані у просторі описів як множин КТ [3]. Перспективною ідеєю задля суттєвого скорочення об'єму обчислень є кластерне подання [3], тому структурний опис подається у вигляді

$$h[O] = (h_1, h_2, \dots, h_k),$$

де k – число сформованих кластерів, h_i – число елементів опису, що віднесені у процесі кластеризації до кластеру з номером k . Як правило, квантування здійснюють в межах розпізнаваної бази зображень, тобто на фіксованій множині етальних описів. У результаті такої трансформації опис представляється вектором, при визначенні релевантності описів обчислюється подібність векторів h (а не множин O векторів). Як показують експерименти, час розпізнавання практично зі збереженням якості навіть для невеликого числа етальонів (5-10) скорочується в десятки разів [3, 7]. Параметрами такої модифікації є вибраний метод кластеризації, кількість кластерів, значення порогу для встановлення еквівалентності дескрипторів та ін.

Узагальнення кластерного квантування простору дескрипторів КТ приводить до думки на основі опису еталона як множини векторів побудувати узагальнений дескриптор $d[O] = (d_1, \dots, d_n)$, $d \in B^n$, що відображає властивості всієї множини O [4]. Задача побудови дескриптора $d[Z^j]$ для еталону Z^j класу j реалізується шляхом відображення

$D: Z^j \rightarrow d[Z^j]$, результатом якого є вектор $d \in B^n$. Відображення D трансформує множину векторів у вектор, що належить B^n .

Побудова спільного дескриптора націлена не тільки на скорочення обсягу обчислювальних витрат, стільки на узагальнення і концентрування важливої для класифікації інформації про розпізнавані об'єкти в аспекті побудови ефективного класифікаційного правила. Результат являє собою деякий узагальнений «центр» етального опису. Важливою властивістю узагальненого дескриптора є вимога його незалежності від порядку слідування дескрипторів у описові, так як це гарантує інваріантність його значень відносно групи геометричних перетворень, до яких інваріантні дескриптори [4].

Одним із найпривабливіших механізмів для побудови спільного дескриптора є апарат аналізу бітових даних. Наприклад, спільний дескриптор d можна побудувати шляхом інтелектуального аналізу та узагальнення значень груп відповідних бітів для кожного з елементів опису. Результуючий дескриптор d при цьому може бути складено з комбінацій бітів, що найчастіше зустрічаються у множині елементів $x \in O$, тобто мають найбільшу підтримку.

Оброблення за аналізом значень бітів або байтів формує значимі властивості сукупності елементів опису, а послідовне об'єднання їх у новий вектор зберігає вихідну структуру даних і їх уніфікацію. Більш детальний аналіз зводиться до побітового [1].

Дієвим засобом підвищення швидкодії оброблення об'ємних масивів багатовимірних даних є апарат хешування. Суть хешування полягає в тому, що потенційно нескінченне число оброблюваних елементів представляється у вигляді скінченної множини їх класів. Як правило, його застосовують для задач пошуку, сортування [8,9]. Практика показує, що ефективним є також використання хеш-функцій і при зіставленні масивів даних, в тому числі і для множин дескрипторів КТ [6]. Зважаючи на те, що дескриптори BRISK є бінарними, для визначення хеш-функцій можна застосувати аналіз значень комбінацій бітів.

Нехай b – задане число класів для хешування, а $g(x)$, $x \in B^n$ – хеш-функція $g(x) \in [0, \dots, b-1]$, що задана на інтервалі значень цілих чисел. Результатом оброблення опису O буде хеш-таблиця, тобто масив із b списків, що містять групи дескрипторів із фіксованими значеннями $g(x)$. Результативність такого подання для прикладної задачі безпосередньо залежить від виду вибраної хеш-функції, кількості b класів, а також безпосередньо від оброблюваних даних. Один із поширених видів хеш-функцій є значення кількості одиничних бітів у бінарному коді.

Порівняння двох хеш-таблиць з метою отримання ступеня їх релевантності – це окреме важливе завдання. Воно може бути реалізоване у нашій постановці як відстань у цілочисельному векторному просторі між векторами, що містять кількості елементів даних з фіксованим значенням $g(x)$. Інший

спосіб полягає у реалізації підрахунку кількості елементів із однієї хеш-таблиці, що входять у склад другої. У будь-якому випадку хешування забезпечує суттєве скорочення обсягу обчислень за рахунок спеціальної організації пам'яті [6].

Результати експериментів

Нами проведено програмне моделювання досліджуваних модифікацій методів мовою C# у середовищі Visual Studio 2017 з використанням засобів бібліотеки Open CV [10].

Оцінювання результативності застосування кластерного апарату відбувалось на прикладі задачі ідентифікації людських облич, зокрема, з метою виявлення ступеня схожості фотографій близнюків та родичів. На рис. 1, а, б наведено приклади досліджуваних об'єктів за зображеннями розміром 250x260. Експерименти проводилися з числом кластерів $k=2, 3, 5$. Приклад координат виділених детектором BRISK КТ представлено на рис. 1, в. Кількість встановлених КТ для зображень рис. 1 дорівнювала 160, для зображень рис. 1, б – 115.



Рис. 1. Зображення: а – близнюків; б – матері та доньки; в – з координатами КТ

Кластеризація в межах бази із двох зображень виконана методом к-середніх. Особливістю є бінарний вид множини дескрипторів. Модифікація методу кластеризації зводилась до того, що на кожному кроці новий центроїд кластера формується так: у поточній множині елементів кожного кластера побітово рахується кількість 0 та 1, якщо кількість 1 більше, то біт центроїда встановлюється рівним 1, навпаки – 0.

Особливістю результатів кластеризації для обох типів зображень є зосередження їх кластерних подань фактично у 2-х кластерах. Для рис. 1, а пропорції числа КТ склали приблизно 90-60, а для рис. 1, б – 93-22 незалежно від числа кластерів. Така практична ситуація, як правило, сприяє кращому розрізненню об'єктів. Значення манхеттенської відстані, за якою визначено релевантність для векторних подань двох зображень рис. 1 при $k=5$ має значення 7, а для рис. 2 – значення 12. Зважаючи, що максимальне значення відстані тут складає 160, а мінімальне – 0, можна зробити незаперечний висновок про достатню адекватність використання кластерної моделі в задачі зіставлення описів таких об'єктів. Загалом відстань для близнюків в ряді інших експериментів була меншою за відстань для матері та доньки для всіх значень k . В той же час відстань у кластерному поданні між представниками зображень рис. 1, а, б перевищує значення 130. Це підкреслює чутливість методу до незначних особливостей зображення і його можливість широкого застосування у системах комп'ютерного зору.

Аналіз комп'ютерних витрат часу на обчислення значення релевантності за кластерним поданням у порівнянні з традиційним методом голосування КТ шляхом підрахунку числа еквівалентних дескрипторів для зображень рис. 1, а, б показав вигреш у 2,5 рази. Вигреш пропорційно зростає зі збільшенням кількості КТ та числа еталонів у задачі класифікації.

Для моделювання процедури зіставлення описів із застосуванням хешування використано зображення тварин (бегемот) розміром 530x270, кількість КТ детектора BRISK склала величину 960. Здійснено поворот зображення на 15 градусів, обчислена релевантність вхідного та оберненого зображень шляхом голосування значень дескрипторів КТ, а також визначення манхеттенської відстані між побудованими хеш-таблицями. Хеш-функція при $b=512$ підраховувала число одиничних бітів. На рис. 2 представлено ненульовий відрізок хеш-таблиці вхідного зображення.

За результатом моделювання релевантність зображень традиційним голосуванням склала величину 0,77 (час – приблизно 27 сек), а шляхом обчислення нормованої відстані між хеш-таблицями – 0,21 (час – 0,033 сек).

Як бачимо, хеш-подання без втрати даних суттєво прискорює процес обчислення ступеня релевантності описів, не погіршуючи значення подібності. Час оброблення для даного прикладу скорочується у порівнянні з традиційним голосуванням приблизно 800 разів і залежить від кількості КТ в описі та від способу визначення релевантності хеш-таблиць.

Реалізація голосування для структури даних у вигляді хеш-таблиць для множин КТ показала, що у цьому випадку результат обчислення релевантності суттєво залежить від вибраної хеш-функції, а сама процедура повинна бути безпосередньо пов'язана з її виглядом.

Експериментальне визначення узагальненого дескриптора здійснювалося на зображеннях ікон (рис. 3) двома способами: побітове оброблення та оброблення за парами бітів із внесенням до узагальненого дескриптора значень, що найчастіше зустрічаються у фіксованому структурному описі.

Кількість КТ для зображень ікон 400x540 склала 1350 і скорочувалася в експерименті в цілях до-

слідження. Релевантність описів обчислювалась як відстань Хемінга між узагальненими дескрипторами та як нормоване число голосів еквівалентних значень дескрипторів КТ для двох різних описів.

Як показало наше моделювання, зі збільшенням числа КТ в описові з використанням вказаних способів побудови узагальненого дескриптора за критерієм частоти входження до опису відстань між узагальненими дескрипторами різних зображень зменшується, тобто ймовірність їх розрізнення дещо погіршується. Так, міра подібності за голосуванням для двох різних ікон склала 0,12 (максимум 1,0), в той час як нормована до числа точок еталону відстань Хемінга для їх узагальнених дескрипторів склала 0,068 (мінімум 0). Але уже для скороченого випадковим чином опису із 50 КТ ця відстань зростає до 0,32. Цей факт можна пояснити зростанням ступеня різноманіття даних всередині опису, що для вибраного виду оброблення призводить до деякого «розмазування» образу у просторі, зменшення рівня індивідуальності його подання та до збільшення рівня перетину образів різних зображень. Для досягнення достатнього ступеня розрізненості образів тут можна рекомендувати попереднє оброблення опису для включення в його склад тільки найбільш значущих для даного зображення дескрипторів. Для конкретних зображень в експерименті при вказаному способі побудови узагальненого дескриптора рекомендується використовувати 50-70 КТ. Час обчислень для модифікованого методу у порівнянні з голосуванням зменшився приблизно у 10 разів. Для методу попарного аналізу бітів відстань у просторі узагальнених дескрипторів приблизно вдвічі менша, що потребує ще більшого зменшення опису для досягнення чіткого розрізнення за цим способом.

Висновки

Методи класифікації зображень з використанням подібності описів у просторі дескрипторів ключових точок отримують подальший розвиток та застосування на підставі впровадження апарату

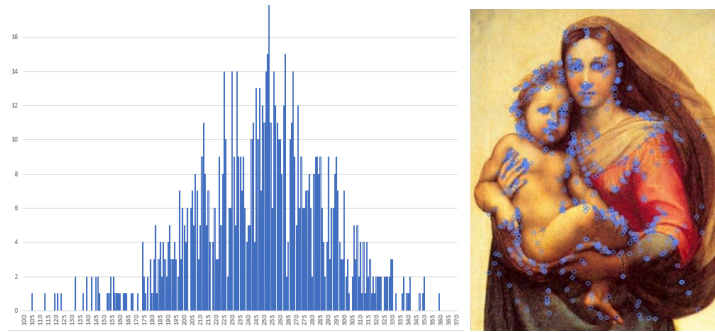


Рис. 2. Ненульова частина хеш-таблиці зображення та зображення ікони «Сікстинська мадонна» з координатами КТ

аналізу бітових даних. Кластерне подання описів не тільки скорочує час оброблення, але й показує чутливість модифікації методу до незначних особливостей зображення і його можливість широкого застосування у комп'ютерному зорі. Хешування опису без втрати даних суттєво (у експерименті у сотні разів) прискорює процес обчислення ступеня релевантності описів. Вибрана хеш-функція може впливати на результат і сприяти покращенню розрізнення зображень. Побудова узагальненого опису у вигляді спільного дескриптора значно (у десятки разів) скорочує час обчислень, при цьому виникає потреба у попередньому обробленні опису з метою формування скороченого опису із значущих для таких зображень дескрипторів.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу структурного розпізнавання зображень на основі опису як множини дескрипторів ключових точок шляхом застосування апарату кластеризації, виявлення узагальнених властивостей та хешування даних для визначення модифікованих мір релевантності аналізованих та еталонних описів.

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.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гороховатський В.О. Аналіз властивостей, характеристик та результатів застосування новітніх детекторів для визначення особливих точок зображення / В.О. Гороховатський, Д.В. Пупченко, К.Г. Солодченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – №1 (47). – С. 93–98.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – London: Springer, 2010. – 979 p.
3. Gorokhovatskiy V.A. Image Classification Methods in the Space of Descriptors in the Form of a Set of the Key Point Descriptors / V.A. Gorokhovatskiy // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018, 77 (9), pp. 787-797.
4. 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.
5. Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Y. Siegwart. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints. – Computer Vision (ICCV), pp. 2548 – 2555, 2011.
6. Gorokhovatskiy V.A. Hashing of Structural Descriptors at Building of the Class Image Descriptor, Computing of Relevance and Classification of the Visual Objects / V.A. Gorokhovatskiy, A.V. Gorokhovatskiy, & Ye.O. Peredrii // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018, Vol. 77 (13), pp. 1159–1168.
7. Gorokhovatskiy V. Quantization of the Space of Structural Image Features as a Way to Increase Recognition Performance / Gorokhovatskiy Volodymyr, Putyatin Yevgeniy, Gorokhovatskiy Oleksii, Peredrii Olena // The Second IEEE International Conference on DataStream Mining & Processing 21-25 August 2018, Lviv, Ukraine. – pp. 464 – 467.
8. Алгоритмы: построение и анализ. Издание 2-е / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – М.: ИД Вильямс, 2005. – 1296 с.
9. Ruban I. Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolution-ary method

/ I. Ruban, H. Khudov, V. Khudov, I. Khizhnyak, O. Makoveichuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. –№ 5/9 (89). –P. 49–57.
10. OpenCV Open Source Computer Vision. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org/master/index.html>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є. П. Путятін,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 11.07.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.09.2018

Исследование модификаций метода установления релевантности изображений объектов с описаниями в виде множества дескрипторов ключевых точек

В. А. Гороховатский, А. А. Васильченко, К. П. Манько, Р. П. Пономаренко

Предметом исследований в статье являются модели для установления степени релевантности между изображениями в пространстве дескрипторов ключевых точек изображений для реализации структурных методов распознавания зрительных образов в системах компьютерного зрения. **Целью** является проведение экспериментального исследования эффективных по параметру быстродействия модификаций способов установления сходства описаний в пространстве дескрипторов на основании аппарата анализа битовых данных. **Задачи:** разработка математических и программных моделей обработки данных при вычислении сходства структурных описаний, изучение свойств и особенностей применения этих моделей, оценка эффективности по результатам обработки конкретных изображений. Используемыми **методами** являются: детектор BRISK формирования дескрипторов ключевых точек, интеллектуальный анализ данных, метод кластеризации k-средних, методы побитовой обработки и подсчета частоты вхождения данных, теория хеширования битовых данных, программное моделирование. Получены следующие **результаты**. Методы классификации изображений с использованием сходства описаний в пространстве дескрипторов ключевых точек получают дальнейшее развитие и применение на основании внедрения аппарата анализа битовых данных. Кластерное представление описаний не только сокращает время обработки, но и доказывает чувствительность модификации метода к незначительным особенностям изображения и его возможность широкого применения в системах компьютерного зрения. Хеширование описания без существенной потери данных ускоряет (в эксперименте в сотни раз) процесс вычисления степени релевантности описаний. Выбранная хэш-функция может влиять на результат и способствовать улучшению уровня различия изображений. Построение обобщенного описания в виде общего дескриптора значительно сокращает время вычислений, при этом возникает потребность в предыдущей обработке описания с целью формирования сокращенного описания из списка значимых дескрипторов. **Выводы.** Научная новизна исследования заключается в совершенствовании метода структурного распознавания изображений на основе описания множества дескрипторов ключевых точек путем применения аппарата кластеризации, выявления обобщенных свойств и хеширования данных для определения модифицированных мер релевантности анализируемых и эталонных описаний. Практическая значимость работы – достижение существенного уровня повышения быстродействия вычисления релевантности изображений, 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, детектор BRISK, кластеризация в пространстве дескрипторов, обобщенный дескриптор, хеширование, релевантность описаний, голосование, метрика Хемминга, быстродействие определения релевантности.

Investigation of the relevance image objects estimation method modifications with descriptions in the form of keypoints features set

V. Gorokhovatskyi, A. Vasylchenko, K. Manko, R. Ponomarenko

The subject of the paper is the models for estimation of the relevance degree between images in the space of key points descriptors for the implementation of visual images structural recognition methods in computer vision systems. **The goal** is the experimental modeling of methods modifications implementations effective in terms of performance for estimation of keypoint descriptors similarity based on the bit data analysis approach. **The tasks** include the development of mathematical and software data processing models for calculation of the structural descriptions similarity, the investigation of the properties and application features of these models, the effectiveness evaluation according to specific images processing results. **The methods** are to be used: BRISK detector for forming of key point descriptors, data mining, k-means clustering method, methods of bitwise processing and data entry frequency calculation, the theory of bit data hashing, experimental modeling. Following **results** are obtained. Image classification methods based on the similarity of key point descriptors are improved and applied using the implementation of the bit data analysis approach. The cluster descriptions representation allows not only to reduce the processing time but also to show the sensitivity of method modification to insignificant image feature and its ability to be widely used in computer vision systems. Hashing the description without losing data is significantly (hundreds of times during modeling) accelerates the process of descriptions relevancy degree calculation. The selected hash function can influence the result and help to increase the level of image distinguishing. The construction of the general description in a form of a common descriptor significantly reduces the computing time, because of which the requirement of a prior description processing in order to form a shortened description from the list of valuable descriptors occurs. **Conclusions.** The contribution of the paper is to improve the structural image recognition method based on the description as a set of key point features using clustering approach, the identification of generalized properties and data hashing to determine the modified relevance measures of the analyzed and etalon descriptions. The practical significance of the paper is the achievement of a significant 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, BRISK detector, clustering in descriptor space, generalized descriptor, hashing, relevancy of descriptions, voting, Hamming metric, speed of relevancy determination.

К. Ю. Дергачёв, Л. А. Краснов, А. А. Челядин

Национальный аэрокосмический университет “ХАИ”, Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛИЦ ПО МЕТОДУ ВИОЛЫ-ДЖОНСА

Предложены новые методы повышения эффективности работы алгоритмов обнаружения и детектирования лиц на цифровых изображениях и видеопоследовательностях, основанных на методе Виолы-Джонса, и используемых при решении задач распознавания лиц. Это позволяет устранить влияние одного из главных факторов помех – компенсировать влияние изменений уровня освещенности сцены на качество обнаружения лиц. Для этого в классическую структуру этих алгоритмов дополнительно введена процедура автоматической стабилизации яркости кадра. Описана структура алгоритмов, для них разработано программное обеспечение на языке Python с использованием ресурсов библиотеки OpenCV, что позволяет вести обработку видеоданных в реальном масштабе времени. Предложена и программно реализована оригинальная методика оценки эффективности работы алгоритма по критерию максимума вероятности правильного обнаружения лиц и их главных элементов (глаз, носа, рта). Сопоставляются результаты работы классических и предложенных алгоритмов. Приводятся примеры работы и результаты тестирования программного обеспечения.

Ключевые слова: обнаружение и детектирование лиц, метод Виолы-Джонса, автоматическая стабилизация яркости кадра, вероятность правильного обнаружения лиц и их главных элементов.

Введение

Обнаружение лиц на изображениях является важнейшим предварительным этапом при решении задач более высокого уровня — распознавания лица, деталей лица или его мимики. Результаты надежного и достоверного решения задачи обнаружения позволяют получить информацию о присутствии и количестве лиц на изображении. Обычно такую информацию принято использовать в системах автоматического учета числа посетителей; системах пропускного контроля в учреждениях, аэропортах и метро; автоматических системах предотвращения несчастных случаев и пр. Отметим, что практические потребности в повышении качества распознавания лиц в самых разнообразных приложениях постоянно возрастают. А это требует неуклонного повышения качества обработки видеоданных и совершенствования алгоритмов распознавания лиц в сложных условиях.

Рассмотрим более подробно решение первой части общей задачи – обнаружения и детектирования лиц. Сейчас наиболее популярным методом для поиска области лица на изображении является метод Виолы-Джонса из-за его высокой скорости и эффективности [1, 2]. Сущность этого метода основана на интегральном представлении изображения, методе построения классификаторов на базе алгоритма адаптивного бустинга (AdaBoost), и методе комбинирования классификаторов в каскадную структуру. В методике Виолы-Джонса впервые использованы каскады вейвлетов Хаара, обеспечивающие разбивку заданной прямоугольной области на разнотипные прямоугольные подобласти. Это позволяет построить детектор лиц, работающий в режиме реального времени с довольно высоким качеством. Однако существует ряд возмущающих факторов, ограничивающих эффективность работы алгоритма. Главный из них – это плохое качество освещения сцены.

Цель работы – создание алгоритмов детектирования лиц, обеспечивающих автоматическую

стабилизацию яркости анализируемого изображения независимо от уровня освещенности и методики оценки эффективности их работы в сравнении с классическим алгоритмом.

Методы и средства построения новых алгоритмов

Рассмотрим основные методы и средства для решения поставленной задачи.

Используемые ресурсы. При создании алгоритмов авторы использовали язык программирования Python и ресурсы библиотеки OpenCV [3, 4]. Этот выбор обусловлен открытым доступом к программным продуктам и их совместимостью с операционными системами Windows, Linux и Android. Работа алгоритмов также достаточно легко реализуется и на одноплатном компьютере Raspberry Pi.

Используемый набор средств программирования не оказывает большой нагрузки на процессор. Для существенного увеличения быстродействия при обработке видеоданных все основные процедуры реализованы с помощью стандартных функций OpenCV.

Стабилизация контрастности видеоданных. Обнаружение и регистрация лиц с помощью различных видеорегистраторов обычно происходит на фоне различного рода помех. Одним из доминирующих негативных факторов является изменчивость освещенности сцены. Это могут быть как быстро меняющиеся условия освещения, так и медленные его изменения, обусловленные например наступлением сумерек. Все это приводит к плохо контролируемым вариациям контрастности кадров, а значит и к ухудшению качества обработки. Для преодоления этих трудностей (неконтролируемых изменений контрастности кадров в зависимости от уровня освещенности) предложено исходную видеопоследовательность из цветового пространства RGB конвертировать в пространство YUV с помощью функции:

```
img_yuv = cv2.cvtColor
(img, cv2.COLOR_BGR2YUV).
```

Обычно диапазон значений RGB составляет $[0 \div 255]$ для каждой компоненты, а для цветового пространства YUV используются диапазоны:

- $Y \rightarrow [0 \div 255]$;
- $U \rightarrow [-112 \div 112]$;
- $V \rightarrow [-157 \div 157]$.

В цветовом пространстве YUV [5] используется явное разделение информации о яркости и цвете. Цвет представляется в виде трех компонент – яркостной (Y) и двух цветоразностных (U и V).

Поэтому после перевода кадра RGB видеопоследовательности в цветовое пространство YUV в нем осуществляется процедура эквализации (повышения контрастности) только для компоненты Y с помощью функции:

```
img_yuv[:, :, 0] =
cv2.equalizeHist(img_yuv[:, :, 0]),
```

а затем производится обратное преобразование кадра из формата YUV в формат RGB :

```
img_output=cv2.cvtColor
(img_yuv, cv2.COLOR_YUV2BGR).
```

При этом баланс цвета сохраняется без изменений, так как цветоразностные компоненты U и V преобразования не подвергались.

Переход из цветового пространства RGB в пространство YUV позволяет просто оценить средний уровень яркости кадра по компоненте Y . Наиболее объективным и устойчивым показателем на наш взгляд является MB (Medium Brightness), который вычисляется как

$$MB = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M Y(i, j)$$

где $Y(i, j)$ – двумерный массив чисел, определяю-

щих яркость пикселей изображения кадра размером $M \times N$. Этот показатель тем более полезен, что при малых уровнях яркости кадра в системах видеонаблюдения для распознавания лиц удобно использовать процедуру его сравнения с предварительно установленным порогом для автоматического включения/выключения системы подсветки сцены. Однако, использование показателя средней яркости MB вызывает и существенные затруднения. В библиотеке OpenCV отсутствует оптимизированная функция вычисления нормированной средней яркости изображений, а циклическое суммирование показателей яркости пикселей по всему кадру (в особенности больших размеров) слишком замедляет работу алгоритмов и не дает вести обработку в реальном масштабе времени. Поэтому в предлагаемом алгоритме этот показатель не используется, а контроль уровня освещенности сцены ведется адаптивно на основании иных показателей, работа которых будет описана далее.

Эквализация обеспечивает выравнивание гистограмм и приводит показатель средней яркости изображения к значению ($MB = 127$) независимо от того, каким этот показатель был для исходного изображения. Стабилизация уровня средней яркости кадров упрощает обработку видеоданных. Это делает алгоритм более устойчивым к воздействию внешних факторов. Использование процедуры эквализации в работе алгоритма обнаружения лица и глаз показано на рис. 1.

Обнаружение и детектирование лиц методом Виолы-Джонса. Большинство современных систем распознавания при поиске и выделении лиц ориентированы на использование метода Виолы-Джонса. Он основан на интегральном представлении изображения, построении классификаторов на базе алгоритма адаптивного бустинга и создании классификаторов в виде каскадной структуры.

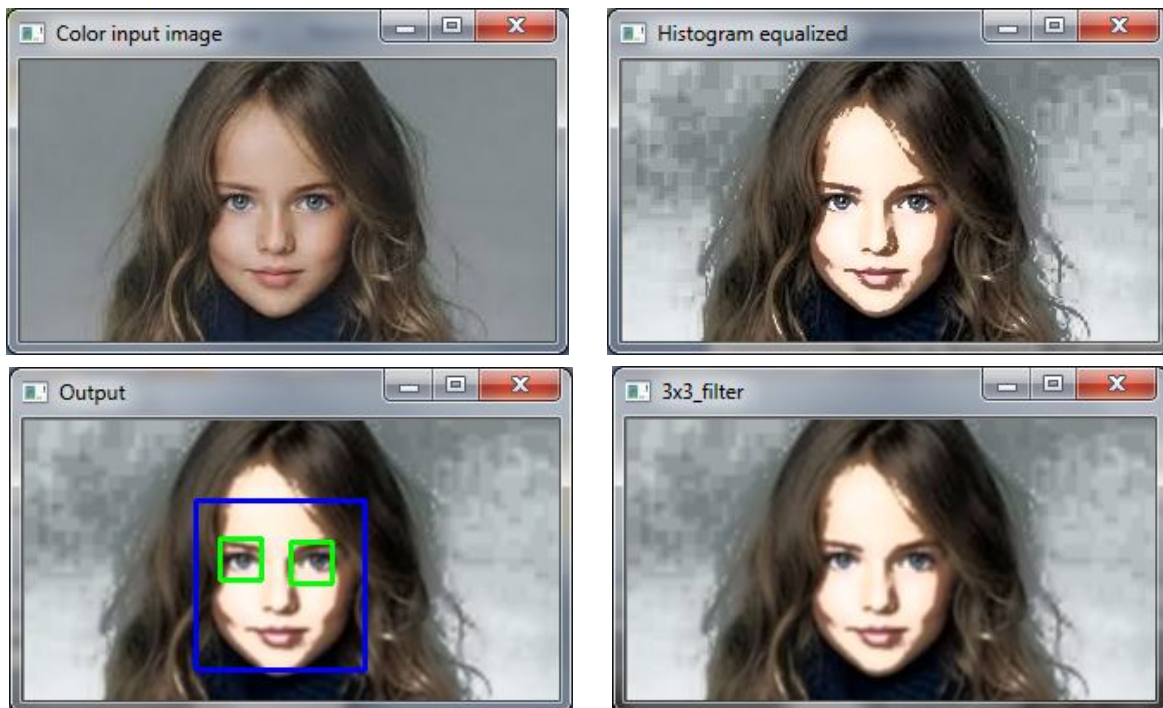


Рис. 1. Обнаружение лица и глаз с использованием процедуры эквализации при слабой освещенности сцены

Наиболее трудоемким является процесс обучения каскадов Хаара с помощью алгоритма машинного обучения AdaBoost. Однако, в настоящее время для каскадных классификаторов Хаара существует большое количество уже обученных каскадов, в том числе в стандартной поставке библиотеки OpenCV. Её установочный пакет содержит целый набор готовых обученных классификаторов, сохраненных в виде файлов с расширением «*.xml». В этом наборе имеются классификаторы, как для поиска лица, так и его отдельных частей (глаз, рта, носа).

Не останавливаясь подробно на предназначении и свойствах отдельных классификаторов, отметим, что особый интерес среди них представляют те, которые позволяют определить положение глаз. Это очень полезная процедура, поскольку она дает возможность оценки расстояний между зрачками, и при дальнейшем анализе позволяет устранять факторы, связанные с наклоном головы. Классификаторы, обученные поиску глаз, весьма чувствительны к наличию очков. В большинстве случаев они дают сбой, особенно для очков полностью скрывающих глаза. В таких случаях следует использовать более эффективный классификатор для обнаружения глаз:

haarcascade_eye_tree_eyeglasses.xml»

Он обучен поиску на изображении глаз в очках, и может быть использован как запасной вариант в случаях сбоя в работе обычного классификатора.

Наиболее эффективными являются методы поиска основных элементов в уже выделенной области лица, так как это локализует регион поиска и сокращает время анализа, а также значительно понижает вероятность ложных срабатываний. Выбор областей интереса для обнаружения глаз, носа и рта требует оптимизации положения и размеров области поиска для каждого элемента лица. Примеры такого разбиения выделенной области на зоны поиска отдельных элементов лица в предлагаемом алгоритме показан на рис. 2. Размеры областей поиска для нашего алгоритма определялись экспериментально, но при необходимости могут быть оптимизированы дополнительно. Обратите внимание, что существует две возможности обнаружения глаз – выделение общей для двух глаз области интереса (или области поиска) и поиск и обнаружение левого и правого глаза отдельно. В библиотеке OpenCV для этого предусмотрены соответствующие классификаторы. Какой из этих методов предпочтительнее, в нашей работе будет определено экспериментальным путем.

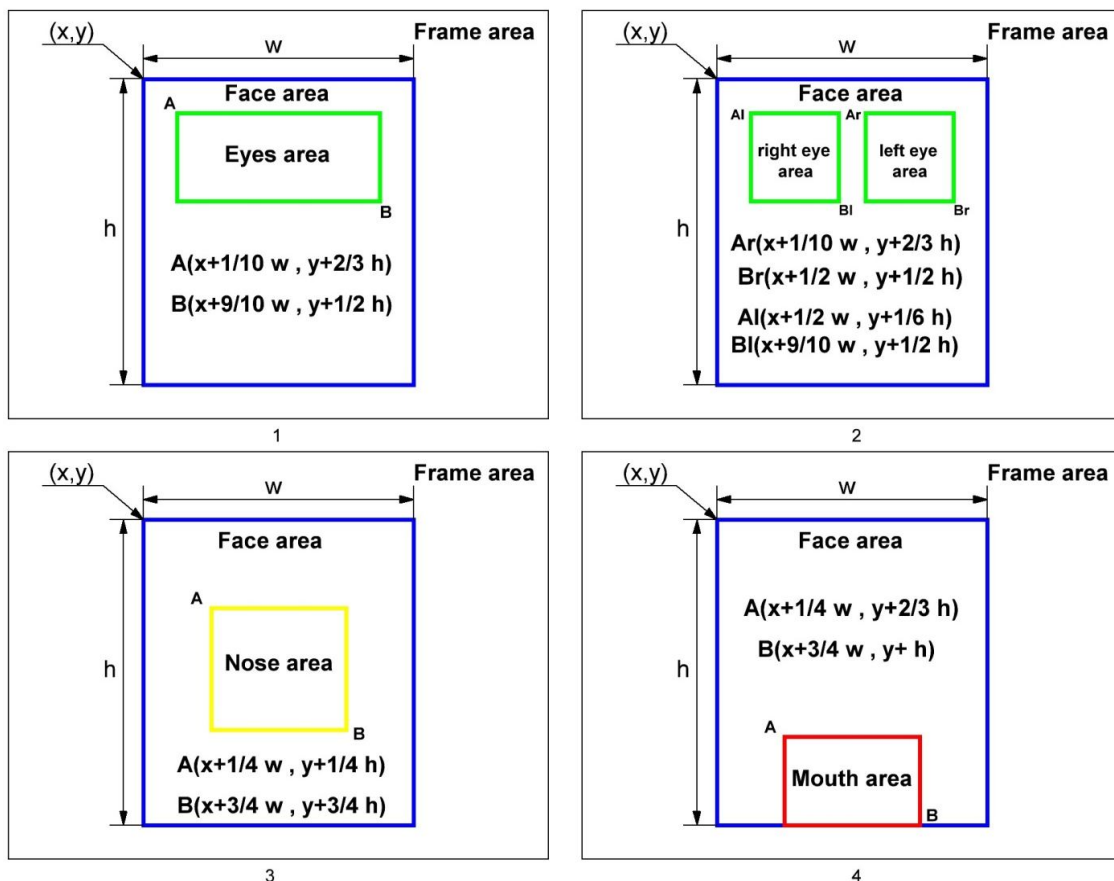


Рис. 2. Зоны поиска лиц и их элементов в кадре (координаты отдельных зон поиска)

Показатели качества работы алгоритмов и методы их использования. Объективным критерием эффективности работы любого алгоритма детектирования лиц и их элементов в кадрах видеопоследовательности является показатель вероятности правиль-

ного обнаружения лица при условии его наличия в кадре. Процедура обнаружения лица в текущем кадре с применением соответствующего каскадного классификатора в случае успеха завершается построением прямоугольника с помощью функции OpenCV

```
cv2.rectangle(frame, (x, y) (x+w, y+h),
255, 0, 0), 2).
```

Успешное завершение детектирования лица в программном коде алгоритма необходимо сопроводить появлением события логической 1; в противном случае — появлением логического 0.

Для создания устойчивого критерия качества правильного обнаружения лиц рассчитывалась вероятность P_n , полученная по результатам подсчета в скользящем окне размером 100 кадров количества успешных обнаружений. При стандартной скорости смены кадров видеокамеры 30/с окно имеет постоянную времени изменения P_n примерно равную 3,3 с. Качество работы детектора можно считать удовлетворительным при $P_n \geq 0,9$. По показателю вероятности правильного обнаружения лиц в кадре легко анализировать влияние различных факторов (в том числе изменений освещенности, геометрических факторов и пр.) на качество работы алгоритмов обнаружения и детектирования лиц.

Аналогичным образом рассчитываются и вероятности правильного обнаружения глаз, носа, рта в соответствующих областях. Эти показатели вычисляются как условная вероятность такого события

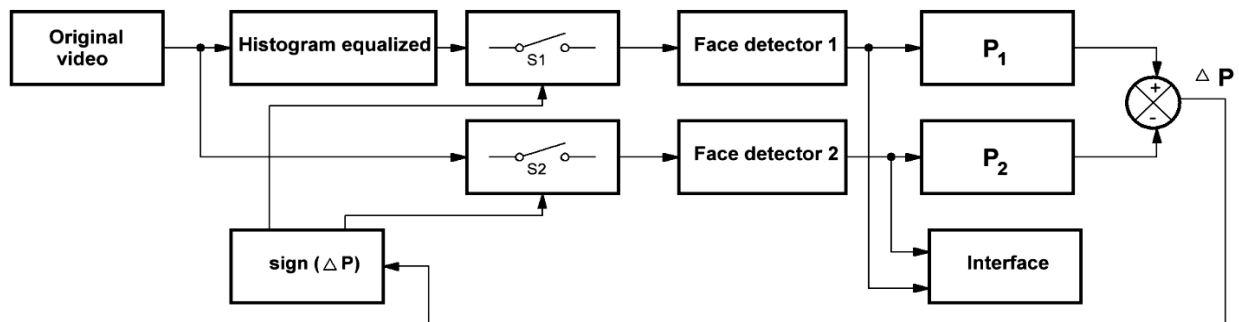


Рис. 3. Обобщенная структура адаптивного алгоритма детектирования лиц

По мнению авторов, такой метод адаптации к изменениям освещенности сцены существенно лучше метода оценки показателя средней яркости кадра MB , так как его использование не накладывает существенных ограничений на скорость обработки видеоданных.

Практическая реализация алгоритмов

Рабочие версии алгоритмов обнаружения лиц создавались с учётом описанных выше подходов и ресурсов. Была поставлена задача обнаружения лиц, глаз, носа и рта. При этом обнаружение глаз осуществлялось двумя способами — с использованием классификатора для детектирования глаз в общей

- `face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')`
- `eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_eye.xml')`
- `right_eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_righteye_2splits.xml')`
- `left_eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_lefteye_2splits.xml')`
- `nose_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_nose.xml')`
- `mouth_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_mouth.xml')`

Результаты обнаружения одного или нескольких лиц с помощью предложенных алгоритмов показаны на рис. 4. Следует отметить, что наиболее устойчивые результаты обнаружения лица и его элементов наблю-

при условии правильного обнаружения всего лица. С достоверностью приемлемой для практического использования можно считать события обнаружения отдельных элементов лица независимыми. Следовательно, вероятность правильного обнаружения всех элементов можно оценивать как произведение вероятностей обнаружения этих элементов.

Для адаптации предлагаемых в нашей работе алгоритмов детектирования лиц к условиям изменения внешнего освещения сцены предложено организовать два канала обработки видеоданных (схема на рис. 3). В одном из них исходный видеопоток используется непосредственно для обнаружения лиц, а во втором канале производится его предварительная эквализация для приведения яркости кадра к среднему значению. На выходах обоих каналов обработки в скользящих окнах размером в 100 кадров вычисляются вероятности правильного обнаружения лиц и их элементов, а затем их сопоставляют в блоке сравнения. В зависимости от знака разницы вероятностей ΔP_n с помощью петли обратной связи на выход системы передаются результаты обнаружения лиц из того канала, в котором условия освещения более комфортны для работы алгоритма обнаружения лиц.

зоне поиска и классификаторов отдельного обнаружения (правого и левого глаза отдельно). Далее сравним эти два способа по показателю вероятности обнаружения глаз. Для экономии времени, ресурсов и простоты реализации алгоритмов в нашем проекте использовался набор предварительно обученных каскадных классификаторов Хаара для соответствующих элементов лица, импортированный из библиотеки OpenCV. Считаю уместным напомнить о необходимости размещения этих классификаторов в корневой папке Python. Это поможет избежать ошибок при поиске путей обращения к ним и ускорит обработку исходных данных. Далее приведен перечень использованных классификаторов:

даются при условии фронтально расположенного по отношению к лицу источника освещения сцены, Благоприятный геометрический фактор процедуры обнаружения предполагает наклоны головы не более 30° .

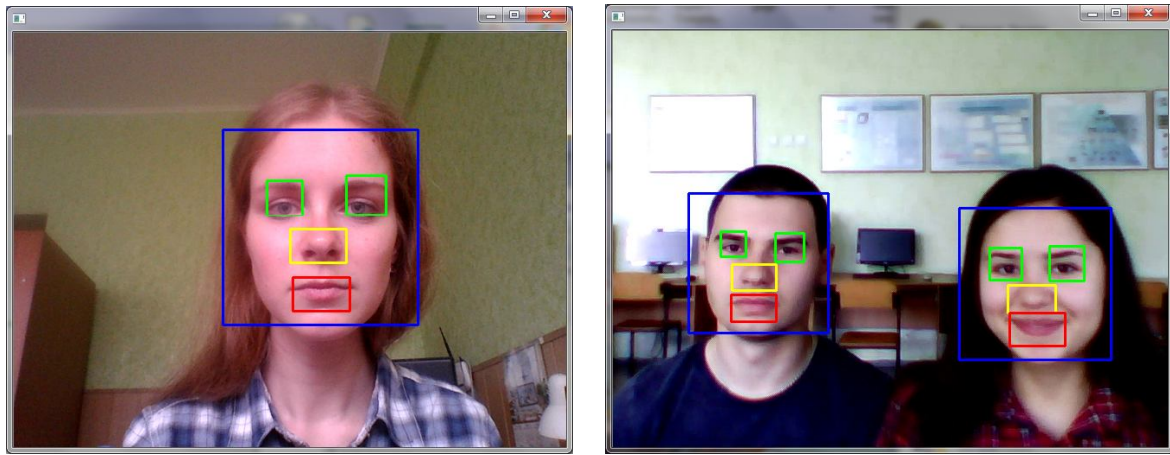


Рис. 4. Результаты обнаружения лиц и их элементов в кадре

Поскольку методы и средства создания алгоритмов уже обсуждались достаточно подробно, далее остановимся только на структурных особенностях построения новых алгоритмов. Рассмотрим два различных варианта построения адаптивных алгоритмов обнаружения лиц и их фрагментов на видеопоследовательностях и оценим преимущества и недостатки каждого из них. Структурные схемы этих алгоритмов приведены на рис. 5 и 6. В первом вари-

анте полностью реализован принцип адаптации к изменениям уровня освещенности сцены, основанный на определении значений текущей разницы вероятностей правильного обнаружения лиц и их элементов при использовании процедуры эквализации кадра и без неё (рис. 6). Основным недостатком такого метода является заметное уменьшение быстродействия, поскольку в этой ситуации объем вычислительных операций фактически удваивается.

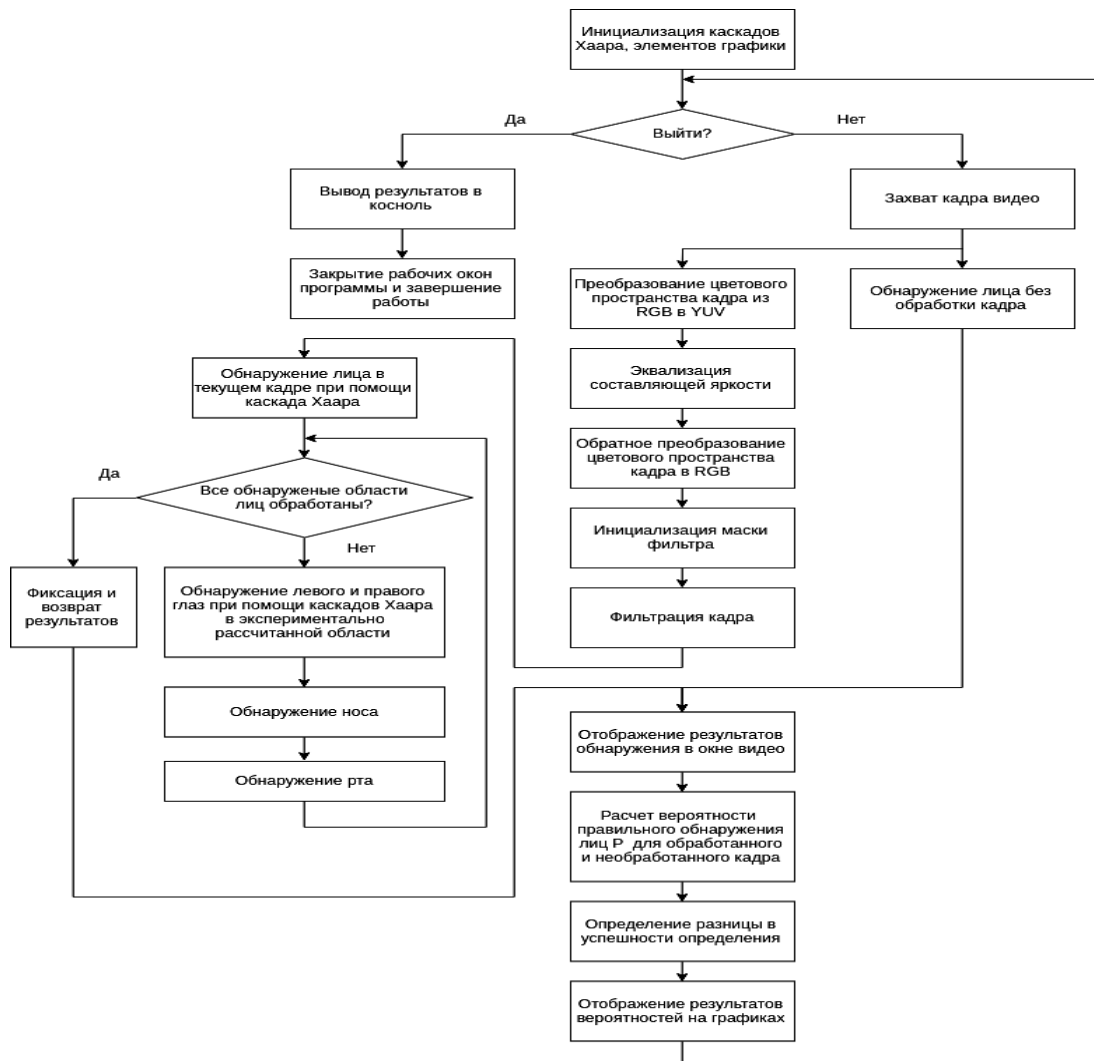


Рис. 5. Адаптация алгоритма к условиям освещения по вероятности правильного обнаружения лиц в кадре

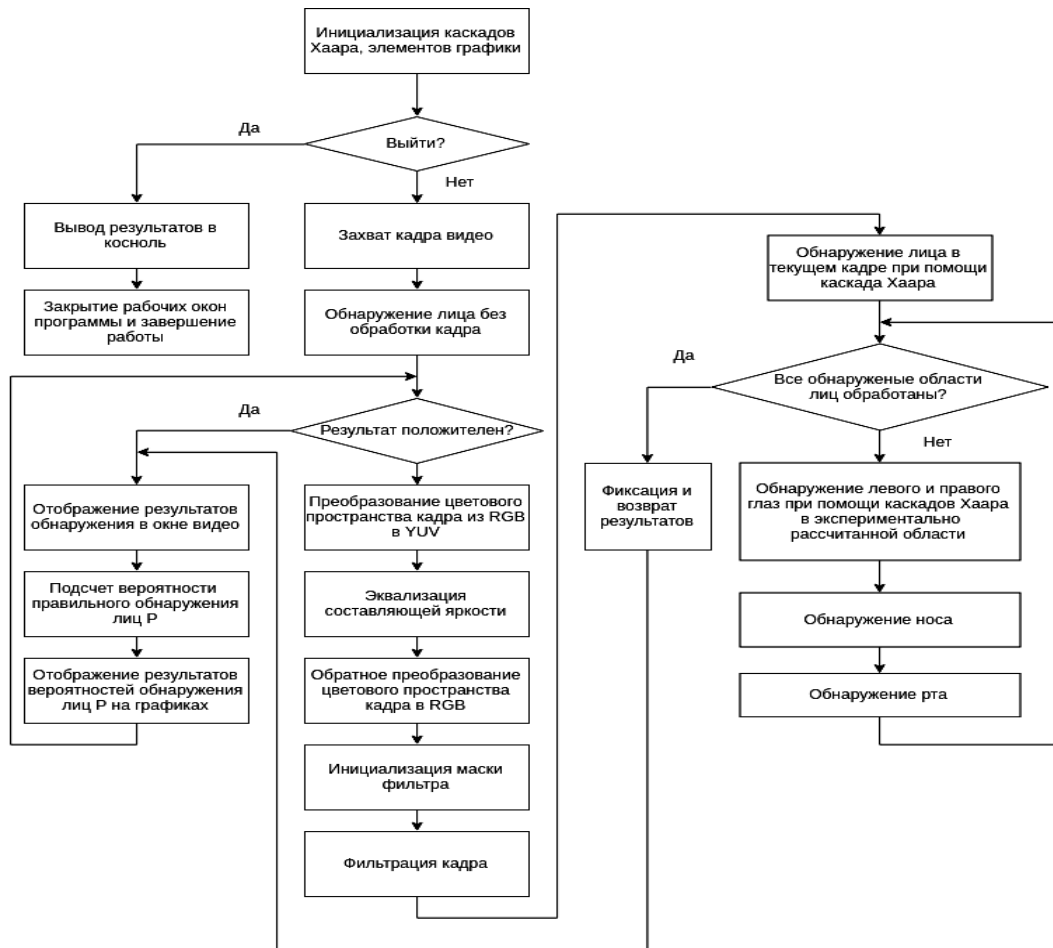


Рис. 6. Упрощенный вариант адаптации алгоритма обнаружения лиц к условиям освещения

Представленный на рис. 6 вариант построения адаптивного алгоритма поиска лиц в кадрах видео существенно проще, поскольку процедура эквализации видеоданных используется только в тех ситуациях, когда из-за плохих условий освещения в текущем кадре обнаружение лица не состоялось, несмотря на его присутствие в кадре. Такой подход существенно экономичнее – количество вычислений практически вдвое меньше чем в первом варианте построения алгоритма. Это позволяет уверенно осуществлять обработку видеоданных в реальном масштабе времени.

Результаты экспериментальных исследований

Специфические свойства алгоритмов обнаружения лиц, основанных на использовании обученных каскадных классификаторов, определяют вероятностный характер их функционирования. Поэтому основным показателем качества таких алгоритмов в нашей работе принято считать вероятность правильного обнаружения лица и его элементов. Для наглядности получаемых результатов в первом варианте построения алгоритма обнаружения была синтезирована специальная графическая форма, внутри которой в отдельных окнах отслеживаются в динамике вероятности обнаружения лиц при работе без применения процедуры эквализации (красные кривые) и с её применением (синие кривые) для лица и его элементов (глаз, носа и рта). Кроме этого, в левом ниж-

нем окне данной формы отображается текущая разность вероятностей правильного обнаружения (при эквализации кадра видео и без неё). Вид этой обобщенной отчетной формы наглядно показан на рис. 7, а. Аналогичным образом была построена графическая форма для текущей оценки эффективности обнаружения и для второго алгоритма. Она содержит четыре окна, в которых отображаются текущие значения вероятностей правильного обнаружения лица, глаз, носа и рта (рис. 7, б). Эти средства визуализации текущих процессов обнаружения достаточно эффективны, но они не дают ответа на основной вопрос – какова эффективность работы алгоритма при длительном анализе видеопоследовательности?

Для обобщенной оценки эффективности работы алгоритмов возможны два метода – качественный (визуальный) и количественный. В первом случае проводится визуальное наблюдение за разноцветными прямоугольниками, ограничивающими обнаруженное лицо и его элементы (глаза, нос и рот). Если процесс их отрисовки воспринимается как непрерывный, то качество детектирования можно считать приемлемым (равным ~ 100 %). Однако, инерционность зрения наблюдателя при высокой частоте смены кадров (30/с) не позволяет визуально воспринять пропуски обнаружения отдельных кадров. Это может существенно исказить результаты тестирования. Поэтому для количественной оценки эффективности в программе для всех кадров видео-

последовательности формируется одномерный массив (1 – по факту обнаружения лица в кадре, и 0 – в случае пропуска лица), по которому строятся вероятностные характеристики качества работы алгоритма. Однако, следует иметь в виду, что для этого необходима достоверно аннотированная тестовая видеопоследовательность. Простейший вариант такой последовательности – видеоряд, у которого в каждом кадре присутствует лицо для обнаружения,

соблюдены условия освещения (фронтальный источник света) и поддерживается геометрический фактор (наклон головы менее 30°). Разумеется, можно использовать и более сложный тестовый видеоряд, у которого в определенные интервалы времени лица в кадре отсутствуют. Тогда легко оценить не только вероятности правильного обнаружения лиц, но и вероятности ложного обнаружения (обнаружения лица при условии его отсутствия в кадре).

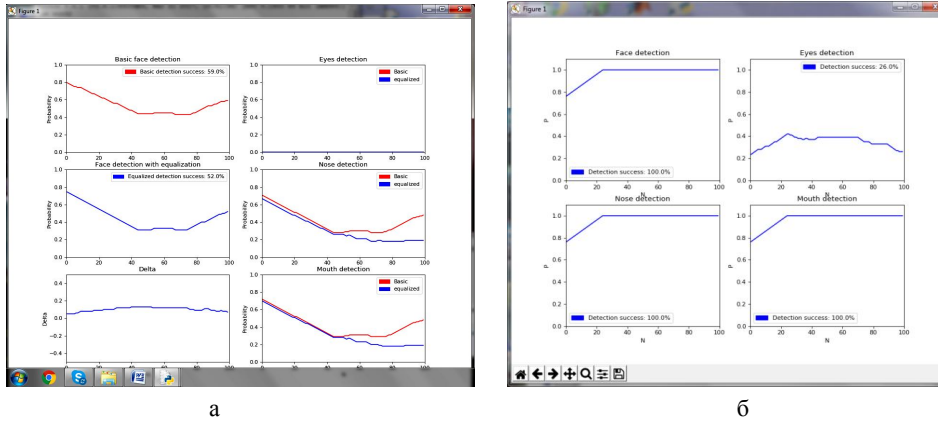


Рис. 7. Окна текущего контроля вероятностей правильного обнаружения лиц и их элементов

На рис. 8 показана форма обобщенной оценки эффективности работы алгоритма обнаружения лиц и их главных элементов для видеоряда продолжительностью 1000 кадров. Длительность такой записи составляет ~ 33 с. Для процедур обнаружения всех элементов построены периодограммы, где для каждого из N кадров в соответствие ставится 1 (при успешном обнаружении) и 0 (при необнаружении) соответствующего элемента лица. Кроме этого, для каждой периодограммы вычисляется вероятность правильного обнаружения на выборке из 1000 кадров. Такая форма позволяет получить не только обобщенные оценки вероятностей обнаружения, но и наглядно показывает, на каких кадрах обнаружение не было выполнено.

исключены. Расстояние от лица до объектива видеокамеры составляло ~ 1м. Для контроля уровня освещенности сцены использовался люксметр Ю-16 с фотоэлементом Ф-102, который позволяет фиксировать уровень освещенности с точностью $\pm 10\%$.

Поскольку предложенные алгоритмы должны обеспечивать автоматическую стабилизацию яркости кадров анализируемой видеопоследовательности независимо от уровня освещенности, в первую очередь сопоставлялись результаты обнаружения лиц в записях с различными уровнями освещенности сцены. Результаты этого эксперимента сведены в табл 1.

Таблица 1 – Показатели эффективности предлагаемых алгоритмов

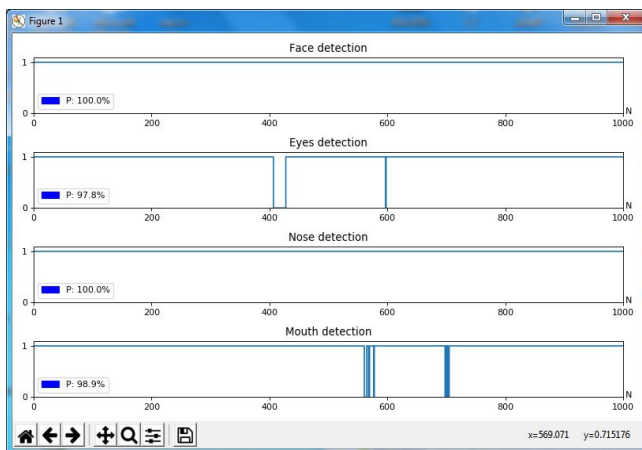


Рис. 8. Окно оценки эффективности обнаружения лица и его главных элементов по видеоданным

Для тестирования был сделан ряд видеозаписей, отвечающих заданным требованиям. Они выполнялись в формате *.avi с размером кадров 480×640 пикселей с неподвижно установленной камеры. Артефакты, обусловленные движением человека в кадре, были

Without equalization				
Scene illumination, Lx	Face detection, P %	Eyes detection, P %	Nose detection, P %	Mouth detection, P %
100	100	96,5	98,1	97,2
150	100	97,2	98,5	97,5
200	100	97,8	98,7	97,7
With equalization				
Scene illumination, Lx	Face detection, P %	Eyes detection, P %	Nose detection, P %	Mouth detection, P %
100	100	97,1	98,6	97,4
150	100	97,2	98,6	97,45
200	100	97,1	98,62	97,4

Анализ этих данных показал, что вероятность правильного обнаружения отдельных элементов лица возрастает по мере увеличения уровня освещенности при условии, что обработка данных проводится без автоматической регулировки средней яркости кадра. В случаях же, когда используется процедура эквализации для регулировки яркости, вероятность обнару-

ження остається стабільною. Значит, при низькому рівні освітленості ефективність алгоритмів с автоматичною регулюванням яркості вище, а при яркому освітленні сцени якість роботи обох типів алгоритмів приблизно однакова. Отметим високе якість роботи запропонованих алгоритмів, поскільки схожі сучасні технічні рішення забезпечують вірогідність правильного виявлення на рівні 95 – 97 %.

Крім цього в роботі було проведено дослідження ефективності роботи алгоритмів в залежності від відстані об'єкта до відеореєстратора. Початкове відстання складало 0,7 м, а кінцеве відстання – 2,5 м. Решта умов зйомки були аналогічними попереднім дослідженням. Отметим, що процедура виявлення обличчя виявилася нечутливою до збільшення відстані між об'єктом і відеокамерою. Але при збільшенні цієї відстані більше ніж 1,5 м це призводить до переривання процеду-

ри виявлення елементів обличчя (оку, носа і рота). Це обмеження пов'язано з відносним зменшенням розміру обличчя в кадрі, і може бути усунуто шляхом адаптивного управління його розмірами.

Заключення

Запропоновані нові алгоритми виявлення і детектування обличчя на цифрових зображеннях і відеопослідовностях. В них реалізована можливість адаптивно регулювати рівень середньої яркості кадру, що дозволяє покращити основні показники роботи. Вірогідність правильного виявлення обличчя для таких алгоритмів складає ~ 96 %. Вони реалізовані на мові Python з використанням ресурсів бібліотеки OpenCV. Це дозволило вести обробку даних в реальному масштабі часу. Використання цих результатів дає можливість покращити якість роботи і достовірність результатів при розпізнаванні обличчя в різних системах.

REFERENCES

1. Viola P., Jones M.J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – Kauai, Hawaii, USA, 2001. – V. 1. – P. 511–518.
2. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection // Int. Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 57. – № 2. – P. 137–154.
3. Joseph Howse, Joe Minichino, Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python, Packt Publishing, 2015, Packt Publishing.
4. Saurabh Kapur, Computer Vision with Python 3, Packt Publishing, August 2017, ISBN: 978-1-78829-976-3.
5. Prateek Joshi, OpenCV with Python By Example, Packt Publishing, September 2015, ISBN: 978-1-78528-393-2.
6. Бібліотека комп'ютерного зору OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_objdetect/py_face_detection/py_face_detection.html.
7. Розробка мультимедійних застосунків з використанням бібліотек OpenCV і IPP [Електронний ресурс] / А. В. Бовчин [і др.] – Електрон. текстові дані. – М.: Інтернет-Університет Інформаційних Технологій (ІНТУ-ІТ), 2016. – 515 с. – Режим доступу: <http://www.iprbookshop.ru/39564/>
8. F. Comasch, S. Stuijk, T. Basten and H. Corporaal "Rasw: A runtime adaptive sliding window to improve viola-jones object detection", Distributed Smart Cameras (ICDSC), 2013.

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

Received (Надійшла) 29.08.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.09.2018

Підвищення ефективності роботи алгоритмів детектування обличчя за методом Віоли-Джонса

К. Ю. Дергачов, Л. О. Краснов, О. О. Челядін

Запропоновано нові методи підвищення ефективності роботи алгоритмів виявлення і детектування обличчя на цифрових зображеннях і відеопослідовностях, заснованих на методі Віоли-Джонса, і використовуваних при вирішенні задач розпізнавання обличчя. Це дозволяє усунути вплив одного з головних чинників перешкод - компенсувати вплив змін рівня освітленості сцени на якість виявлення осіб. Для цього в класичну структуру цих алгоритмів додатково введена процедура автоматичної стабілізації яскравості кадру. Описано структуру алгоритмів, для них розроблено програмне забезпечення на мові Python з використанням ресурсів бібліотеки OpenCV, що дозволяє вести обробку відеоданих в реальному масштабі часу. Запропоновано і програмно реалізовано оригінальну методику оцінки ефективності роботи алгоритму за критерієм максимуму ймовірності правильного виявлення обличчя і їх головних елементів (очей, носа, рота). Зіставляються результати роботи класичних і запропонованих алгоритмів. Наводяться приклади роботи та результати тестування програмного забезпечення.

Ключові слова: виявлення і детектування обличчя, метод Віоли-Джонса, автоматична стабілізація яскравості кадру, ймовірність правильного виявлення осіб і їх головних елементів.

Increasing the effectiveness of the algorithms for detecting faces using the Viola-Jones method

K. Dergachov, L. Krasnov, O. Cheliadin

There are proposed new methods for increasing the efficiency of algorithms for detecting faces on digital images and video sequences based on the Viola-Jones method and used in solving face recognition problems. This allows to eliminate the influence of the one main interference factors - to compensate the effect of changes in the scene illumination level on face detection quality. For this purpose, automatically stabilizing frame brightness procedure is additionally introduced into the classical structure of these algorithms. The structure of algorithms is described and software is developed using Python programming language and OpenCV library resources, that allows to conduct video data processing in real time. There is proposed and programmatically implemented an original method for estimating the algorithm efficiency based on the maximum probability criterion of correct faces and their main elements (eye, nose, mouth) detection. The results of the classical and proposed algorithms are compared. Examples of work and software testing results are given.

Keywords: face detection, Viola-Jones method, frame brightness automatic stabilization, face and its parts detection probability.

А. О. Зуєв, Д. Г. Караман

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Сучасні системи з протяжною та розгалуженою інфраструктурою ліній електропередачі та великим різноманіттям електроенергетичних об'єктів потребують постійного моніторингу їх технічного стану для своєчасного виявлення порушень, які можуть призвести до серйозних аварій та техногенних катастроф. З ростом протяжності та складності об'єктів, що підлягають моніторингу, значно зростають складність та затрати заходів з їх профілактики та технічного обслуговування. В статті проведено аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж, серед яких окремо розглянуті системи з використанням безпілотних літальних апаратів. Сформульовані основні задачі з вирішення проблем для систем моніторингу розподілених промислових та електроенергетичних об'єктів на базі БПЛА. Проведена розробка базової платформи для функціональної одиниці БПЛА, побудована модель комунікації з наземною станцією управління і обробки даних та розглянуті питання забезпечення захисту прикладних даних і інформаційного обміну.

Ключові слова: об'єкти електроенергетичної інфраструктури, обслуговування, технічний стан, система автоматизованого моніторингу, безпілотні літальні апарати.

Вступ

Проблеми моніторингу об'єктів електроенергетичного сектору. У більшості розвинених країн з розгалуженою електроенергетичною інфраструктурою проводяться заходи з моніторингу та оцінки технічного стану електромереж і електроенергетичної інфраструктури. Вони дозволяють локалізувати проблемні ділянки ліній електропередачі (ЛЕП), опор і фундаментів інженерно-технічних споруд, ступінь натягу проводів і грозозахисних тросів, що в свою чергу дозволяє визначити пропускну здатність лінії, допустимі величини струму і режими її експлуатації. Після обстеження проводяться заходи з технічного обслуговування та підвищення пропускну здатності лінії. Велика розгалуженість і широка різноманітність об'єктів електроенергетичної інфраструктури створюють суттєві труднощі для своєчасного виявлення порушень технічного стану мереж та призводять до суттєвих витрат електроенергетичних компаній на забезпечення та проведення заходів з профілактики, технічного обслуговування та підтримки мереж ЛЕП у належному технічному стані.

Аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж. Останнім часом для реєстрації та моніторингу об'єктів, розподілених на великій площі (картографія, сільське та лісове господарство, великі промислові об'єкти та мережі) поряд із традиційними методами почали застосовувати методи автоматизованого візуального, лазерного [1] та тепловізійного [2] сканування за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [3]. Світовий досвід [4-7], показує, що такі проекти мають високу інвестиційну та практичну цінність, будучи реалізованими, вони можуть істотно підвищити надійність і безпеку експлуатації ЛЕП, і водночас суттєво знизити затрати на заходи з технічного обслуговування. Реєстрація стану об'єктів електроенергетичної інфраструктури виконується за допомогою спеціальної апаратури: фотографічної, оптико-електронної або радіоелектронної. У

більшості випадків реєструються і аналізуються не поодинокі знімки, а їх серії або безперервні послідовності (відеопотік), які можуть відрізнитися ракурсом, оглядовістю, часом зйомки і спектральним діапазоном, завдяки чому забезпечується більш детальне і точне дослідження об'єкта. Також можливе вимірювання напруженості електричного (ЕП) і магнітного (МП) полів уздовж траси польоту [8-9].

При вирішенні завдання моніторингу виникає необхідність отримання, зберігання і подальшої передачі і обробки значного обсягу інформації, що знімається з різноманітних сенсорів.

Так само слід зазначити і проблеми, що виникають при використанні БПЛА. Серед найбільш істотних можна виділити:

- забезпечення передачі інформації по каналах зв'язку між БПЛА і пунктом управління з необхідною пропускну спроможністю і без спотворень;
- якісне розпізнавання об'єктів по зареєстрованій інформації;
- забезпечення максимальної енергоефективності та автономності;
- забезпечення належної безпеки і безаварійності.

Важливою проблемою, яка виникає при використанні БПЛА для моніторингу ЛЕП і енергетичних об'єктів, є забезпечення безпечного, стійкого, двостороннього зв'язку з пунктом управління. Від якості і безперервності комунікаційних зв'язків багато в чому залежить оперативність і результативність моніторингу. Якість і стійкість зв'язку з пунктом управління визначається методами завадостійкого кодування сигналу, що передається, а також вибраними методами резервування каналів і засобів зв'язку. Останнім часом стає актуальним питання захисту обміну даними з БПЛА від стороннього втручання [10].

Мета статті. Згідно з проведеним аналізом щодо використання БПЛА для моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури основним завданням на шляху побудови ефективної системи моніторингу є вирішення основних проблем з отриманням, зберіганням первинною обробкою і надій-

ною передачею великих обсягів інформації про об'єкт моніторингу з одного боку, та забезпечення належного рівня безпеки, надійності та живучості розробленої платформи моніторингу на базі безпілотних літальних апаратів з другого боку, у тому числі, організації надійних і стійких каналів зв'язку між БПЛА та пунктом управління із захистом від завад та стороннього втручання.

Розробка базової платформи для функціональної одиниці БПЛА

При монтуванні сенсорів на БПЛА важливу роль відіграє ряд факторів, які можуть не враховуватися або не чинити істотного впливу при створенні класичних наземних систем автоматизованого збору і обробки сигналів. До таких факторів слід віднести: масогабаритні характеристики, споживану потужність, високий рівень перешкод для деяких типів реєстрованих сигналів, а також організацію каналів зв'язку сенсору і пристрою збору і обробки сигналів.

Масогабаритні характеристики базової платформи є визначальними, оскільки вантажопідйомність БПЛА, особливо для невеликих мультіроторних систем, як правило, не перевищує 1 кг, і маса корисного навантаження істотно впливає на автономність і маневреність таких апаратів. Таким чином, вага сенсорів та обчислювальної системи, що їх обслуговує, не повинна перевищувати вказаний ліміт, а, за можливості, повинна бути якомога меншою.

Високий рівень перешкод, становить серйозну проблему при реєстрації ряду сигналів (наприклад, електричного і магнітного полів), а також при передачі аналогових сигналів (наприклад, з бортових відео камер). Основними джерелами перешкод є двигуни БПЛА, а також сам об'єкт моніторингу – ЛЕП. Це ускладнює виділення корисного сигналу, а також негативно позначається на роботі частини сенсорів навігаційної системи (магнітного компаса і системи GPS). Вимагає винесення чутливих сенсорів за межі дії перешкоди, наприклад на спеціальних щоглах, що в свою чергу ускладнює організацію передачі даних і забезпечення живлення сенсорів. При цьому перешкода виникає як у каналах передачі даних, так і по колам живлення.

Традиційний підхід до отримання інформації полягає в перетворенні сигналів в цифрову форму і подальшої їх передачі по виділеному каналу зв'язку за допомогою будь-якого стандартного інтерфейсу і протоколу. Недоліком такого підходу є необхідність об'єднання сигналів надходять з сенсорів в одному вузлі (зазвичай використовується мікроконтролер з необхідною кількістю аналогових входів). При відмові цього вузла або вихідного каналу зв'язку, вся система отримання даних буде непрацездатна. Доцільно використовувати розподілену систему збору інформації, в якій використовуються окремі модулі на кожну групу сенсорів, при цьому передача цифрового сигналу проводиться по радіоканалу (наприклад, за стандартом Wi-Fi), що дозволяє створити систему, яка стійка до відмови вузлів-агрегаторів даних, і при цьому не вимагає прокладки додаткових ліній передачі даних або наявності гальванічної розв'язки.

Зазвичай канали зв'язку на базі Wi-Fi пропонуються для організації передачі телеметрії від БПЛА на наземну станцію, але таке рішення відрізняється незначною дистанцією передачі (кілька сотень метрів), низькою надійністю і великою затримкою передачі при великій кількості вузлів Wi-Fi, обумовленою малою кількістю каналів, що використовуються. Все перераховане робить неможливим практичне використання таких систем для задач моніторингу протяжних об'єктів. При використанні ж бездротової передачі для обміну даними на борту БПЛА, дані неоліки несуттєві, так як відстань між вузлами не перевищує десятків сантиметрів, що дозволяє використовувати приймально-передавачі в режимі зниженої потужності. При русі БПЛА згідно з польотним завданням це дозволяє мінімізувати вплив інших пристроїв працюють за стандартом Wi-Fi, так як вони будуть "невидимі" для бортової мережі, і як слід не будуть перетинатися по робочим каналам.

Організація передачі даних від сенсору до вузла збору інформації (ВЗІ), і далі – до бортового комп'ютера і наземної диспетчерської станції, вимагає організації каналу зв'язку із необхідною пропускною спроможністю, а також забезпечення надійного живлення всіх систем. Основними обмеженнями є мала кількість вхідних портів бортового комп'ютера, а також необхідність прокладки дротових ліній на борту БПЛА, що в свою чергу веде до збільшення маси, зменшення надійності, а також підвищення впливу перешкод. Для вирішення вказаних вище проблем, пропонується використовувати наступну схему організації корисного навантаження на борту БПЛА (рис. 1).

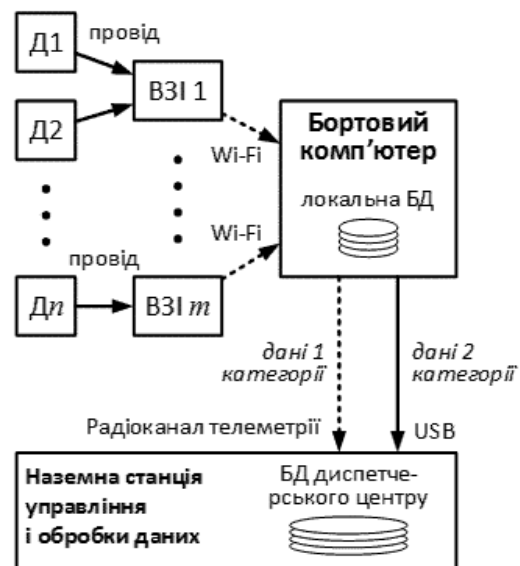


Рис. 1. Ієрархічна система збору інформації з бортових сенсорів Д1-Дn

1) система збору інформації має ієрархічну структуру, що дозволяє легко змінювати її конфігурацію, і підвищує відмовостійкість у разі відмови якогось з вузлів;

2) використання бездротової мережі для з'єднання між вузлами збору інформації (УСІ) і бортовим комп'ютером, що дозволяє скоротити кількість

з'єднань бортової мережі і підвищує автономність і відмовостійкість окремих модулів системи. При цьому кількість сенсорів, що можуть бути підключені до бортового комп'ютера, необмежена;

3) бортовий комп'ютер має містити спеціалізований накопичувач достатньої ємності, на якому фіксуються всі дані, що надходять з усіх сенсорів;

4) в якості бортового комп'ютера може бути використаний будь-який комерційний мікрокомп'ютер, що значно знижує собівартість системи.

Прикладне програмне забезпечення бортового комп'ютера розділяє дані на дві категорії: оперативно важливі (перша категорія) і оперативно малозначні (друга категорія). Оперативно важливі дані збираються, обробляються і негайно передаються до диспетчерського центру в процесі польоту (наскільки дозволяє канал зв'язку), а малозначні данні стискаються, зашифровуються та зберігаються на бортовому накопичувачі – після закінчення польотного завдання і приземлення вони передаються до наземної станції обробки даних за допомогою дротового інтерфейсу зв'язку з широкою пропускнуою здатністю.

Таким чином, синтезована система є розподіленою системою, вузли якої працюють на незалежних мікрокомп'ютерах, побудованою на базі клієнт-серверної архітектури. Взаємодія вузлів є асинхронною. Така система умовно може бути розділена на наступні логічні рівні: 1) збір інформації; 2) обробка та зберігання інформації; 3) доступ до даних; 4) база даних; 5) користувацький інтерфейс.

Перші два рівня реалізуються на ВЗІ і бортовому комп'ютері БПЛА, інші рівні – на обладнанні наземної і диспетчерської станції. Розподілена система має низку ключових переваг:

1) масштабованість і низька вартість – більшість модулів ВЗІ автономні, працюють за єдиним протоколом і легко замінюються;

2) надійність – при відмові одного ВЗІ система продовжить роботу, збій в роботі ВЗІ не призводить до довготривалої втрати працездатності, через певний час модуль буде перезавантажений з використанням апаратного таймера і повернеться до нормального функціонування;

3) діагностика – протоколи обміну інформацією дозволяють проводити дистанційну перевірку модулів, як при запуску системи, так і в процесі її функціонування;

4) фізичний розподіл вузлів – усі ВЗІ фізично відокремлені один від одного (можливе розділення і за джерелом живлення), що підвищує надійність роботи системи в цілому, так як при виході одного ВЗІ з ладу не порушується працездатність сусідніх.

5) доступність – передача даних усередині системи ведеться асинхронно, на неї не впливає відмова або вихід з ладу інших ВЗІ.

Фактично кожен ВЗІ є незалежним сервісом, який управляє набором ресурсів і надає послуги користувачам: бортовому комп'ютеру БПЛА або наземній станції, які виступають в ролі клієнтів. Таким чином, синтезована система задовольняє вимогам, які висуваються до розподілених систем управління та збору інформації [11].

Модель комунікації з наземною станцією управління і обробки даних

Політ БПЛА відбувається під контролем або безпосереднім управлінням оператора розташованого в наземному (або повітряному) пункті управління, з використанням двосторонніх каналів зв'язку, або за допомогою автопілота згідно з польотним завданням [3]. Застосування БПЛА в якості ключового елемента системи обумовлено наявністю ряду суттєвих переваг такого виду літальних апаратів: відсутність екіпажу, невелика вартість і низькі експлуатаційні витрати. Разом із значним прогресом у розвитку обчислювальної техніки, особливо її мініатюризації і енергоефективності, а також з розвитком і практичним застосуванням нових алгоритмів і методів застосування БПЛА дозволяє підвищити ефективність вирішення складних науково-практичних завдань, пов'язаних з логістикою, моніторингом, контролем та безпекою.

В процесі функціонування системи можуть бути застосовані наступні моделі передачі даних в бортовій мережі: синхронна, асинхронна і комбінована. У синхронній моделі будь-які дії вузла з передачі даних, починаються після отримання синхронізуючого пакета P_{sync} , який відправляє бортовий комп'ютер. Цей же пакет є джерелом адреси і порту призначення $\{a_{dest}, p_{dest}\}$, який відправляє бортовий комп'ютер. Цей же пакет є точкою відліку інтервалу синхронізації T_{sync} зв'язку з бортовим комп'ютером (зазвичай не перевищує 1 с) при підключенні до мережі, він ініціює відправку даних до відповідного вузла. При асинхронному обміні, вузли відправляють дані, на заздалегідь задану, або отриману на початку роботи пару адреси і порту $\{a_{dest}, p_{dest}\}$, не чекаючи пакетів синхронізації. Це дозволяє забезпечити мінімальний час доставки даних з сенсорів до бортового комп'ютера, але значним чином навантажує мережу. Тому найбільш оптимальним є використання комбінованої моделі передачі, коли частина даних передається синхронно, а частина, з найбільш швидкодіючих сенсорів – асинхронно. При використанні протоколу UDP через відсутність можливості встановлювати сесії з'єднання, необхідно якимось чином визначити працездатність вузлів (в тому числі і точки доступу). Для цього доцільно використовувати два критерії. Перший визначається затримкою між пакетами, які надходять з вузла t_d . Коли вона перевищує певний, заздалегідь встановлений в залежності від типу вузла, ліміт t_{max} , такий вузол вважається відключеним або непрацюючим. На практиці підібрати значення затримки t_{max} досить складно, оскільки воно залежить від типу і алгоритму функціонування вузла, а також стану каналу зв'язку. Але такий критерій можна використовувати як додатковий.

Більш надійним критерієм визначення працездатності вузла, є нумерація пакетів монотонно зростаючими (для кожного вузла n) значенням $f(n) \uparrow$. При запуску або рестарті вузла, нумерація завжди починається з $f(n) = 0$. Що дозволяє визначити за номером пакету $f_i(n)$, що попередньо надійшов від вузла n і

був прийнятий на обробку, факт рестарту вузла або виникнення проблеми при обміні пакетами (втрата пакету), якщо номер наступного пакета $j \leq i$.

Для продовження функціонування системи, після рестарту вузла, необхідно провести його повторну синхронізацію: коли виявлено збій в нумерації пакетів, відправляється пакет P_{sync} з новим (збереженим раніше) номером пакета збільшеним на одиницю $f_{i+1}(n)$. Вузол, прийнявши $P_{sync} : f_{n+1}(n)$, змінює поточне значення свого внутрішнього лічильника номерів пакетів. Таким чином, буде відновлена монотонність передачі пакетів в мережі і ознака порушення синхронізації може бути знята.

При відключенні бортового комп'ютера, доцільно припинити обмін даними в мережі, щоб енергія бортового джерела живлення не витрачалася даремно на роботу трансмітерів вузлів. Для цього, перед завершенням роботи програмного забезпечення бортового комп'ютера, відправляється пакет P_{term} ініціює відключення передачі і видалення адреси і порту призначення з буферу для кожного вузла. Пакети P_{sync} і P_{term} відправляються як широкомовні – всім активним вузлам мережі.

Захист прикладних даних і інформаційного обміну

Сучасні БПЛА і системи, які їх використовують, потребують забезпечення належного рівня кібербезпеки, оскільки вони виконують збір, зберігання і передачу критично важливої інформації про об'єкт моніторингу та його оточення з використанням обчислювальних засобів і мереж передачі даних загального призначення, що робить їх привабливим об'єктом для злоумисників.

Серед переліку цілей злоумисників можна виділити дві основні: захоплення контролю над управлінням БПЛА і перехоплення прикладних даних, які збирає БПЛА. Втручання в систему контролю управлінням БПЛА вимагає від злоумисника значних матеріальних і організаційних ресурсів, тоді як перехоплення прикладних даних може виявитися значно простішим і вигіднішим. Крім того, в останньому випадку потрібне залучення мінімального числа векторів атак. Згідно [10] існує три вектори атаки на системи, які використовують БПЛА:

- вплив на станцію управління БПЛА;
- вплив на канал телеметрії і передачі команд;
- вплив безпосередньо на сам БПЛА.

Для унеможливлення перехоплення або підміни пакетів з командами управління та прикладними даними доцільно застосувати методи криптографічного захисту даних з урахуванням специфіки функціонування бортових систем БПЛА і обмеженості доступних ресурсів на борту. Процеси шифрування вимагають істотних обчислювальних ресурсів, а обчислювальне навантаження на центральний процесор бортового комп'ютера зазвичай дуже високе: він практично повністю завантажений завданнями обробки і збереження інформації, що надходить від сенсорів.

Щоб знизити навантаження на центральний процесор можна обрати один з двох шляхів: значно спростити механізм криптографічного захисту, обрати більш прості алгоритми і протоколи, що очевидно є неприйнятним, або виділити для виконання криптографічних перетворень окремі обчислювальні ресурси [12]. Додавання у систему окремого криптопроцесору призводить до збільшення енергоспоживання, що, в свою чергу, призведе до зменшення польотного часу, та уповільнює процес обміну командами і даними з центром управління.

В рамках реалізації системи, було проведено дослідження референсної реалізації методу "Калина" [13], та реалізації за допомогою GPU бортового комп'ютера БПЛА. на мові HLSL, під керуванням API DirectX (DirectGraphics 11). Мікропрограма шифрування блоку містить 1941 інструкцію. Результати компіляції мікропрограми, що реалізує процедуру шифрування за алгоритмом «Калина», у вигляді кількості інструкцій наведені в таблиці 1.

Блоки даних завантажувалися в ОЗП прискорювача, після чого оброблялися відповідно до запропонованого методу. Замірявся час синтезу кадру за допомогою профайлера.

Таблиця 1. Кількість інструкцій при реалізації процедури шифрування на GPU

Операція	Ввід-вивід	Шифрування	Усього
read_state	4	33	37
SubBytes	37	121	158
ShiftRows	37	1	38
MixColumns	37	785	822
read_key	4	30	34
XORRoundKey	67	4	71
Повна мікропрограма	4	1937	1941

Тестування проводилося на різноманітних мікрокомп'ютерах з вбудованим графічним ядром на базі процесорів Atom Z8350, Celeron N3060 та ін. Такі мікрокомп'ютери мають невелику масу, 50-300 грам. А також невелике енергоспоживання (від 2 до 10 Вт) і можуть використовуватися в якості бортових комп'ютерів міні БПЛА. Була отримана швидкодія від 52 МБ/с до 185 МБ/с, в залежності від типу комп'ютеру. Отримані показники швидкодії дозволяють проводити процес шифрування потоку даних що надходить з сенсорів (1-5 Мб/с) в реальному масштабі часу, за допомогою запропонованої реалізації методу шифрування, з мінімальним використанням ресурсів центрального процесора.

Висновки

В статті окреслено основні проблеми моніторингу об'єктів електроенергетичного сектору, проведено аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж, серед яких виділено найбільш перспективний з економічної і практичної точки зору спосіб автоматизованого моніторингу стану мереж ЛЕП за допомогою безпілотних літальних апаратів. Згідно з метою на подолання

основних проблем для систем моніторингу розподілених промислових та електроенергетичних об'єктів виконано розробку базової платформи для функціональної одиниці БПЛА, побудовано модель комунікації з наземною станцією управління і обробки да-

них та розглянуті питання забезпечення захисту прикладних даних і інформаційного обміну. Запропоновані рішення знайшли застосування в автоматизованій системі моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Медведев Е. М. Лазерная локация земли и леса / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С.Р. Мельников. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
2. Афонин А. В. Инфракрасная термография в энергетике // А. В. Афонин и др. Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджибаева. – Т. 1. Основы инфракрасной термографии. — СПб.: СПЭ- ИПК, 2000. – 240 с.
3. Митин М. Д. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов / М. Д. Митин, Д. Б. Никольский. - GEOMATICS №4. Данные дистанционного зондирования. 2013. – С. 27-31.
4. Арбузов Р. С., Овсянников А. Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. - 136 с.
5. Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system // 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France. – P. 663 – 670.
6. Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines // International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics (AMEII 2015). – P. 1542 – 1545.
7. Adabo G. J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system // AUVSI's Unmanned Systems 2013. Washington (USA). 2013.
8. Щерба А. А., Резинкина М. М. Моделирование и анализ электрических полей энергетических объектов. - Киев: Наукова думка, 2008. – 248 с.
9. Sokol E. I., Rezinkina M. M., Gryb O. G., Vasilchenko V. I., Zuev A. A., Bortnikov A. V., Sosina E. V. A Method of Complex Automated Monitoring of Ukrainian Power Energy System Objects to Increase Its Operation Safety. Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.2, pp. 65-70.
10. Аменитский М. В. Анализ потенциальных угроз системы управления беспилотных летательных аппаратов средних и тяжелых классов. – Труды МАИ. Выпуск № 94. – 2017.
11. Карпов Л. Е. Архитектура распределенных систем программного обеспечения / Л. Е. Карпов. М.: МПресс, 2007. – 130 с.
12. Zuev A. A., Karaman D. G. Practical Application of the Graphic Processing Unit for Data Encryption on the UAV On-Board Computer // Proc. 2018 Int. Sc. Pract. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkiv.
13. ДСТУ 7624:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення. [Текст]. – Введ. 01–07–2015. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. Г. Гриб,
 Національний технічний університет «ХПІ», Харків;
 Received (Надійшла) 29.08.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.09.2018

Система мониторинга объектов электроэнергетической инфраструктуры с использованием БПЛА

А. А. Зуев, Д. Г. Караман

Современные системы с протяженной и разветвленной инфраструктурой линий электропередач и большим количеством объектов электроэнергетических объектов требуют постоянного мониторинга их технического состояния для своевременного выявления нарушений, которые могут привести к серьезным авариям и техногенным катастрофам. С ростом протяженности и сложности объектов, подлежащих мониторингу, значительно возрастают сложность и затраты мер по их профилактике и технического обслуживания. В статье проведен анализ существующих и перспективных решений для мониторинга объектов электроэнергетических сетей, среди которых отдельно рассмотрены системы с использованием беспилотных летательных аппаратов. Сформулированы основные задачи по решению проблем для систем мониторинга распределенных промышленных и электроэнергетических объектов на базе БПЛА. Проведена разработка базовой платформы для функциональной единицы БПЛА, построена модель коммуникации с наземной станцией управления и обработки данных и рассмотрены вопросы обеспечения защиты прикладных данных и информационного обмена.

Ключевые слова: объекты электроэнергетической инфраструктуры, обслуживание, техническое состояние, система автоматизированного мониторинга, беспилотные летательные аппараты.

Electric power infrastructure objects monitoring system using UAV

A. Zuev, D. Karaman

Modern systems with an extensive and ramified infrastructure of power lines and a large variety of electric power facilities require constant monitoring of their technical condition for the early detection of violations that can lead to serious accidents and man-made disasters. With the growth of the length and complexity of the objects to be monitored, the complexity and costs of measures for their prevention and maintenance increase significantly. In this article the recent and perspective solutions for the power grid facilities monitoring are analyzed, among which systems using unmanned aerial vehicles are considered separately. The main tasks to solve problems for monitoring systems of distributed industrial and electric power facilities based on UAVs are formulated. A basic platform for the functional unit of the UAV was developed, a model of communication with the ground control and data processing station was built, and the issues of ensuring the protection of application data and information exchange were considered.

Keywords: objects of electric energy infrastructure, service, technical condition, automated monitoring system, unmanned aerial vehicles.

Є. В. Мелешко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РОБОТИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Предметом вивчення у статті є процес оцінки якості роботи рекомендаційних систем. **Метою** є виявлення найважливіших показників якості роботи рекомендаційних систем та визначення методів їх оцінювання. **Завдання:** дослідити методи оцінки якості роботи рекомендаційних систем, дослідити показники якості роботи рекомендаційних систем. Отримані такі **результати:** Розглянуто основні та додаткові показники якості роботи рекомендаційних систем. Проведено дослідження їх важливості з погляду оцінки різних властивостей списку рекомендацій. Визначено напрямки подальших досліджень для розробки методів оцінки якості роботи рекомендаційних систем. **Висновки.** Основними показниками якості роботи рекомендаційних систем є точність прогнозування оцінок користувача та покриття простору об'єктів і покриття простору користувачів. Додатковими показниками якості роботи рекомендаційних систем є різноманітність, новизна, неочікуваність, робастність, приватність, ризик тощо. Показники різноманітність, новизна, неочікуваність дозволяють оцінити якість структури рекомендацій та ймовірність появи проблеми бульбашки фільтрів. Показники робастність, приватність, ризик дозволяють оцінити інформаційну безпеку рекомендаційної системи та її користувачів. Для кожного окремого веб-ресурсу чи додатку можна скласти свій набір додаткових показників якості роботи рекомендаційної системи, але розглянуті додаткові показники будуть актуальними практично для будь-якого випадку. Також важливими можуть бути наступні показники: впевненість, довіра, адаптивність, масштабованість, пропускна здатність, корисність, тощо. Оскільки не існує загальноприйнятих способів вимірювання та методів оцінки таких показників якості роботи рекомендаційних систем, як різноманітність, новизна, неочікуваність, приватність, ризик, робастність, – науково-практична задача розробки таких методів є актуальною.

Ключові слова: рекомендаційні системи, показники якості, точність роботи, якість роботи, покриття, бульбашка фільтрів, інформаційна безпека, аналіз даних, тестування програмного забезпечення.

Вступ

Важливою задачею при побудові рекомендаційних систем (РС) є оцінка якості їх роботи. В найпростішому випадку для дослідження якості роботи рекомендаційної системи застосовують такі показники як точність прогнозування вподобань користувача та покриття каталогу товарів, в той же час досить важливими з погляду якості роботи системи можуть бути й інші показники, наприклад, приватність, робастність, різноманітність, новизна, тощо.

Методів побудови рекомендаційних систем на сьогоднішній день досить багато [1-3]. Для різних типів вхідних даних та різних видів веб-ресурсів чи додатків слід підбирати й різні методи створення рекомендацій. Але необхідно мати чіткі критерії, за якими здійснювати такий вибір. Тому науково-практична задача визначення якості роботи рекомендаційних систем є актуальною.

Метою даної роботи є виявлення найважливіших показників якості роботи рекомендаційних систем та дослідження методів їх оцінювання.

Основна частина

Перевірку роботи рекомендаційної системи можна здійснити, використовуючи наступні дані:

1. За допомогою тестової вибірки, підготовленої заздалегідь.

2. За допомогою моніторингу роботи РС та збору даних у реальному часі.

У першому варіанті перевірки усі наявні дані слід розділити на навчачою та тестову вибірку. Тестову вибірку не можна використовувати при навчанні рекомендаційної системи та при генерації списку рекомендацій. Тестова вибірка буде використана для порівняння даних з неї з даними зі списку

рекомендацій. Для перевірки точності прогнозування вподобань при знаходженні однакових об'єктів у тестовій вибірці та у списку рекомендацій, їх прогнозовані та реально поставлені користувачем оцінки порівнюються. Таку перевірку легко організувати, однак її результати не досить інформативні, оскільки збігів у цих двох наборах даних буде досить мало.

Більш інформативним буде другий варіант, оскільки при моніторингу у реальному часі одразу буде видно як користувач реагує на кожну рекомендацію. Можна буде перевірити кожен з прогнозів в тій чи іншій формі – виявити факт обрання/необрання об'єктів зі списку рекомендацій користувачем, а при виставленні оцінки, порівняти оцінку з прогнозованою. Але даний спосіб більш складно реалізувати, необхідно створити систему моніторингу веб-ресурсу, бажано мати доступ до нього на рівні адміністратора.

Розглянемо показники якості роботи рекомендаційної системи та способи їх оцінки.

Найголовнішим показником якості роботи рекомендаційної системи є *точність прогнозування вподобань (Prediction Accuracy)*. Для перевірки точності прогнозування вподобань користувачів порівнюють два вектори [4, 5]:

1) вектор $\hat{R} = (\hat{r}_1, \hat{r}_2, \dots, \hat{r}_n)$, що містить список прогнозованих оцінок користувача, впорядкований по спаданню за величиною оцінок;

2) вектор $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, що містить справжні оцінки користувача, невідомі системі на етапі формування списку рекомендацій.

Порівняння даних векторів можна здійснити різними способами.

Вимірювання точності прогнозу. Якщо користувачі виставляють оцінки об'єктам, точність про-

гнозування можна визначити за допомогою середньоквадратичної помилки (1) або середньої абсолютної помилки (2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{|\tau|} \sum_{(u,i) \in \tau} (\hat{r}_{ui} - r_{ui})^2}, \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{|\tau|} \sum_{(u,i) \in \tau} |\hat{r}_{ui} - r_{ui}|, \quad (2)$$

Де \hat{r}_{ui} – прогнозовані рейтинги для тестового набору даних τ пар користувач-об’єкт (u, i) , r_{ui} – справжні рейтинги.

Система генерує прогнозовані рейтинги \hat{r}_{ui} для тестового набору даних τ пар користувач-об’єкт (u, i) , для яких відомі справжні рейтинги r_{ui} . Реальні та прогнозовані рейтинги порівнюються.

Прогнозування використання. Оцінювати точність роботи рекомендаційної системи можна завдяки реакції користувача на об’єкти наведені у списку рекомендацій. В такому разі інформація для оцінки роботи рекомендаційної системи з’являється в процесі її використання.

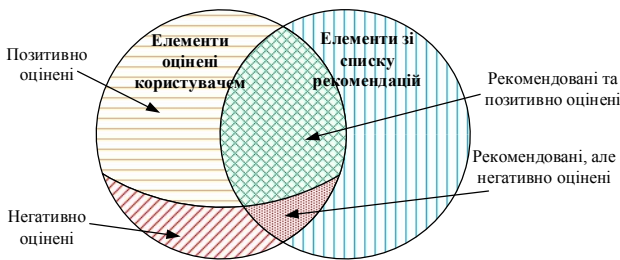


Рис. 1. Можливі варіанти реакції користувача на об’єкти у списку рекомендацій

Наведемо можливі результати прогнозу рекомендаційної системи (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація можливих результатів рекомендацій

	Рекомендували	Не рекомендували
Позитивно оцінено	True-Positive (tp)	False-Negative (fn)
Негативно оцінено	False-Positive (fp)	True-Negative (tn)

Як видно з таблиці, можливі чотири результати роботи рекомендаційної системи:

- tp – результати, в яких позитивний прогноз виявився вірним;
- tn – результати, в яких негативний прогноз виявився вірним;
- fp – результати, в яких позитивний прогноз виявився помилковим;
- fn – результати, в яких негативний прогноз виявився помилковим.

Можна підрахувати кількість подій, що відповідають кожній з комірок, та на основі одержаних значень оцінити точність роботи рекомендаційної системи [5]:

$$\text{Precision} = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (3)$$

$$\text{Recall (True Positive Rate)} = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (4)$$

$$\text{False Positive Rate} = \frac{fp}{fp + tn}, \quad (5)$$

Міри ранжирування. Важливою задачею є ранжування об’єктів у списку рекомендацій. За допомогою даної міри можна визначити наскільки вірно рекомендаційна система впорядкувала елементи у списку рекомендацій.

Міри ранжирування – використання заздалегідь відомих рейтингів. Як міру ранжування можна використати Normalized Distance-based Performance Measure (NDPM) [6]. Якщо у нас є справжні рейтинги об’єктів r_{ui} , одержані в результаті дій користувача, та рейтинги, згенеровані рекомендаційною системою \hat{r}_{ui} для n_u об’єктів i користувачу u , то можна одержати:

$$C^+ = \sum_{ij} \text{sgn}(r_{ui} - r_{uj}) \text{sgn}(\hat{r}_{ui} - \hat{r}_{uj}), \quad (6)$$

$$C^- = \sum_{ij} \text{sgn}(r_{ui} - r_{uj}) \text{sgn}(\hat{r}_{uij} - \hat{r}_{uij}), \quad (7)$$

$$C^u = \sum_{ij} \text{sgn}^2(r_{ui} - r_{uj}), \quad (8)$$

$$C^s = \sum_{ij} \text{sgn}^2(\hat{r}_{uij} - \hat{r}_{uij}), \quad (9)$$

$$C^{u0} = C^u - (C^+ + C^-), \quad (10)$$

де суми перевищують $\frac{1}{2}n_u(n_u - 1)$ пар об’єктів. Таким чином, C^u – це кількість пар об’єктів, для яких справжні рейтинги встановлюють впорядкування один відносно одного, тоді як C^+ та C^- – це кількість пар об’єктів, для яких рекомендаційна система встановила правильний порядок і неправильний порядок відповідно. C^{u0} – це кількість пар, для яких немає впорядкування в справжньому рейтингу, але рекомендаційна система встановлює для них деяке впорядкування. NDPM одержується наступним чином:

$$\text{NDPM} = \frac{C^- + 0.5C^{u0}}{C^u}, \quad (11)$$

Таким чином, міра NDPM дає найкращу оцінку 0 – для систем, які правильно передбачають кожне впорядкування пар об’єктів. А найгірша оцінка 1 – призначена системам, що суперечать усім вірним впорядкуванням пар об’єктів.

Міри ранжирування – на основі корисності. Популярною альтернативою попереднього методу є припущення, що корисність переліку рекомендацій є сумарною, що визначається сумою корисності окремих рекомендацій. Корисність кожної рекомендації – це корисність рекомендованого об’єкту помножена на коефіцієнт зменшення, який залежить від позиції об’єкту в переліку рекомендацій. Одним

з прикладів такої корисності є ймовірність того, що користувач буде дотримуватися рекомендації в даній позиції у списку. Зазвичай передбачається, що користувачі проглядають списки рекомендацій від початку до кінця, з урахуванням того, що переваги рекомендацій значно знижуються до кінця списку.

В багатьох додатках список рекомендацій далеко не самий основний спосіб пошуку об'єктів, він містить невелику кількість елементів, а в крайніх випадках може містити тільки один елемент. В таких системах користувач зазвичай переглядає тільки невелику частину списку рекомендацій – тільки декілька пунктів на початку. В таких випадках цінність рекомендацій знижується дуже швидко відносно позицій елементів у списку. Для таких додатків можна використати метрику R-Score [5, 7].

Метрика R-Score передбачає, що корисність рекомендацій знижується експоненціально вниз по впорядкованому списку рекомендацій, щоб отримати наступний бал для кожного користувача u :

$$R_u = \sum_u \sum_j \frac{\max(r_{uj} - d, 0)}{(j-1)/(2\alpha-1)}, \quad (12)$$

де i_j – це об'єкт в j -й позиції, r_{ui} – рейтинг користувача i , d – випадки неважливого голосування, а α – період напіврозпаду, який контролює експоненціальне зниження значення позицій у ранжовому списку. У випадку задач прогнозування рейтингів r_{ui} – це рейтинг, наданий користувачем для кожного елемента (наприклад, 4 зірки), а d – це неважливе голосування (наприклад, 3 зірки), і алгоритм отримує кредити лише за позиції рейтингу вище неважливого, вищого за d (наприклад, 4 або 5 зірок). У задачі передбачення використання r_{ui} звичайно дорівнює 1, якщо \mathbb{I} вибирає i , та 0 в іншому випадку, якщо $d = 0$.

Отримані для кожного користувача результати агрегуються за допомогою:

$$R = 100 \frac{\sum_u R_u}{\sum_u R_u^*}, \quad (13)$$

де R_u^* – оцінка найкращого рейтингу для користувача u .

До сучасних рекомендаційних систем висувається значно більше вимог, ніж просто прогнозування оцінок користувача. Крім точності формування та ранжування списку рекомендацій до рекомендаційної системи може висуватися багато інших вимог, наприклад: покриття, різноманітність, новизна, приватність, робастність до атак, адаптивність, масштабованість, пропускна здатність, тощо. Покращення даних показників рекомендаційної системи може знизити її точність прогнозування оцінок, але підвищити загальну якість роботи. Розглянемо основні з них.

Важливим показником якості роботи РС є покриття (Coverage), існує декілька його видів:

– Покриття каталогу (покриття простору об'єктів) – може визначатися як відсоток усіх еле-

ментів, які можуть бути рекомендовані, даний показник дозволяє виявити об'єкти, які нікому не рекомендуються.

– Покриття простору користувачів – може характеризуватися часткою користувачів або взаємодій користувачів, для яких система може рекомендувати об'єкти (у багатьох системах рекомендації можуть не надаватися для користувачів, про яких зібрано мало даних, через низьку впевненість у точності прогнозів), якщо рекомендації слід надавати всім користувачам у системі, то необхідно йти на компроміс між покриттям та точністю.

– Різноманітність збуту – міра неоднорідності вибору різних об'єктів користувачами зі списку рекомендацій, для її визначення можна використовувати різні індекси, зокрема, коефіцієнт Джині (14) або ентропію Шеннона (15):

$$G = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (2j-n-1)p(i_j), \quad (14)$$

де i_1, \dots, i_n – це список об'єктів, впорядкованих за збільшенням частоти їх вибору користувачем або частоти їх появи у списку рекомендацій $p(i)$. Індекс $G = 0$, коли всі елементи вибираються однаково часто, а $G = 1$ – коли завжди вибирається один елемент.

$$H = -\sum_{i=1}^n p(i) \log p(i), \quad (15)$$

де ентропія дорівнює 0, коли завжди обирається або рекомендується один об'єкт, та $\log n$, коли n об'єктів вибирається чи рекомендується однаково часто.

Точність прогнозування вподобань і покриття є настільки важливими показниками якості роботи рекомендаційних систем, що їх слід віднести до основних.

Розглянемо й інші показники, за допомогою яких можна оцінити якість роботи рекомендаційної системи за різними критеріями.

Усі сучасні рекомендаційні системи схильні до проблеми бульбашки фільтрів, що виникає, коли алгоритм формування списку рекомендацій підбирає інформацію, яку користувач хотів би бачити, і, в результаті, користувачі відділяються від інформації, яка їх не цікавить або їм не подобається, фактично ізолюючи їх у власних «бульбашках». Для вирішення даної проблеми до рекомендаційних систем висуваються наступні вимоги – список рекомендацій повинен володіти наступними властивостями:

– *Різноманітність рекомендацій (Diversity)*. Це міра схожості елементів списку. Елементи у рекомендаційній системі не повинні бути майже однаковими, вони повинні містити різнотипні об'єкти (наприклад, фільми різних жанрів, а не тільки одного жанру, чи однієї трилогії). Для визначення схожості елементів можна застосовувати різні коефіцієнти подоби (коефіцієнт кореляції Пірсона, косинусну міру, евклідову відстань, відстать Хеммінга тощо), за допомогою яких попарно порівнювати елементи списку, після визначення рівня схожості між окремими елементами можна буде оцінити різноманітність списку рекомендацій в цілому.

Новизна рекомендацій (Novelty). Нові об'єкти у системі можуть ще не мати оцінок і не бути популярними, але вони можуть бути цікавими користувачам через свою новизну. В той же час нові об'єкти необхідно комусь рекомендувати, щоб вони не залишилися без уваги. новизна для користувача, поширеність продукту, частка його рейтингів. Якщо користувачу рекомендувати лише популярні об'єкти, скоріше за все він їх і так знає та обере без рекомендаційної системи, такі рекомендації не будуть містити для нього нової інформації. Це характеристика елемента у списку рекомендацій протилежна його популярності, і в найпростішому випадку може визначатися за формулою [8]:

$$\text{novelty}(i) = -\log_2 p(i), \quad (16)$$

де $p(i)$ – ймовірність того, що i потрапить у список рекомендацій (буде обрано).

Неочікуваність рекомендацій (Serendipity). Неочікуваність представляє собою деякий сюрприз у списку рекомендацій, несхожість на історію дій користувача. Не існує консенсусу у визначенні неочікуваності, однак більшість авторів вказує, що елемент, який має властивість неочікуваності, повинен бути важливим, новим та непрогнозованим для користувача [9]. Важливість для користувача виражається в його реакції на даний елемент після рекомендації, новизна виражається в тому, наскільки користувач знайомий з даним елементом. Елемент може бути незнайомим для користувача, якщо:

- 1) користувач ніколи не чув про даний елемент,
- 2) користувач чув про даний елемент, але ніколи не використовував,
- 3) користувач використовував даний елемент, але забув про це.

Елемент може бути непрогнозованим для користувача, якщо:

- 1) користувач не очікує, що цей елемент буде для нього актуальним,
- 2) користувач не очікує, що цей елемент буде рекомендований йому,
- 3) користувач не знайшов би цього елемента самостійно,
- 4) цей елемент значно відрізняється від елементів, які як правило, обирає користувач,
- 5) користувач не очікує даного елемента у списку рекомендацій, оскільки він переглядав інші види елементів.

Збільшення різноманітності, неочікуваності та новизни рекомендацій може знизити точність прогнозування та точність ранжування, в той же час може підвищитися покриття каталогу об'єктів, різноманітність збуту та частково вирішитися проблема бульбашки фільтрів.

На даний час не існує загальноприйнятих мір та методів оцінки різноманітності, новизни та неочікуваності списків рекомендацій.

Серед показників якості роботи рекомендаційних систем, що є важливими з погляду інформаційної безпеки можна виділити наступні:

1. *Приватність користувача (Privacy).* РС збирають велику кількість даних про користувачів, значну

частину яких користувачі охоче надають самі в обмін на корисні рекомендації.

Однак для більшості користувачів, важливо щоб їхні вподобання залишалися приватними, тобто, жодна третя сторона не могла використовувати РС, щоб дізнатися інформацію про них або їх вподобання. Дана загроза цілком реальна. Як один з прикладів можна навести скандальні ситуації з рекомендаціями друзів у Facebook, які виникали через експерименти з використанням даних геолокації, подібні рекомендації частково порушували приватні дані людей та давали інформацію третім особам про їх переміщення. Для забезпечення приватності користувача РС можна застосовувати наступні методи:

– Інформування користувачів про те, яку інформацію про них збирає РС, гнучкі налаштування параметрів конфіденційності.

– Анонімізація – інформація про користувача може частково видалятися або піддаватися обфускації (маскуванню) користувачем або власником РС.

– Рандомізація – дані користувача (напр., виставлені об'єктам оцінки) можуть бути частково зашумлені випадковими значеннями. Необхідний рівень шуму залежить від того, як часто дані будуть використовуватися, і передбачає балансування між точністю прогнозування та конфіденційністю користувача.

– Шифрування даних користувача, що зберігаються в базі даних РС.

2. *Ризик для користувача (Risk).* В деяких випадках рекомендації можуть бути пов'язані з ризиком. Напр., якщо об'єктами в РС є акції, кредити, депозити, ліки, медичні послуги, політичні акції тощо. В таких випадках може бути необхідним врахування не тільки вподобань користувача при формуванні рекомендацій, а й інших факторів, врахування яких здатне мінімізувати ризик для користувача, що буде переглядати та обирати рекомендації.

3. *Робастність системи до атак (Robustness).* Здатність системи надавати адекватні рекомендації при появі некоректної інформації. Некоректна інформація може виникати при атаках на РС з метою збільшення рейтингу на певні об'єкти, напр., при створенні великої кількості фейкових аккаунтів та ботів, які виставляють високі оцінки певному об'єкту чи об'єктам. Побудова робастних РС базується на двох принципах:

- 1) виявлення спаму серед дій користувачів;
- 2) невраховування при побудові списку рекомендацій інформації користувачів, що поширюють спам.

На сьогоднішній день існують методи, які дозволяють виявити атаку на РС, використовуючи той факт, що розподіл коефіцієнтів подоби користувачів змінюється при наявності спам-користувачів в РС. Так як при атаці створюють не один фейковий профіль, а декілька схожих, такі спам-користувачі будуть мати незвично високу схожість, у порівнянні зі звичайними користувачами.

Однак, надійні методи виявлення атак на РС та протидії ним все ще залишаються активною областю досліджень.

Також, в залежності потреб певного веб-ресурсу чи додатку, можна виділити й інші показники якості роботи рекомендаційних систем, наприклад:

– *Впевненість (Confidence)*. Рекомендаційна система може додавати до своїх рекомендацій процент впевненості у них. Так наприклад, система може вказати для першої рекомендації прогнозовану оцінку користувача 5 балів з впевненістю на 95%, а для другої рекомендації – 5 балів з впевненістю на 89%. Користувач може враховувати даний параметр та обирати в першу чергу об'єкти з більшим значенням впевненості системи.

– *Довіра (Trust)*. Дана властивість характеризує наскільки користувач може довіряти даній рекомендаційній системі. Якщо рекомендаційна система запропонувала користувачу лише невідомі йому об'єкти, то користувач може засумніватися у правильності роботи системи, а якщо серед рекомендацій є певна кількість об'єктів, про які він знає і які йому подобаються, то рівень довіри до системи буде вищим. Тобто, деяка кількість об'єктів, про які відомо користувачу, може збільшити довіру до системи. Ще одним варіантом збільшення довіри до системи є пояснення до рекомендації. Наприклад, коли елемент зі списку рекомендацій подається у вигляді «Якщо Вам подобається X, то спробуйте Y». Також довіра користувача зростає, якщо рекомендації були йому корисні та відповідали його вподобанням, та знижується в протилежному випадку.

– *Адаптивність (Adaptivity)*. Реальна система рекомендацій може працювати у ситуації, коли колекції об'єктів, і/або інтереси користувачів швидко змінюються. Прикладом таких систем можуть бути рекомендаційні системи новинних сайтів, коли об'єкти (новини) цікаві тільки на проміжку певного часу. В таких системах з одного боку цікавість до певного об'єкту існує тільки певний час, з іншого боку деякі старі об'єкти можуть знову ставати дуже цікавими, якщо нові об'єкти у системі поновлюють інтерес до старих. В таких системах слід вибирати швидкі алгоритми, навіть якщо доводиться в деякій мірі жертвувати точністю. Інший тип адаптивності, це те, з якою швидкістю система адаптується до вподобань користувача або до змін в його профілі. Якщо дії користувача на сайті занадто повільно змінюють рекомендації, він може відмовитися оцінювати об'єкти, не отримавши зворотного зв'язку. Адаптивність алгоритмів можна оцінювати шляхом визначення різниці між списками рекомендацій до та після додавання нової інформації з профіля користувача, наприклад, за допомогою міри ентропії Шеннона.

– *Масштабованість (Scalability)*. Зі збільшенням об'ємів даних багато алгоритмів працюють значно повільніше або вимагають додаткових ресурсів,

таких як обчислювальні потужності або пам'ять. Тому важливо враховувати просторову та часову складність алгоритмів. В реальних системах може виникнути необхідність згодитися на меншу точність рекомендацій для одержання більш масштабованої системи.

– *Пропускна здатність (Throughput)*. Це кількість рекомендацій, які система може надати в одиницю часу.

– *Корисність (Utility)*. Значення, що характеризує, яку вигоду від рекомендації отримує система та/або користувач.

При побудові рекомендаційної системи для конкретного веб-сайту чи додатку досить логічним кроком буде визначення списку показників якості, яким повинна задовольняти розроблювана РС, та вибір/розробка алгоритмів і методів її побудови на основі визначення у процесі їх тестування, наскільки вони задовольняють висунутим критеріям.

Висновки

У статті розглянуто основні показники якості роботи рекомендаційних систем та досліджено методи їх оцінки. Найголовнішими показниками якості роботи РС є точність прогнозування оцінок користувача та покриття простору об'єктів і простору користувачів.

Серед додаткових показників якості слід обов'язково звернути увагу на такі, що дозволяють оцінити наявність/відсутність проблеми бульбашки фільтрів та проблем з інформаційною безпекою.

Важливими є такі показники якості роботи РС як різноманітність, новизна та неочікуваність, які дозволяють оцінити структуру списку рекомендацій та ймовірність виникнення проблеми бульбашки фільтрів.

Суттєвими з погляду інформаційної безпеки є такі показники якості роботи РС як приватність, ризик та робастність. Вони дозволяють оцінити інформаційну безпеку користувача та інформаційну безпеку системи.

Безперечно, для кожного окремого веб-ресурсу чи додатку можна скласти свій набір додаткових показників якості роботи рекомендаційної системи, але розглянуті вище показники будуть актуальними практично для будь-якого випадку.

Також важливими можуть бути наступні показники якості: впевненість, довіра, адаптивність, масштабованість, пропускна здатність, корисність, тощо.

Оскільки не існує загальноприйнятих способів вимірювання та методів оцінки таких показників якості роботи рекомендаційних систем, як різноманітність, новизна та неочікуваність, приватність, ризик, робастність, – задача розробки таких методів є актуальною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jones M. Recommender systems, Part 1. Introduction to approaches and algorithms. Learn about the concepts that underlie web recommendation engines / M. Jones – 2013. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s_tact=105agx99&s_cmp=cp

2. Мелешко Є.В. Дослідження методів побудови рекомендаційних систем в мережі Інтернет / Є.В. Мелешко, Г.С. Семенов, В.Д. Хох. // Збірник наукових праць "Системи управління, навігації та зв'язку". Випуск 1(47). – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2018. – С. 131–136.
3. Сегаран Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2013. – 368 с.
4. Амелькин С.А. Оценка эффективности рекомендательных систем // Труды 14-й Всерос.НК «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL-2012, Переславль-Залесский, 2012. – С. 288-291.
5. Recommender Systems Handbook / Editors Francesco Ricci, Lior Rokach, Bracha Shapira, Paul B. Kantor. – 1st edition. – New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2010. – 842 с.
6. Yao Y.Y. Measuring retrieval effectiveness based on user preference of documents / Yao Y.Y. // Journal of the American Society for Information Science. – 1995. – №46. – С. 133–145.
7. Breese, S., Heckerman, D., Kadie, C. Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative Filtering. / In Proc. of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, volume 461. – San Francisco, CA, 1998. – pages 43–52.
8. Castells, P., Vargas, S., Wang, J. Novelty and Diversity Metrics for Recommender Systems: Choice, Discovery and Relevance / P. Castells, S. Vargas, J. Wang. – 2011. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
9. <https://www.semanticscholar.org/paper/Novelty-and-Diversity-Metrics-for-Recommender-and-Castells-Vargas/4ec6bd672aaaa075b42a751099eb9317857e6e0c>
10. Kaminskas M., Bridge D. Measuring Surprise in Recommender Systems. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.insight-centre.org/sites/default/files/publications/recsys2014.pdf>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,
 Національний технічний університет «ХПІ», Харків;
 Received (Надійшла) 08.08.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.09.2018

Методы оценки качества работы рекомендательных систем

Е. В. Мелешко

Предметом изучения в статье является процесс оценки качества работы рекомендательных систем. **Целью** является выявление важнейших показателей качества работы рекомендательных систем и определение методов их оценивания. **Задача:** исследовать методы оценки качества работы рекомендательных систем, исследовать показатели качества работы рекомендательных систем. Получены следующие **результаты:** Рассмотрены основные и дополнительные показатели качества работы рекомендательных систем. Проведено исследование их важности с точки зрения оценки различных свойств списка рекомендаций. Определены направления дальнейших исследований для разработки методов оценки качества работы рекомендательных систем. **Выводы.** Основными показателями качества работы рекомендательных систем является точность прогнозирования оценок пользователя, а также покрытие пространства объектов и покрытие пространства пользователей. Дополнительными показателями качества работы рекомендательных систем является разнообразие, новизна, неожиданность, робастность, приватность, риск. Показатели разнообразие, новизна, неожиданность позволяют оценить качество структуры рекомендаций и вероятность появления проблемы пузыря фильтров. Показатели робастность, приватность, риск позволяют оценить информационную безопасность рекомендационной системы и ее пользователей. Для каждого отдельного веб-ресурса или приложения можно составить свой набор дополнительных показателей качества работы рекомендательной системы, но рассмотренные дополнительные показатели будут актуальны практически для любого случая. Также важными могут быть следующие показатели: уверенность, доверие, адаптивность, масштабируемость, пропускная способность, полезность и т.д. Поскольку не существует общепринятых способов измерения и методов оценки таких показателей качества работы рекомендационных систем, как разнообразие, новизна, неожиданность, приватность, риск, робастность, научно-практическая задача разработки таких методов является актуальной.

Ключевые слова: рекомендательные системы, показатели качества, точность работы, качество работы, покрытие, пузырь фильтров, информационная безопасность, анализ данных, тестирование программного обеспечения.

Quality assessment methods of work of recommendation systems

Yu. Meleshko

The **subject matter** of the article is the processes of assessing a quality of the work of a recommendation systems. The **goal** is to investigate the problems of modern recommendation systems and to find methods for their solution. The **tasks** to be solved are: to identify the most important a quality metrics of the work of a recommendation systems and research the methods for their assessment. The following **results** were obtained: the main and additional quality metrics of a recommendation systems work are considered. Their importance from the point of view of assessing the different properties of a list of recommendations have been studied. Further directions of research for the development of a quality assessing methods of the work of recommendation systems have been determined. **Conclusions.** The main quality metrics of the work of recommendation systems is the prediction accuracy of user's ratings, as well as covering the space of objects and covering the space of users. Additional quality metrics of recommendation systems are diversity, novelty, serendipity, robustness, privacy, risk. The metrics of diversity, novelty and serendipity allow us to assess the quality of a structure of recommendations and the probability of the filter bubble problem. Metrics of robustness, privacy and risk can assess the information security of the recommendation system and its users. For each individual web-resource or application, you can create your own set of additional quality metrics of the recommendation system, but the considered additional quality metrics will be relevant for almost any case. The following metrics can also be important: confidence, trust, adaptability, scalability, throughput, utility, etc. Since there are no generally accepted measure and methods for assessing such quality metrics of recommended systems, such as diversity, novelty, serendipity, privacy, risk, robustness, the scientific-practical task of developing such methods is actual.

Keywords: recommendation systems, quality metrics, accuracy of work, quality of work, coverage, filter bubble, information security, data analysis, software testing.

О. О. Морозов

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ СПОЖИВАЧІВ

Метою статті є розроблення методики розв'язання задачі формування оптимальної за вибраним показником ефективності топології СП як ІСС та алгоритму її практичної реалізації. **Результати.** Розглянуто особливості розв'язання задачі формування ієрархічної системи складів для обслуговування територіально розосереджених споживачів. Розглянуто два вихідних варіанти розміщення складів-вузлів - за наявності обмежень на місця можливого розміщення таких складів та без обмежень на місця їх можливого розміщення. Розглянуті та запропоновані найбільш ефективні методи розв'язання шуканої задачі. Запропонована методика вирішення задачі визначення ієрархічної системи складів для визначених споживачів. **Висновки.** Обґрунтовуючи рішення щодо побудови систем постачання територіально розосереджених споживачів, їх доцільно представляти як багаторівневі, територіально розподілені системи складів. Змістом задачі формування ІСС повинно бути визначення варіанта її побудови кількістю складів вищого рівня, зв'язками між ними – структурою, і їх територіальним розміщенням – топологією. Найбільш ефективними методами розв'язування задачі у такій постановці є комбінаторні методи, зокрема методи направленої перебору.

Ключові слова: система постачання, територіально розподілені споживачі, територіально розподілена система складів, засоби споживання.

Вступ

Постановка проблеми. Однією із задач, що виникають при створенні або модернізації логістичних систем (ЛС) для забезпечення територіально розосереджених споживачів (ТРС), є побудова ефективних систем постачання (СП) таких споживачів необхідними засобами споживання (ЗС). Із збільшенням масштабів систем постачання їх вартісні та функціональні характеристики все більше залежать від топології їх кластерів. Як такі кластери доцільно розглядати склади всіх рівнів СП як основні її елементи. Це дозволяє представляти СП як ієрархічну систему складів (ІСС) і разом із традиційними задачами структурного синтезу розв'язувати комплекси задач їх топологічної оптимізації у процесі їх структурно-функціонально-параметричного і топологічного синтезу [1–3]. При цьому основні кластери СП територіально розосереджених споживачів – склади, мають, як правило, ієрархічну, радіально-вузлову структуру побудови [1–3]. Складами нижчого рівня в такій системі є склади безпосередніх споживачів (реалізаторів) ЗС. Подальше створення (удосконалення) системи постачання для будь-яких ТРС вимагає визначення необхідної кількості складів вищого рівня та їх топології.

Отже, змістом задачі формування ІСС (або задачі структурно-топологічного синтезу СП) є визначення варіанта її побудови. Тобто, при заданих кількості складів безпосередніх споживачів та їх параметрах, каналах постачання ЗС, необхідно визначити кількість складів вищого рівня, зв'язками між ними – *структуру*, і їх територіальним розміщенням – *топологію* [4, 5]. Значні витрати на створення та експлуатацію таких складів потребують вибору обґрунтованих рішень. Це спричинює необхідність визначення доцільних показників ефективності СП, математичних моделей, методів аналізу і формування таких систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз можливих підходів до розв'язання задач формування ієрархічної системи складів, показав, що

більшість із них належить до класу комбінаторних, а методи їх розв'язування розділяють на точні (комбінаторні) та наближені, включаючи евристичні [3, 6].

Комбінаторні методи передбачають повний або направлений перебір усіляких варіантів топології. Методи відсікання можуть бути використані тільки в тих випадках, коли цільова функція та функції обмежень лінійні. Тоді задача може розглядатися як окремий випадок задачі цілочисельного лінійного програмування, що істотно звужує область її практичного застосування [6]. До найчастіше використовуваних методів цієї групи належать також ті, в яких застосовують схеми направленої перебору. При цьому передбачається, що в ІСС використовують однотипні склади вищого рівня та канали постачання засобів споживання, а обвідна локальних екстремумів функції витрат від кількості таких територіально розподілених систем складів є одно екстремальною [3]. Реалізація цього підходу може здійснюватися шляхом послідовної оптимізації варіантів топологічних структур у напрямку збільшення або зменшення кількості складів вищого рівня.

Можливість деякого розширення області застосування комбінаторних методів з'являється у разі використання підходу, заснованого на виключенні ізоморфних варіантів [7].

Серед наближених методів, що знаходять широке застосування у розв'язуванні задач великої розмірності, виділяються методи, у яких використовують випадковий пошук, випадковий пошук з локальною оптимізацією і методи, схеми яких враховують специфіку задач. До числа найбільш ефективних методів цієї групи можуть бути віднесені методи еволюційного синтезу, реалізовані за допомогою генетичних алгоритмів [8] і методи, у яких використовують схеми покоординатної оптимізації [3]. При цьому методи еволюційного синтезу добре пристосовані для розв'язування багатокритеріальних задач, але поступаються методам на основі покоординатної оптимізації за комплексним показником "точність–складність" для розв'язування задач за показником витрат. Мето-

ди на основі покоординатної оптимізації мають відносно низьку часову складність, однак, не гарантують одержання точних рішень. У процесі розв'язування задач структурно-топологічної оптимізації систем з регулярним розподілом кластерів отримані оцінки оптимальної кількості їх елементів вищого рівня на основі аналітичної моделі Нокера і попереднього оцінювання витрат для систем з радіально-вузловими структурами [4]. При цьому територіальне розміщення таких кластерів не визначається.

Метою статті є розроблення методики розв'язання задачі формування оптимальної за вибраним показником ефективності топології СП як ІСС та алгоритму її практичної реалізації.

Виклад основного матеріалу

Задана множина складів для забезпечення кожного із ТРС засобами споживання $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$. Для кожного такого складу визначене місце розміщення, транспортна мережа, обсяги замовлень ЗС та транспортні витрати. Будемо їх визначати як склади 1-го рівня (СПР). Необхідно визначити оптимальну кількість J^{opt} та місце розташування складів-вузлів, тобто складів, які повинні забезпечувати групи СПР. Визначатимемо їх як склади 2-го рівня (СДР), а також підмножини складів 1-го рівня, які будуть обслуговуватися кожним складом 2-го рівня $I_j = \{i_j\}$, $j = \overline{1, J^{opt}}$.

Розглянемо дві задачі: за наявності обмежень на місця можливого розміщення СДР та без обмежень на місця їх можливого розміщення. Перший випадок матиме місце у разі, якщо СДР будуть розміщуватися на базі або у безпосередній близькості від СПР. Такий вид обмежень найбільше відповідає практиці побудови більшості систем постачання.

Для цього випадку задачу формування ІСС можна представити як задачу мінімізації зведених витрат на постачання ЗС до складів 1-го рівня [9]:

$$C = \sum_{j=1}^J c_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J q_i r_i d_{ij} v_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де n – кількість СПР; J – кількість СДР; c_j – зведені витрати на j -й СДР, грн./рік; q_i – обсяг вантажного потоку ЗС до i -го СПР, т/рік; r_i – транспортні витрати i -го СПР, грн./т·км; d_{ij} – відстань між i -м СПР та j -м СДР, км.; булева $v_{ij} = 1$ тільки, якщо i -й СПР обслуговується j -м СДР.

Для розв'язання задачі (1) можуть бути використані методи, наведені у працях [1, 3, 4, 6]. Відмінністю цих методів є те, що вони орієнтовані на розв'язування задач, в яких СДР можуть розміщуватися тільки на базі одного із СПР.

Для визначення кількості СДР можна скористатися методом направленої перебору MDR з використанням евристики ADD. Це пов'язано з тим, що представляючи СП як ТСС, яка має дворівневу структуру, можна стверджувати, що залежність зведених витрат на функціонування такої системи постачання від кількості СДР є одно екстремальною функцією, яка спочатку спадає, а потім зростає [10].

Для розв'язання задачі із обмеженням на місця можливого розміщення СДР можна застосувати набір методів, які розрізняються за складністю та точністю розв'язування. Це дозволить вибрати кращий із методів, залежно від розмірності задач (кількості СПР та СДР), необхідної точності розв'язання, розрахункових потужностей і обмежень на час отримання результату. Ідея методу направленої перебору MDR полягає у такому. Визначається початкове значення допустимої кількості СДР J' , необхідних для обслуговування всієї множини СПР $I = \{i : i = \overline{1, n}\}$. Традиційно приймається $J' = 1$. Для заданої кількості СДР J' за мінімумом витрат на транспортування $\min\{q_i r_i d_{ij}\}$ розв'язують задачу їх найкращого розміщення та розподілу множини СПР за СДР $I_j = \{i_j\}$, $j = \overline{1, J'}$. Збільшуючи кількість СДР у СП $J' := J' + 1$, розв'язують задачу їх розміщення та розподілу множини СПР за СДР до отримання найкращого для заданих умов результату за критерієм мінімуму зведених витрат (1). Для розв'язання задачі розміщення СДР та розподілу множини СПР за СДР можна використати методи повного перебору MCR, зрізаного перебору MTR, за координатною оптимізацією MCD. Метод MCR передбачає вибір рішення шляхом повного перебору всіх можливих розміщень СДР, кількість яких для відомої кількості СПР n та заданої кількості СДР дорівнюватиме кількості сполучень C_n^J . Метод MTR передбачає вибір рішення шляхом повного перебору сполучень на скороченій множині місць можливого розміщення СПР I^+ . Для цього серед множини місць розташування СПР I виділити підмножину I^- СПР, розташованих на границі території, що обслуговується, та які знаходяться подалі від інших СПР або від шляхів, що зв'язують СПР між собою. Таким чином, множина I^+ може бути отримана з множини I шляхом виключення з неї місць I^- , розміщення в яких СДР є економічно недоцільним, тобто $I^+ = I \setminus I^-$. Сутність методу MCD полягає в тому, щоб почавши з деякого довільно вибраного розміщення J СДР, покращувати рішення шляхом послідовного переміщення одного з СДР при фіксованому розміщенні $J-1$ інших. Циклічне застосування цієї процедури для всіх СДР дозволить отримати наближення локального мінімуму витрат (1). З метою підвищення точності оцінювання можна застосувати багатократну реалізацію процедури для різних початкових розміщень СДР. Зниження часової складності методу можна досягти, обмежуючи розмір області можливого переміщення СДР.

Для визначення місцеположення СДР за умови відсутності обмежень на місця їх розташування можна використати таку двоетапну процедуру [3]. На першому етапі множини СПР розбивають на підмножини, що не перетинаються:

$$I_j, j = \overline{1, J} \quad I_j \cap I_k = \emptyset \quad \forall i \neq j, \quad \bigcup_j I_j = I. \quad (2)$$

Розбиття можна виконати одним із найбільш популярних методів кластеризації – методом "k-середніх" [11]. При цьому як міру близькості елементів кластера використовують відстань між ними.

На другому етапі для кожної підмножини СПР I_j визначають координати СДР. Таку задачу розв'язують за допомогою ітераційного методу "центра рівноваги системи транспортних витрат" [12]. Початкові координати j -го СДР визначають як:

$$RQ = \sum_{i \in I_j} r_i q_i; \quad j = \overline{1, m};$$

$$x_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i x_i / RQ; \quad y_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i y_i / RQ; \quad (3)$$

де $I_j = \{i_j\}, j = \overline{1, J}$ – множина СПР, яку обслуговує j -й СДР. Потім розраховують сумарні витрати на транспортування для j -го СДР:

$$C_j = \sum_{i \in I_j} r_i q_i d_{ij}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Повторний розрахунок координат j -го СДР:

$$RD = \sum_{i \in I_j} r_i q_i / d_{ij}; \quad x_j = \sum_{i \in I_j} (r_i q_i x_i / d_{ij}) / RD;$$

$$y_j = \sum_{i \in I_j} (r_i q_i y_i / d_{ij}) / RD, \quad j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

Переобчислення координат СДР продовжується, поки значення (4) не припинить змінюватися на наперед задану величину.

Алгоритм розв'язування задачі формування ІСС без обмежень на місця можливого розміщення СДР можна представити у такому вигляді.

1. Присвоїти $J := 1$.
2. Розрахувати зведені витрати на транспортування ЗС в системі C^0 за формулою (1).
3. Присвоїти $J := J + 1$.
4. Виконати розбиття множини СПР J кластерів за допомогою k -середніх.
5. Визначити місцеположення для кожного з J СДР за допомогою ітераційного методу "центра рівноваги системи транспортних витрат".
6. Розрахувати зведені витрати на транспортування ЗС в системі $C^{(1)}$.
7. Якщо $C^0 > C^{(1)}$, то присвоїти $C^0 := C^{(1)}$ та перейти до п. 3.
8. Видати результат $C^0, J_0 = J - 1$.
9. Кінець розрахунків.

Розв'язування задачі формування ІСС, як за умов обмеження на місця розміщення СДР, так і без них, дозволяє отримувати гілчасту топологію системи постачання, де постачальник, СДР та закріплені за ним СПР утворюють канали постачання ЗС у ланцюзі "постачальник – СДР – група СПР" (рис. 1).

Висновки

1. Обґрунтовуючи рішення щодо побудови систем постачання територіально розосереджених споживачів, їх доцільно представляти як багаторівневі, територіально розподілені системи складів.

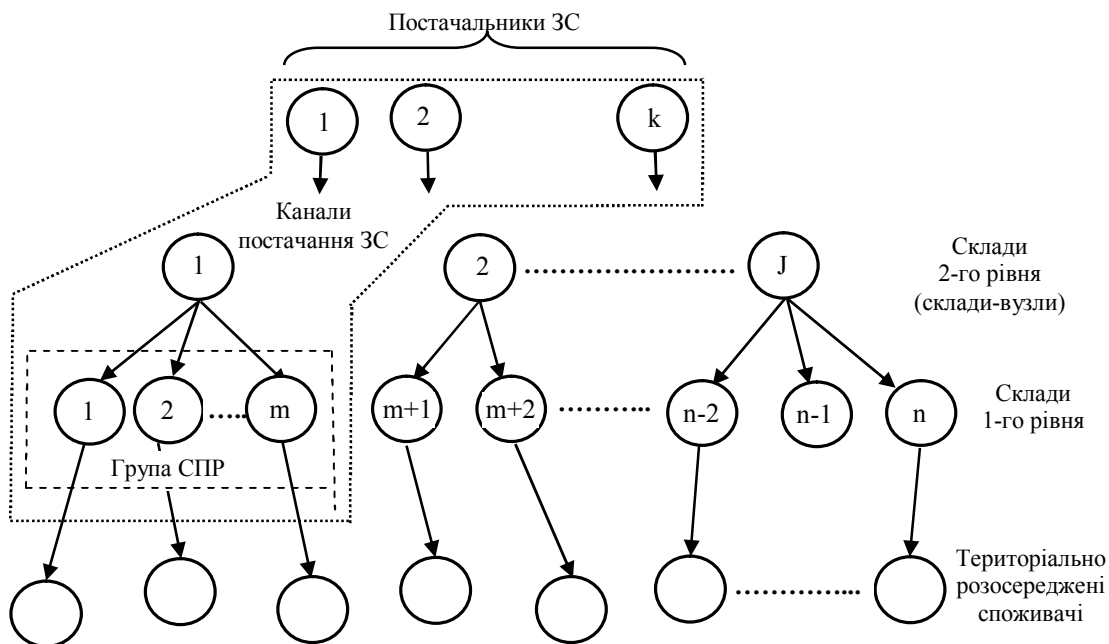


Рис. 1. Ієрархія складів системи постачання

2. Змістом задачі формування ІСС повинно бути визначення варіанта її побудови кількістю складів вищого рівня, зв'язками між ними – *структурою*, і їх територіальним розміщенням – *топологією*.

3. Найбільш ефективними методами розв'язування задачі у такій постановці є комбінаторні методи, зокрема можна виділити методи направленої перебору.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цвиркун, А. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М. : Наука, 1993. – 160 с.

2. Советов, Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Л. : Машиностроение, 1990. – 332 с.
3. Петров, Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескоровайный. – К. : Техніка, 1992. – 208 с.
4. Бескоровайный, В. В. Оценка оптимального количества подсистем при проектировании систем с регулярно распределенными элементами / В. В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 122. – С. 141–144.
5. Алгоритм оптимізації розміщення пожежних депо при проектуванні нових районів міст / В. М. Комяк, А. Г. Косе, О. К. Пандорін, О. В. Панкратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА. – 2000. – Вып. 68. – С. 62–64.
6. Денисов, А. А. Теория больших систем управления / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
7. Свирщева, Э. А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами / Э. А. Свирщева. – Х. : ХТУРЭ, 1998. – 256 с.
8. Бескоровайный, В. В. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС / В. В. Бескоровайный, З. А. Имангулова // Вестник ХГПУ. – 2000. – Вып. 83. – С. 4–7.
9. Дыбская, В. В. Стратегические задачи логистического складирования / В. В. Дыбская, М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1(6). – С. 6–11.
10. Гаджинский, А. М. Логистика / А. М. Гаджинский. – М. : Издательско-торг. корпор. “Дашков и К^о”, 2005. – 432 с.
11. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
12. Мещанкин, А. С. Методические подходы к оптимизации проектирования логистической сети / А. С. Мещанкин // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1(6). – С. 24–28.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. А. Подригало,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків;
Received (Надійшла) 14.08.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.09.2018

Методика формирования иерархической системы складов для обслуживания территориально рассредоточенных потребителей

А. А. Морозов

Целью статьи является разработка методики решения задачи формирования оптимальной по выбранному показателю эффективности топологии СП как ИСС и алгоритма ее практической реализации. **Результаты.** Рассмотрены особенности решения задачи формирования иерархической системы складов для обслуживания территориально рассредоточенных потребителей. Рассмотрено два исходных варианта размещения складов-узлов - при наличии ограничений на места возможного размещения таких складов и без ограничений на места их возможного размещения. Рассмотренные и предложенные наиболее эффективные методы решения искомой задачи. Предложена методика решения задачи определения иерархической системы складов для определенных потребителей. **Выводы.** Обосновывая решение по построению систем снабжения территориально рассредоточенных потребителей, их целесообразно представлять как многоуровневые, территориально распределенные системы складов. Содержанием задачи формирования ИСС должно быть определение варианта ее построения количеством складов высшего уровня, связями между ними - структурой, и их территориальным размещением - топологией. Наиболее эффективными методами решения задачи в такой постановке есть комбинаторные методы, в частности методы направленного перебора.

Ключевые слова: система снабжения, территориально распределенные потребители, территориально распределенная система складов, средства потребления.

Methodology of forming hierarchical system storages for maintenance of the territorial dispersed consumers

A. Morozov

The purpose of the article is to develop a method for solving the problem of optimal formation of the selected index of the efficiency of the topology of the joint venture as an ISS and the algorithm for its practical implementation. The variants of decision of task of forming of the hierarchical system of storages are considered for maintenance of the territorial dispersed consumers. A task appears for terms, when the amount of the territorial up-diffused storages of end-user of facilities of consumption and place (coordinates) of their placing is known. Thus the decision of initial task must be determining the optimal amount of storages-knots, each of that served the certain groups of storages of end-user. Two initial variants of placing of storages-knots are considered - at presence of limits on the places of the possible placing of such storages and without limits on the places of their possible placing. Considered and offer most effective methods of decision of the sought after task. The first variant of task of forming of the system of storages appears the task of minimization the brought expenses over on supplying with facilities of consumption on storages of end-user. Thus storages-knots take place on the base of one of storages of end-user. The sought after task is actually taken to determining the optimal amount of storages-knots. For the decision of task the possible methods of decision are analysed in such raising. The method of the directed surplus of MDR is certain the most acceptable method of decision of task. For the second variant of task a two stage procedure of decision is worked out. On the first stage the great number of storages of end-user by means of method of "к-средних" is broken up on non-overlapping subsets. On the second stage for every subset by means of method of "center of equilibrium of the system of transport expenses" the coordinates of placing of storages-knots are determined. Total transport expenses settle accounts for each of such storages. The count of coordinates of placing of storages-knots is produced until total transport expenses will not begin to change the size set in advance. For the practical decision of such task a corresponding algorithm is worked out.

Keywords: system of supply, territorial distributed consumers, territorial distributed system of storages, means of consumption.

О. И. Морозова

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ С ДУАЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В работе показан анализ особенностей функционирования современных систем с дуальными процессами, которые являются взаимодействием двух самостоятельных в организационном и правовом отношениях сфер. Под системами с дуальными процессами понимаются системы с образовательными процессами и системы с производственными процессами. Целью данной статьи является проанализировать и выявить особенности функционирования этих систем. Отдельно рассмотрены особенности каждой из систем, а именно систем с образовательными и производственными процессами. С точки зрения теории систем структуры современных образовательных системы 1-2 уровня аккредитации, эволюционировали из организационных структур в организационно-технические структуры, где важное место занимают информационно-управляющие сети. Проанализировав влияние глобальных факторов на образовательные системы 3-4 уровня аккредитации выявлены важные особенности их функционирования, которые открывают большие возможности по созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений, обеспечивающих интеграцию, как с образовательными системами 1-2 уровня аккредитации, так и производственными системами. Кроме этого, в настоящее время существенное влияние на функционирование систем 3-4 уровня аккредитации оказывают факторы глобализации, интеграции и информатизации. На основе анализа системообразующих производственных понятий – производственные силы и производственные отношения, а также особенностей подбора кадров на основе информационных технологий, сделан вывод о необходимости интеграции процедур обучения и образования в системах 3-4 уровня аккредитации с информационно-технологическими решениями, принимаемыми на производстве при подборе кадров. Показано, что в исследуемых системах не в полной мере используются большие возможности современных информационных технологий, которые позволяют осуществлять интеграцию систем с дуальными процессами. Выявлены возможности интегрирования на уровне информационно-технологических решений современных образовательных систем 1-2 и 3-4 уровней аккредитации, а также систем с производственными процессами.

Ключевые слова: учебный комплекс, современные системы, образование, производство, системы с дуальными процессами.

Введение

Система высшей школы требует ряд инноваций, направленных на повышение интеллектуального ресурса выпускников, соответствующего требованиям современного производства. В связи с этим актуальным является применение инновационных технологий в управлении образовательной деятельностью, а именно процессом приобретения знаний, умений и навыков в образовательных системах и реализация их на производстве с использованием информационно-коммуникационных и сетевых технологий [1].

Одним из современных путей повышения компетенций является внедрение дуальной системы обучения, которая направлена на повышение уровня профессиональной подготовки кадров. Она представляет собой новую и более гибкую форму организации обучения, которая предусматривает согласованное взаимодействие образовательной и производственной сферы по подготовке квалифицированных кадров определенного профиля в рамках организационно-отличных форм обучения [2]. Объединение в единую функциональную структуру систем, связанных с образовательными и производственными процессами представляет собой учебный комплекс.

Таким образом, появляются отношения, протекающие в системах с дуальными процессами. Дуальные процессы являются взаимодействием двух самостоятельных в организационном и правовом отношениях сфер [3]. Например, процессы взаимодействия профессионального образования и производственной сферы. Под системами с дуальными

процессами понимаются системы с образовательными процессами и системы с производственными процессами. Целью данной статьи является проанализировать и выявить особенности функционирования этих систем.

1. Особенности функционирования систем с образовательными процессами

Под системами с образовательными процессами будем понимать образовательные системы 1-2 уровня аккредитации (Общеобразовательные учреждения) и образовательные системы 3-4 уровня аккредитации (Высшие учебные заведения). Выделим следующие особенности развития современных образовательных систем 1-2 уровня аккредитации. С точки зрения теории систем структуры современных образовательных системы 1-2 уровня аккредитации, эволюционировали из организационных структур в организационно-технические структуры, где важное место занимают информационно-управляющие сети.

Кроме того, основные элементы этих образовательных систем за последнее время информационной революции приобрели новые свойства, которые с одной стороны, повышают эффективность процессов обучения, а с другой усложняют отношения между учениками и педагогическими работниками.

Покажем эту особенность на обобщенной модели обучения, образования и воспитания (рис. 1), где $M_{об}^{1-2}$ и $M_{об}^{1-2*}$ – модели обучения, образования и воспитания до информационной революции и в условиях информационной революции соответственно.

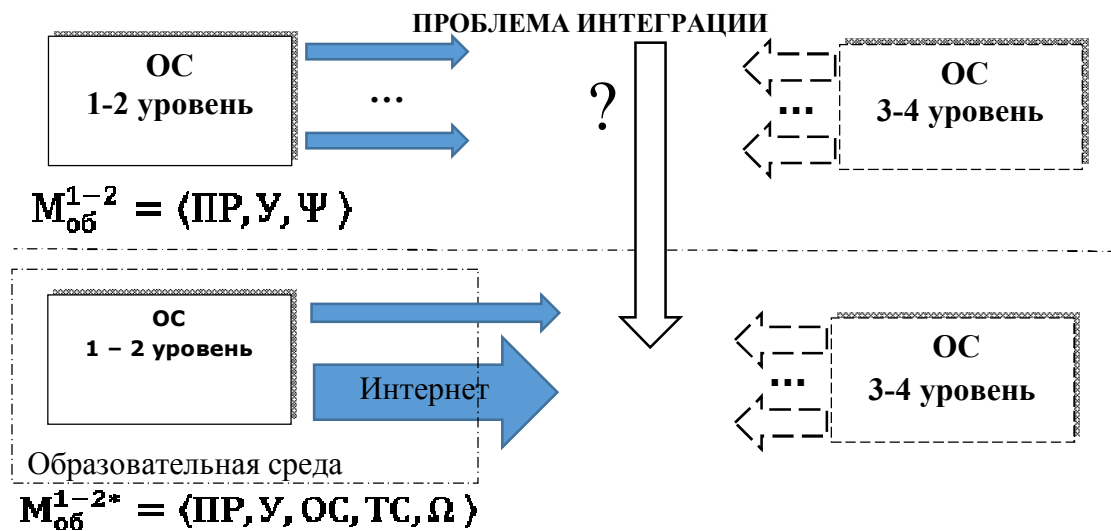


Рис. 1. Иллюстрация особенностей функционирования образовательных систем 1-2 уровня аккредитации

В формулах обозначено

ПР – множество педагогических работников;

У – множество учеников;

ОС – образовательная среда;

ТС – множество информационно-технических средств (сети, гаджеты и др.), реализующих виртуальный образовательное пространство,

Ψ – множество учебных отношений,

Ω – сигнатура отношений, обеспечивающих связь между элементами ПР, У, ОС и ТС.

Еще одной важной особенностью функционирования образовательных систем 1-2 уровня аккредитации в условиях информационно-коммуникационной революции является то, что управление (администрирование) этими системами приобретают черты информационных технологий, в основе которых лежат информационно-технологические решения. К сожалению, в исследуемых образовательных системах не в полной мере используются большие возможности современных информационных технологий, которые позволяют осуществлять интеграцию с образовательными системами более высокого уровня аккредитации.

Помимо демографических факторов, оказывающих влияние на структуры образовательных систем 3-4 уровня аккредитации, в настоящее время существенное влияние на их функционирование оказывают факторы глобализации, интеграции и информатизации. Они обуславливают изменение структур исследуемых систем, а также появление не свойственных для научно-педагогического работника (НПР) качеств. Например, современный научно-педагогический работник должен обладать навыками использования в обучении, образовании и воспитании ИТ-технологиями, к которым относятся интеллектуальные, лингвистические, веб, геоинформационные и другие технологии [4].

Современный НПР должен владеть как естественными иностранными языками, так и иметь представление об искусственных языках программирования, а также языками математики, например, теоретико-множественным языком, а также языком

математического анализа и другими математическими языками высокого уровня абстракции и др.

Практика показывает, что НПР современной образовательной системы 3-4 уровня аккредитации должен иметь свой персональный сайт, уметь его сопровождать и быть грамотным модератором.

Что касается особенностей использования ИТ-технологий с целью управления (администрирования) образовательных систем 3-4 уровня аккредитации, то в настоящее время наметилась тенденция создания на основе веб-технологий систем поддержки принятия образовательных процессов, что приводит к интеграции процессов, как с образовательными системами низшего уровня аккредитации, так и производственными системами.

На рис. 2 в модели $M_{об}^{3-4*}$ обозначено: НПР – множество научно-педагогических работников;

С – множество студентов;

К – множество кураторов;

ОС – образовательная среда;

ТС – множество технических средств и гаджетов;

Σ – сигнатура отношений между элементами указанных выше множеств.

Таким образом, на основе анализа влияния глобальных факторов на образовательные системы 3-4 уровня аккредитации выявлены важные особенности их функционирования, которые открывают большие возможности по созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений, обеспечивающих интеграцию, как с образовательными системами 1-2 уровня аккредитации, так и производственными системами.

2. Особенности функционирования систем с производственными процессами

Основным элементом производственной системы с точки зрения теории систем, является человек. Именно человек с его интеллектуальным потенциалом является важнейшим элементом в структуре производства.

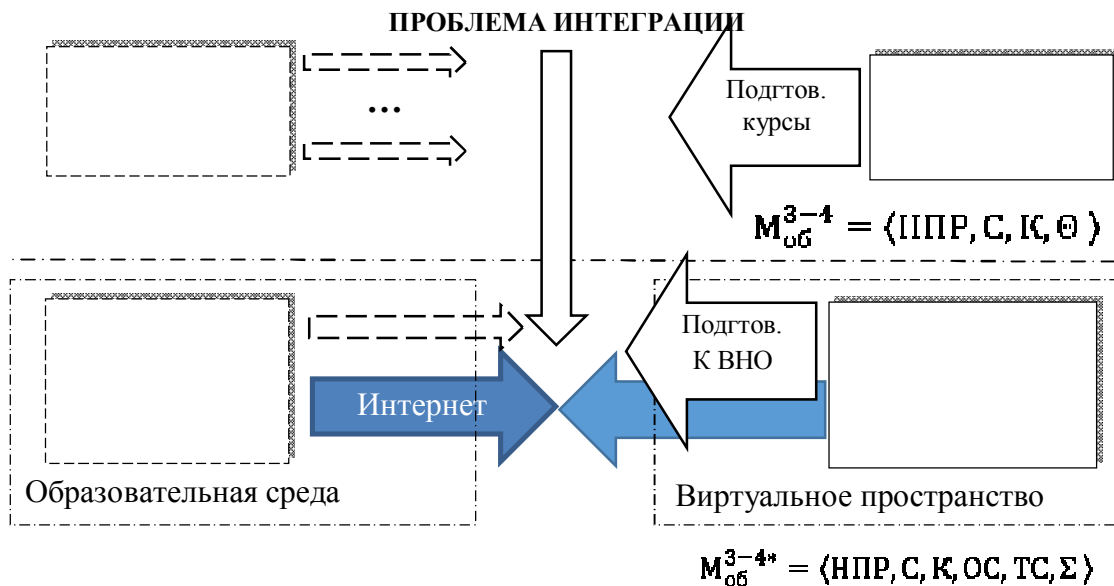


Рис. 2. Иллюстрация особенностей функционирования образовательных систем 3-4 уровня аккредитации во взаимодействии

Существует прямая зависимость производственных сил от качества специалистов, участвующих в производстве. Чем выше эти качества, тем эффективней производство. Именно поэтому любое предприятие заинтересовано в подборе специалистов с высоким уровнем знаний, умений и навыков для реализации производственных технологий, особенно наукоемких. В настоящее время подбор кадров для работы на предприятии осуществляется, в основном, через биржу труда с использованием информационных технологий. Однако, современные информационно-технологические решения, принимаемые с использованием электронных бирж труда мало эффективны, так как приводят к дополнительным затратам време-

ни на обучение и переучивание взятых на работу специалистов. Поэтому организация на предприятии процедур принятия информационно-технологических решений на основе их интеграции с образовательными системами 3-4 уровня аккредитации является важной особенностью функционирования современного предприятия, и характеризуют системы с дуальными процессами. На рис. 3 обозначено: $M_{пр}$ – модель производственной деятельности выпускника образовательной системы 3-4 уровня аккредитации; Z – множество знаний выпускника; Y – множество умений; N – множество навыков; Tx – множество операций и процедур технологического производственного процесса.

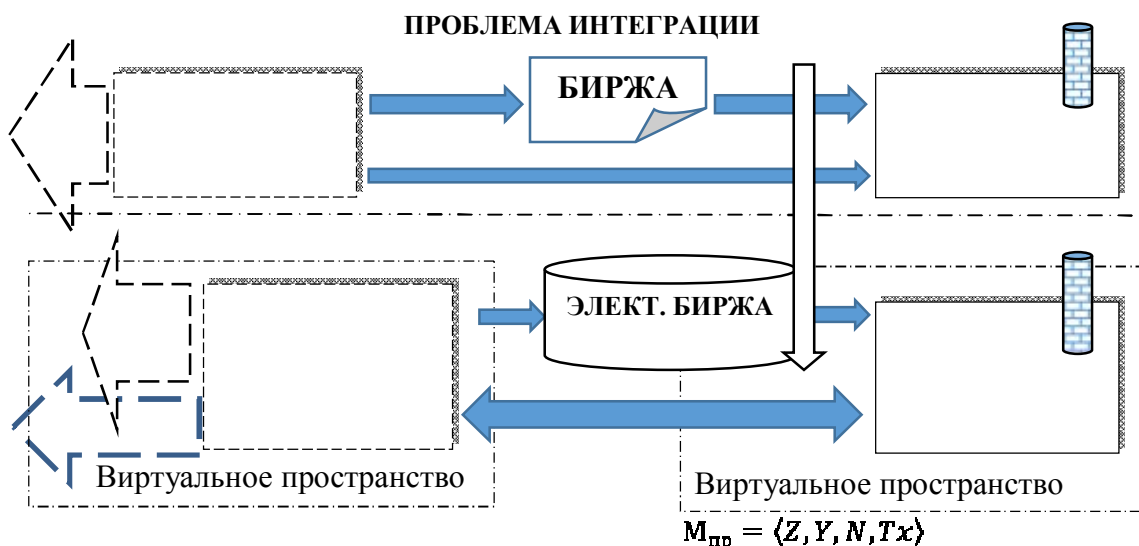


Рис. 3. Иллюстрация особенностей функционирования предприятия во взаимодействии с образовательными системами 3-4 уровня аккредитации

Особое значение оказывается организационной структуре производственной системы, а именно совокупности взаимосвязанных элементов, которые образуют общую систему. Таким образом, на основе

анализа системообразующих производственных понятий – производственные силы и производственные отношения, а также особенностей подбора кадров на основе информационных технологий сделан вывод о

необходимости интеграции процедур обучения и образования в системах 3-4 уровня аккредитации с информационно-технологическими решениями, принимаемыми на производстве при подборе кадров.

Заключение

На основе краткого анализа исторических событий и эволюционного развития систем 1-2 и

3-4 уровня аккредитации и производственных систем выявлены особенности их функционирования, а также возможности интегрирования на уровне информационно-технологических решений современных образовательных систем 1-2 и 3-4 уровней аккредитации, также систем с производственными процессами, объединенные системами с дуальными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кибернетическая педагогика: онтологический инжиниринг в обучении и образовании [Текст] / К. А. Метешкин, О. И. Морозова, Л. А. Федорченко, Н. Ф. Хайрова. – Х. : ХНАГХ, 2012. – 207 с.
2. Дуальна освіта [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesiino-tehnichna-osvita/dualna-osvita>. – 05.09.2018.
3. Философия: Энциклопедический словарь [Текст] / Под ред. А. А. Ивина. – М.: Гардарики, 2004. – 1072 с.
4. Christensen, C. M. The innovative university: Changing the DNA of higher education from the inside out [Text] / C. M. Christensen, H. J. Eyring. – San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2011. – 512 p.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. А. Метешкин,
Харківський національний університет міського господарства Харків;
Received (Надійшла) 21.08.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.09.2018

Аналіз особливостей функціонування сучасних систем з дуальними процесами

О. І. Морозова

В роботі показано особливості функціонування сучасних систем з дуальними процесами, які є взаємодією двох самостійних в організаційному та юридичному відношенні сфер. Під системами з дуальними процесами розуміються системи з освітніми процесами та системи з виробничими процесами. Метою даної статті є проаналізувати та виявити особливості функціонування цих систем. Окремо розглянуті особливості кожної з систем, а саме систем з освітніми та виробничими процесами. З точки зору теорії систем структури сучасних освітніх систем 1-2 рівня акредитації, еволюціонували з організаційних структур в організаційно-технічні структури, де важливе місце займають інформаційно-керуючі мережі. Аналізуючи вплив глобальних факторів на освітні системи 3-4 рівнів акредитації виявлені важливі особливості їх функціонування, які відкривають великі можливості у створенні інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що забезпечують інтеграцію, як з освітніми системами 1-2 рівнів акредитації, так і виробничими системами. Крім цього, в даний час істотний вплив на функціонування систем 3-4 рівня акредитації надають фактори глобалізації, інтеграції та інформатизації. На основі аналізу системоутворюючих виробничих концепцій – виробничих сил та виробничих відносин, а також особливостей підбору кадрів на основі інформаційних технологій, зроблено висновок про необхідність інтеграції процедур навчання та освіти в системах 3-4 рівнів акредитації з інформаційно-технологічними рішеннями, прийнятими на виробництві при підборі кадрів. Показано, що в досліджуваних системах не повною мірою використовуються великі можливості сучасних інформаційних технологій, які дозволяють здійснювати інтеграцію систем з дуальними процесами. Виявлені можливості інтеграції на рівні інформаційно-технологічних рішень сучасних освітніх систем 1-2 та 3-4 рівнів акредитації, а також системи з виробничими процесами.

Ключові слова: навчальний комплекс, сучасні системи, освіту, виробництво, системи з дуальними процесами.

Analysis of the functioning features of modern systems with dual processes

O. Morozova

The paper shows an analysis of the functioning features of modern systems with dual processes, which are the interaction of two independent spheres in organizational and legal relations. In systems with dual processes are understood system with educational processes and systems with manufacturing processes. The purpose of this article is to analyze and identify the features of these systems functioning. Separately the features of each systems are considered, namely systems with educational and manufacturing processes. From the point of view of the systems theory, the structures of modern educational systems of 1-2 accreditation level evolved from organizational structures into organizational and technical structures where information and control networks occupy an important place. After analyzing the influence of global factors on educational systems of 3-4 accreditation level, important features of their functioning are revealed, which open up great opportunities for creating intelligent decision support systems that provide integration both with educational systems of 1-2 accreditation level and manufacturing systems. In addition, currently a significant impact on system functioning of 3-4 accreditation levels have impact factors of globalization, integration and informatization. Based on the analysis of the system-forming concepts of production – production forces and production relations, as well as features of personnel selection based on information technologies, it was concluded that it is necessary to integrate training and education procedures in systems of 3- 4 accreditation levels with information technology solutions adopted at manufacturing when selecting personnel. It was shown that in the studied systems the large possibilities of modern information technologies, which allow the integration of systems with dual processes, are not fully used. The possibilities of integration at the level of information technological solutions of modern educational systems of 1-2 and 3-4 accreditation levels, as well as systems with manufacturing processes, are revealed.

Keywords: educational complex, modern systems, education, production, systems with dual processes.

О. Ю. Несміян, М. А. Павленко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД АНАЛІЗУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В СППР АСУ

Предмет: У статті розглянуті питання семантичного та синтаксичного аналізу текстів, процесів декомпозиції речення на складові, побудови синтаксичної структури речення; семантичної інтерпретації фрагментів речення природної мови у фрагменти М-мови; композиції фрагментів М-мови в структуру реферату, що описує проблемне середовище. **Мета:** розробка методу аналізу та обробки інформації в СППР АСУ. **Завдання:** Провести аналіз досліджень останніх років пов'язаних з вирішенням проблеми аналізу змісту мовних структур з погляду на створення систем діалогу з програмним забезпеченням, зроблено висновки щодо доцільності напрямку досліджень. Виконати детальний опис етапів виконання семантичного та синтаксичного аналізу з описом вхідних, проміжних та вихідних даних. Визначити рекомендації щодо варіативності вхідних даних в залежності від структури речень предметної області (тексту викладеного природною мовою). Запропонувати правила формування предикатів для різних частин української мови. Визначити типовий набір службових слів для наповнення еталонного словника. Обґрунтувати виконання наведених операцій щодо об'єднання в одну обчислювальну структуру, яка виконується за визначеними етапами. Розробити процедури проходження кожного з етапів. Запропонувати правила формування синтаксичних груп з визначених пар лексем. **Висновки:** Застосування розробленого методу на основі визначених правил до предикатів дозволить виконати вибірку інформативно суттєвої інформації із набору текстової інформації та представити її у вигляді анотації (реферату).

Ключові слова: СППР, АСУ, речення, словоформа, лексема, синтаксична група, семантичний зв'язок.

Вступ

Постановка проблеми: Спроби формалізувати інтелектуальну діяльність людини призвели до постановки фундаментальної лінгвістичної задачі [1], що полягає в побудові функціональної моделі природної мови. Формально моделі мови розглядаються як компоненти різних прикладних систем. Мета аналізу речень на природній мові – переведення їх на машинну мову обчислювальної системи. При цьому реалізуються наступні функції [2]: розпізнавання правильно побудованих речень природної мови; декомпозиція («розбивка») речення на складові (фрагменти) і побудова відповідної синтаксичної структури речення; семантична інтерпретація фрагментів речення природної мови у фрагменти М-мови; композиція («збірка») фрагментів М-мови в структуру, що описує ситуацію проблемного середовища. Реалізація цих функцій здійснюється на етапах морфологічного і синтаксичного аналізів, семантичної інтерпретації і проблемного аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Аналіз досліджень останніх років пов'язаних з вирішенням проблеми аналізу змісту мовних структур з погляду на створення систем діалогу з програмним забезпеченням показав, що найбільш поширеними є підходи, засновані на синтаксичному, семантичному аналізах і шаблонах. Перший підхід, який використовує синтаксичні конструкції, - найважчий. Синтаксичне представлення запиту будується на основі підмета, присудка, суфікса тощо, які визначаються за допомогою морфологічних характеристик. Це представлення нічого не говорить про сутність запиту. Другий підхід, заснований на семантиці, набагато ближчий до сутності запиту та є уніфікованим [4, 5]. Саме апарат семантичного аналізу текстової інформації був застосований при виконанні досліджень наведених в даній статті.

Метою статті є розробка методу аналізу та обробки інформації в СППР АСУ.

Виклад основного матеріалу

Вибір підходу, що базується на семантичному аналізі текстової інформації обумовлений не тільки уніфікацією доступних методів та близькістю до сутності запитів, а й тим, що у ньому використовується синтаксична інформація з семантичних словників, що дозволяє досить варіативно підходити до їх побудови максимально звужуючи предметну область, а відповідно і швидкість обробки. Тобто, кожне слово в словнику має характеристики, що дозволяють визначати смислові відношення між ним та іншими словами, точніше, їх значеннями. Повний опис зв'язків між смислами слів (а одне слово часто має кілька смислів) утворює тезаурус, який представляє собою велику мережу зі словами і їх смислами як вузли. За допомогою таких тезаурусів виконується побудова семантичного подання запиту. Основне завдання при цьому - відсікти непотрібні смисли, постаратися виділити за допомогою синтаксичних зв'язків достовірні семантичні конструкції. Дослідження, що проводяться в даній роботі, пов'язані з розробкою методу та алгоритмів, що реалізують всі перераховані вище кроки. На наш погляд, запити до структурованих джерел даних цілком можуть бути викладені у вигляді одного або декількох простих речень природної мови, в яких відсутні неологізми і для яких нескладно здійснювати синтаксичний аналіз. При синтаксичному аналізі природно-мовного речення будується граф залежностей, який після ряду послідовних перетворень містить інформацію, необхідну для побудови SQL-запиту. За своєю сутністю реалізація кожного з етапів пропонується представити взаємозалежним ланцюгом операцій. Структура запропонованого методу показана на рис. 1.

Відповідно до опису формального апарату БД рішення задачі семантичного та синтаксичного аналізу може бути представлено у вигляді перетворень в просторі ситуацій.

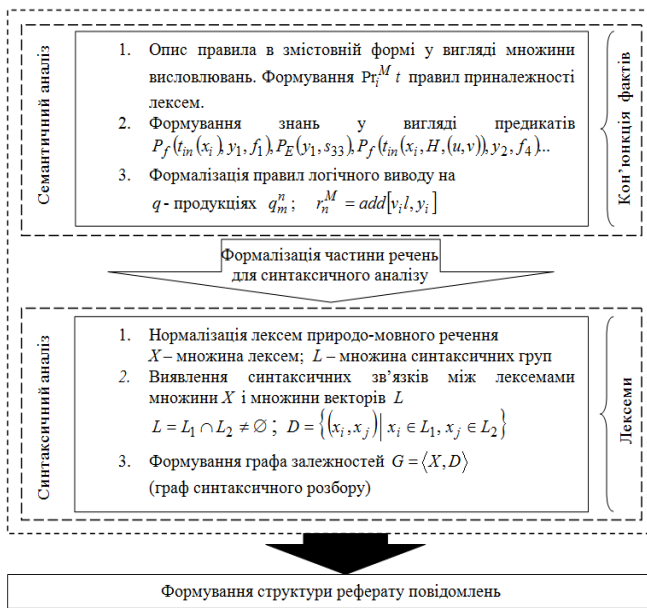


Рис. 1. Структура методу семантико-синтаксичного аналізу та обробки інформації

Відповідно до опису формального апарату БД рішення задачі семантичного та синтаксичного аналізу може бути представлено у вигляді перетворень в просторі ситуацій. Кожна ситуація описується продукційним правилом виду $\langle q, r \rangle$, де q - умова застосовності, r - програма. Тому по кожній моделі даних будується власна система продукцій. Умова застосовності записується як правильно побудована формула логіки предикатів першого порядку.

Опис правил пропонується здійснювати в три етапи. На першому етапі правило описується в змістовній формі у вигляді множини висловлювань. На другому етапі кожен вислів представляється у вигляді відповідного предиката, а на останньому - будується формула для умови застосування q продукції. База правил морфологічного аналізу, по своїй суті, включає в себе продукційні правила по розпізнаванню ситуацій, пов'язаних з ідентифікацією слів, що відносяться до незмінних і змінних частин мови. Логічно передбачити, що вхідна інформація подається у вигляді результатів лексичного аналізу, тобто на вхід системи продукцій подається певна лексема $x_i \in X$, де X - множина лексем природно-мовного запиту. Можливі ситуації, що виникають при проведенні семантико-синтаксичного аналізу, опишемо у вигляді продукційних правил відображених в попередньо задекларованих етапах.

Правило pr_1^M - ситуація, що описує приналежність лексеми до незмінної частини мови: x_i лексема відноситься до незмінних частин мови тоді, коли має місце ситуація, що представляє собою кон'юнкцію таких фактів: лексема x_i належить $s_j \in S$; s_j має значення s_{32} (більшість незмінних слів); лексема x_i перетворюється в флективний клас y_i ; флективний клас y_i належить множині $s_{2j} \in s_2$; s_{2j} має значення s_{25} (множина флективних класів

незмінних слів); флективний клас s_{2j} відображається в набір морфологічної інформації y_2 ; набір морфологічної інформації y_2 належить до s_{74k} (множина незмінних частин мови); s_{74k} має значення s_{740} (множина частин мови незмінних слів).

Даній ситуації відповідають такі предикати:

- основному твердженню «існує лексема $x_i \in X$, яка знаходиться в відношенні кваліфікації з множиною s_{32} » відповідає предикат -

$$(\exists x_i : X) P_s(x_i, s_{33}, t_2')$$

- фактам відповідає такий набір предикатів:

$$P_f(t_{in}(x_i), y_1, f_1), P_E(y_1, s_{33}),$$

$$P_f(t_{in}(x_i, H_1(u, v)), y_2, f_4), P_f(t_{in}(y_2), y_3, f_1),$$

$$P_E(y_3, s_{25}), P_f(t_{in}(y_4, H_2(u, v)), y_4, f_4),$$

$$P_f(t_{in}(y_4), y_5, f_1), P_E(y_5, s_{742}).$$

Таким чином, елементи продукції pr_1^M матимуть такий вигляд:

$$q_1^M = P_f(t_{in}(x_i), y_1, f_1) \wedge P_E(y_1, s_{33}) \wedge$$

$$P_f(t_{in}(x_i, H_1(u, v)), y_2, f_4) \wedge P_f(t_{in}(y_2), y_3, f_1) \wedge$$

$$P_E(y_3, s_{25}) \wedge P_f(t_{in}(y_4, H_2(u, v)), y_4, f_4) \wedge$$

$$P_f(t_{in}(y_4), y_5, f_1) \wedge P_E(y_5, s_{740}) \leftrightarrow$$

$$(\exists x_i : X) P_s(x_i, s_{33}, t_2')$$

$$r_1^M = add[v_{il}, y_5]$$

Структура r_1^M присвоює елементу v_{il} вектора $V_i \in V$ назву отриманої частини мови.

При описі наступних правил сумістимо змістовний і формальний опис отриманих рішень.

Продукція pr_2^m відноситься до ситуації, що описує приналежність лексеми до частини мови іменник: x_s лексема відноситься до частини мови іменник тоді, коли має місце ситуація, що представляє собою таку кон'юнкцію фактів:

- лексема x_i має закінчення y_1 потужністю

$$|e| = 3 - P_f(t_{in}(x_i, 3), y_1, f_2);$$

- закінчення y_1 належить множині $s_{1j} \in S$ -

$$P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1)$$

- множина s_{1j} має значення s_{11} (множина закінчень іменників) -

$$P_E(y_2, s_{11});$$

- лексема x_i має основу y_2 -

$$P_f(t_{in}(x_i, 3), y_3, f_3);$$

- основа y_2 лексеми x_i належить множині

$$s_{3k} \in S - P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1);$$

- множина s_{3k} має значення s_{31} (множина основ) -

$$P_E(y_4, s_{31});$$

або

- лексема x_i має закінчення y_1 потужністю

$$|e| = 2 - P_f(t_{in}(x_i, 2), y_1, f_2);$$

– закінчення y_1 належить множині $s_{1j} \in S$ -
 $P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1)$;
 – множина s_{1j} має значення s_{11} (множина
 закінчень іменників) - $P_E(y_2, s_{11})$;
 – лексема x_i має основу
 $y_2 - P_f(t_{in}(x_1, 2), y_3, f_3)$;
 – основа y_2 лексеми x_i належить множині
 $s_{3k} \in S$ - $P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1)$;
 – множина s_{3k} має значення s_{31} (множина
 основ) - $P_E(y_4, s_{31})$;
 або
 – лексема x_i має закінчення y_1 потужністю
 $|e|=1$ - $P_f(t_{in}(x_i, 2), y_1, f_2)$;
 – закінчення y_1 належить множині $s_{1j} \in S$ -
 $P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1)$;
 – множина s_{1j} має значення s_{11} (множина
 закінчень іменників) - $P_E(y_2, s_{11})$;
 – лексема x_i має основу
 $y_2 - P_f(t_{in}(x_1, 1), y_3, f_3)$;
 – основа y_2 лексеми x_i належить множині
 $s_{3k} \in S$ - $P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1)$;
 – множина s_{3k} має значення s_{31} (множина
 основ) - $P_E(y_4, s_{31})$;
 або
 – лексема x_i має закінчення y_1 потужністю
 $|e|=0$ - $P_f(t_{in}(x_i, 0), y_1, f_2)$;
 – закінчення y_1 належить множині $s_{1j} \in S$ -
 $P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1)$;

$q_2^M = ((P_f(t_{in}(x_i, 3), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{11}) \wedge P_f(t_{in}(x_1, 3), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee$
 $((P_f(t_{in}(x_i, 2), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{11}) \wedge P_f(t_{in}(x_1, 2), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee$
 $((P_f(t_{in}(x_i, 1), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{11}) \wedge P_f(t_{in}(x_1, 1), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee$
 $((P_f(t_{in}(x_i, 0), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{11}) \wedge P_f(t_{in}(x_1, 1), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31}))) \wedge$
 $P_f(t_{in}(y_3, H_1(u, v)), y_5, f_4) \wedge P_f(t_{in}(y_5), y_6, f_1) \wedge P_E(y_6, s_{21}) \wedge P_f(t_{in}(y_5, H_1(u, v)), y_6, f_4) \wedge P_E(y_6, x_{7411}) \wedge$
 $P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5) \wedge P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1) \wedge P_E(y_8, s_{751}) \leftrightarrow (\exists x_i : X) P_s(x_i, x_{7411}, t_2^M)$;

$$r_2^M = add[V_i, v_{i1}, y_6] \wedge V(V_i, (v_{i2}, l_1(y_8)), (v_{i3}, l_2(y_8)), (v_{i4}, l_3(y_8)), (v_{i5}, l_4(y_8)))$$

Правило r_2^M присвоює елементу v_{i1} вектора $V_i \in V$ назву отриманої частини мови, v_{i2} - ознака елемента живої природи за допомогою функції l_1 , яка виділяє перший елемент кортежу змінної МІ, елементу v_{i3} та привласнює значення роду за допомогою функції l_2 , яка виділяє другий елемент кортежу змінної МІ, елементу v_{i4} присвоює зна-

– множина s_{1j} має значення s_{11} (множина
 закінчень іменників) - $P_E(y_2, s_{11})$;
 – лексема x_i має основу
 $y_2 - P_f(t_{in}(x_1, 0), y_3, f_3)$;
 – основа y_2 лексеми x_i належить множині
 $s_{3k} \in S$ - $P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1)$;
 – множина s_{3k} має значення s_{31} (множина
 основ) - $P_E(y_4, s_{31})$;
 і для всіх попередніх фактів:
 – основа y_2 відображається у флективний
 клас (ФК) $y_3 - P_f(t_{in}(y_3, H_1(u, v)), y_5, f_4)$;
 – флективний клас y_3 лексеми x_i належить
 множині $s_{2p} \in S$ - $P_f(t_{in}(y_5), y_6, f_1)$;
 – множина s_{2p} має значення s_{21} (багато ФК
 іменників) - $P_E(y_6, x_{21})$;
 – флективний клас y_3 відображається в по-
 стійну морфологічну інформацію (МІ) $y_4 -$
 $P_f(t_{in}(y_5, H_1(u, v)), y_6, f_4)$;
 – МІ y_4 має значення x_{7411} (частина мови
 іменник) - $P_E(y_4, s_{31})$;
 – Флективний клас y_3 та закінчення y_1 зо-
 бражає в наборі змінної морфологічної
 інформації $y_5 - P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5)$;
 – Набір МІ y_5 має множина s_{75t} (множина
 наборів змінної МІ) - $P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1)$;
 – Множина s_{75t} має значення s_{751} (множина
 наборів змінної МІ іменників) - $P_E(y_8, s_{751})$.

Тоді продукція pr_2^M може бути представлена у вигляді пари $\langle q_2^M, r_2^M \rangle$, де:

чення числа через функцію l_3 , яка виділяє третій елемент кортежу змінної МІ, і елементу v_{i5} присвоює значення відмінка через функцію l_4 , яка виділяє четвертий елемент кортежу змінної МІ.

Предикат pr_3^M – приналежність лексеми до частини мови прикметник може бути представлений у вигляді пари $\langle q_3^M, r_3^M \rangle$, та мати такий вигляд:

$$r_3^M = \text{add} \left[(V_i, v_{i1}, y_6) \wedge V \left(V_i, (v_{i3}, l_1(y_8)), (v_{i4}, l_2(y_8)), (v_{i5}, l_3(y_8)) \right) \right], \text{ де}$$

$$q_3^M = \left((P_f(t_{in}(x_i, 3), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{12}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 3), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee \right. \\ \left. (P_f(t_{in}(x_i, 2), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{12}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 2), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \right) \wedge \\ P_f(t_{in}(y_3, H_1(u, v)), y_5, f_4) \wedge P_f(t_{in}(y_5), y_6, f_1) \wedge P_E(y_6, s_{22}) \wedge P_f(t_{in}(y_5, H_1(u, v)), y_6, f_4) \wedge P_E(y_6, x_{7412}) \wedge \\ P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5) \wedge P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1) \wedge P_E(y_8, s_{752}) \leftrightarrow P_4(y_6, x_{7412}) \wedge P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5) \wedge \\ P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1) \wedge P_E(y_8, s_{752}) \leftrightarrow (\exists x_i : X) P_s(x_i, x_{7412}, t_2^r);$$

Предикат pr_4^M – приналежність лексеми до частини мови дієслово, може бути представлений у вигляді пари $\langle q_4^M, r_4^M \rangle$, та мати такий вигляд:

$$r_4^M = \text{add} \left[(V_i, v_{i1}, y_6) \wedge V \left(V_i, (v_{i4}, l_1(y_8)), (v_{i6}, l_2(y_8)), (v_{i7}, l_3(y_8)) \right) \right], \text{ де}$$

$$q_4^M = \left((P_f(t_{in}(x_i, 3), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{13}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 3), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee \right. \\ \left. (P_f(t_{in}(x_i, 2), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{13}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 2), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee \right. \\ \left. (P_f(x_i, 1), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{13}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 1), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \right) \wedge \\ \left. (P_f(t_{in}(y_3, H_1(u, v)), y_5, f_4) \wedge P_f(t_{in}(y_5), y_6, f_1) \wedge P_E(y_6, s_{23}) \wedge P_f(t_{in}(y_5, H_1(u, v)), y_6, f_4) \wedge P_E(y_6, x_{7413}) \wedge \right. \\ \left. P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5) \wedge P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1) \wedge P_E(y_8, s_{753}) \leftrightarrow (\exists x_i : X) P_s(x_i, x_{7413}, t_2^r);$$

Предикат pr_5^M – приналежність лексеми до частини мови прислівник може бути представлений у вигляді пари $\langle q_5^M, r_5^M \rangle$, та мати наступний вигляд:

$$r_5^M = \text{add} \left[(V_i, v_{i1}, y_6) \wedge V \left(V_i, (v_{i3}, l_1(y_8)), (v_{i7}, l_2(y_8)) \right) \right], \text{ де}$$

$$q_5^M = \left(\left(P_f(t_{in}(x_i, 1), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{15}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 1), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \vee \right. \right. \\ \left. \left. P_f(t_{in}(x_i, 0), y_1, f_2) \wedge P_f(t_{in}(y_1), y_2, f_1) \wedge P_E(y_2, s_{15}) \wedge P_f(t_{in}(x_i, 0), y_3, f_3) \wedge P_f(t_{in}(y_3), y_4, f_1) \wedge P_E(y_4, s_{31})) \right) \wedge \right. \\ \left. P_f(t_{in}(y_3, H_1(u, v)), y_5, f_4) \wedge P_f(t_{in}(y_5), y_6, f_1) \wedge P_E(y_6, s_{23}) \wedge P_f(t_{in}(y_5, H_1(u, v)), y_6, f_4) \wedge P_E(y_6, x_{7413}) \wedge \right. \\ \left. P_f(t_{in}(y_5, y_1, H(u, v, z)), y_7, f_5) \wedge P_f(t_{in}(y_7), y_8, f_1) \wedge P_E(y_8, s_{755}) \leftrightarrow (\exists x_i : X) P_s(x_i, x_{7415}, t_2^r). \right.$$

Активация продукційних правил здійснюється на основі використання методу резолюцій, описаного в [3]. У базі правил морфологічного аналізу умови застосовності q_i^M предикатів pr_i^M повинні зберігатися в скулемівській стандартній формі і складати множину диз'юнктив. Якщо в результаті побудови дерева виведення буде знайдений порожній диз'юнктив, то формується приналежність $r_i^M \in pr_i^M$, в іншому випадку вибирається наступний предикат. Таким чином, здійснюється перетворення $\Psi_1 : T \rightarrow X$, де T - текст природної мови у вигляді множини лексем, X - множина лексем з векторами морфологічної інформації v .

Синтаксичний аналіз пропонується виконувати в три етапи. На першому етапі здійснюється нормалізація лексем природно-мовного речення для виділення синтаксичних груп, до яких відносяться іменник + прийменник. На цьому ж етапі здійснюється видалення несуттєвих лексем з початкової множини, таких як службові частини мови (прийменники, сполучники, частки і т.п.). В результаті будуть сформовані дві множини: нова вихідна множина лексем X і L - множина синтаксичних груп у вигляді векторів пов'язаних лексем. Синтаксичний

зв'язок, що відноситься до типу підпорядкування, передає поєднання двох слів, в якому одне виступає як головне, а інше - як залежне. Тому завданням другого етапу є виявлення синтаксичного зв'язку між двома лексемами множини X і множини векторів L , розбиття лексем на множину головних слів L_1 і множину залежних слів L_2 , причому $L_1 \cap L_2 \neq \emptyset$, і формування множини поєднаних пар лексем $D = \{(x_i, x_j) \mid x_i \in L_1, x_j \in L_2\}$. Для знаходження кореневої вершини необхідно: об'єднати множини L_1 і L_2 : $L_3 = L_1 \cup L_2$; знайти різниці множин L_3 і L_2 : $L_4 = L_3 \setminus L_2$, де L_4 - одноелементна множина кореневих вершин. Таким чином, формується один або кілька графів залежностей $G = \langle X, D \rangle$, де X - множина вершин графа G , яка становить множину лексем $X = \{x_i \mid i = 1, n\}$, а D - множина дуг.

Підсумковий граф залежностей G буде відповідати таким вимогам:

- граф G є неповним графом, тобто не містить петель і циклів;
- граф G є зв'язним.

Граф синтаксичного розбору не може мати петель, так як розроблені правила враховують як мор-

фологічну інформацію лексем, так і порядок лексем в природно-мовному реченні. Друга вимога задовольняється введенням другого обмеження на природну мову запиту, пов'язана з тим, що в кожному наступному реченні запиту має бути присутній іменник, введений в одному з попередніх речень. Грунтуючись на актуальних для системи відбору видах мовної інформації виділимо три групи правил, пов'язаних з аналізом ситуацій по: виявленню синтаксичних груп, синтаксичного зв'язку між парою лексем і синтаксичного зв'язку між парою лексем і синтаксичною групою.

Висновки

Таким чином запропонований метод семантико-синтаксичного аналізу, що побудований на основі морфологічного, синтаксичного і проблемного аналізів надає по суті формалізований апарат реалізації семантичного та синтаксичного аналізу. Формалізований апарат дозволив знайти єдиний підхід опису всіх моделей лінгвістичного транслятора. Кожна ситуація описується продукційним правилом з формуванням відповідного предиката.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев А.М. Лингвистический процессор для ИПС / А.М. Андреев, Д.В. Березкин, А.В. Брик // Компьютерная хроника. – 1998. – №11. – С. 79 – 100.
2. Дударь З.В. Семантическая нейронная сеть как формальный язык описания и обработки смысла текстов на естественном языке / З.В. Дударь, Д.Е. Шуклин // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – №3. – С. 72 – 76.
3. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем: Пер. с англ. / Под ред. С.Ю. Маслова / Ч. Чечень, Р. Ли. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 360 с.
4. Aho, A. V., Sethi, R. and Ullman, J. D. (1986), "Compilers: principles, techniques, and tools". Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.
5. DeRemer, Frank and Penello, Thomas (October 1982). "Efficient Computation of LALR(1) Look-Ahead Sets". Transactions on Programming Languages and Systems (ACM) 4 (4): 615–649.
6. Kluegl, P., Atzmueller, M. and Puppe, F. (2009), "Meta-level Information Extraction". KI 2009: Advances in Artificial Intelligence. Vol. 5803, pp. 233–240.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Received (Надійшла) 22.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Метод анализа и обработки информации в СППР АСУ

А. Ю. Несмиян, М. А. Павленко

Предмет: В статье рассмотрены вопросы семантического и синтаксического анализа текстов, процессов декомпозиции предложения на составляющие, построения синтаксической структуры предложения; семантической интерпретации фрагментов предложения естественного языка во фрагменты М-языка; композиции фрагментов М-языка в структуру реферата, описывающую проблемную среду. **Цель:** разработка метода анализа и обработки информации в СППР АСУ. **Задача:** Провести анализ исследований последних лет, связанных с решением проблемы анализа содержания языковых структур с точки зрения создания систем диалога с программным обеспечением, сделать выводы о целесообразности направления исследований. Выполнить детальное описание этапов выполнения семантического и синтаксического анализа с описанием входных, промежуточных и выходных данных. Определить рекомендации по вариативности входных данных в зависимости от структуры предложений предметной области (текста, изложенного естественным языком). Предложить правила формирования предикатов для различных частей украинского языка. Определить типовой набор служебных слов для наполнения эталонного словаря. Обосновать выполнение каждой из приведенных операций по объединению в одну вычислительную структуру, которая выполняется по определенным этапам. Разработать процедуры прохождения каждого из этапов. Предложить правила формирования синтаксических групп по определенным парам лексем. **Выводы:** Применение разработанного метода на основе определенных правил в предикатах позволит выполнить выборку информативно существенной информации из набора текстовой информации и представить ее в виде аннотации (реферата).

Ключевые слова: СППР, АСУ, предложения, словоформа, лексема, синтаксическая группа, семантическая связь.

Method of analysis and processing information in the DSS ACS

O. Nesmiian, M. Pavlenko

Subject: The article contains investigation of the questions related to semantic and syntactic analysis of the texts, decomposition of sentences into component processes, the construction of the syntactic structure of sentences; semantic interpretation of the fragments of a natural language sentence into fragments of an M-language; the composition of the fragments of the M-language in the structure of the abstract, describing the problem environment. **Purpose:** development of a method for analyzing and processing information on the DSS ACS. **Objective:** To analyze the research of recent years related to the solution of analyzing the content of the language structure problem from the point of view of creating dialogue systems software, to make a conclusion about the appropriateness of research directions. Perform a detailed description of the stages of performing semantic and parsing with a description of the input, intermediate and output data. Determine the recommendations for the input data variability depending on the structure of the sentences of the subject area (the text described in natural language). Suggest rules for the formation of predicates for different parts of the Ukrainian language. Determine the typical set of service awards for filling the reference dictionary. Justify the implementation of each of the above operations for combining into a single computing structure, which is performed at certain stages. Develop procedures for passing each of the stages. Suggest rules for the formation of syntactic groups for certain pairs of tokens. **Conclusions:** The application of the developed method based on certain rules in predicates will allow to sample informatively significant information from a set of textual information and present it as an annotation (abstract).

Keywords: DSS, ACS, sentence, wordform, lexeme, syntactic group, semantic relation.

А. Н. Рысованый

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

МЕТОД СИНТЕЗА ПРОВЕРОЧНОЙ МАТРИЦЫ ГЕНЕРАТОРОВ В КОНЕЧНОМ ПОЛЕ $GF(3)$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА МАТРИЦЫ СВЯЗЕЙ

Предметом исследования в данной статье является процесс синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$ в зависимости от вида матрицы связей. **Цель** – разработать метод синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. **Задача**: на основе анализа известных подходов к генерированию последовательностей разработать метод, который по сравнению с двоичным регистром сдвига позволяет увеличить длину последовательности с учетом матриц связей различных степеней. Используемыми **подходами** являются: применение различных степеней матрицы связей для определения матрицы состояний. Получены следующие **результаты**: метод синтеза генераторов в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. Приведен математический аппарат описания функционирования регистра сдвига с нелинейными обратными связями и его классическая схема. В работе показаны примеры формирования различных степеней матрицы связей, показана роль свободного члена полинома в формировании проверочной матрицы. **Выводы**. Предложен метод синтеза проверочной матрицы нелинейного регистра сдвига псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, показаны примеры построения матриц связей в конечном поле тройки.

Ключевые слова: генератор двоичной последовательности, псевдослучайная последовательность, регистр сдвига.

Введение

При реализации криптографических преобразований используют последовательности достаточно большой максимальной длины и различные первичные состояния генератора. При наиболее простом случае начальное состояние определяется свободным членом полинома. В этом случае последовательность разворачивается с учетом этого начального состояния. Стойкость криптографических преобразований напрямую зависит от применяемого алгоритма формирования случайных последовательностей. Но говорить о полностью случайной последовательности возможно только при определенных ограничениях. Как правило – это ограничение на период генерации: чем больше период генерации, тем более вероятно можно судить и о случайной последовательности в рамках этого периода. Наиболее просто случайную последовательность можно получить как часть цикла псевдослучайной последовательности [1-3, 5-7]. Но период такой последовательности должен быть таким, чтобы конечная последовательность разумной длины не была периодической. Относительно небольшие части последовательности должны быть как можно более неотличимы от различных случайных последовательностей. В этом случае, как минимум, необходимо использовать очень длинные последовательности. Но увеличение длины генерируемой последовательности по-прежнему является не решенной задачей.

При одной и той же максимальной степени образующего полинома $P(X)$ намного предпочтительнее использовать полиномы, которые применяются в конечных или расширенных полях. Конкретное поле Галуа состоит из конечного диапазона чисел. Порядок поля (или количество его эле-

ментов) является натуральной степенью его характеристики p^m . При $m = 1$ такое поле является простым. Наибольший интерес представляет конечное поле Галуа $GF(3)$. Применение полиномов, которые реализуют свои состояния в этом поле позволяет существенно увеличить период генерации последовательности [4, 8].

Получение псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации и является **целью статьи**.

Основные проблемы и решения

Основная проблема генераторов псевдослучайных последовательностей – это их короткий период генерации. Увеличить этот период генерации наиболее просто, если применить полиномы в конечном поле. Рассмотрим процесс генерирования псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$. В качестве примера выберем полином, у которого в записи присутствуют коэффициенты 2, например,

$$P(x) = 2x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 2x^2 \oplus_3 x \oplus_3 2.$$

Схема такого регистра сдвига приведена на рис. 1. На схеме не приведены сигналы синхронизации триггеров регистра сдвига. Каждый регистр состоит из двух триггеров, в которых хранится троичный сигнал: 0 кодируется как 00, 1 – как 01, а 2 – как 10. Выходные значения всех аргументов, кроме первого, умножаются на коэффициент 2 в блоках умножения на 2 по mod3. Свободный член полинома на схеме нигде не задействован – он принимает участие в формировании первого (исходного) состояния этого регистра [3, 4, 8].

Выходные состояния такого генератора приведены на рис. 2.

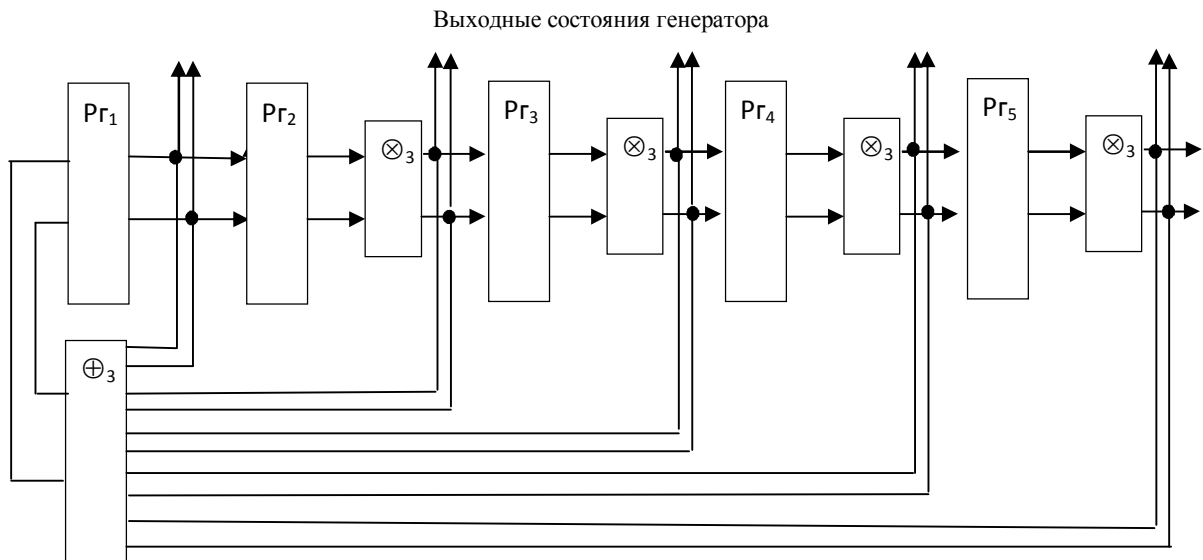


Рис. 1. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по mod3 с $P(x) = 2x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 2x^2 \oplus_3 x \oplus_3 2$

2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	2	1	2	1	2	2	2	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	0	1	1	2	2	1	1	1	2						
0	2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	2	1	2	1	2	2	2	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	0	1	1	2	2	1	1	1						
0	0	2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	2	1	2	1	2	2	2	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	0	1	1	2	2	1	1						
0	0	0	2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	2	1	2	2	2	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	0	1	1	2	2	1	1							
0	0	0	0	2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	2	1	2	2	2	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	0	1	1	2	2	1							
1	2	0	0	1	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	1	2	2	0	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0	0				
2	1	2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	1	2	2	0	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0	0				
1	2	1	2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	1	2	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0			
1	1	2	1	2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	1	2	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	0	1	2	0		
1	1	1	2	1	2	0	0	1	1	1	2	2	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	1	2	2	0	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	1	0	1	1	0	0	1	2	0		
1	1	0	1	2	2	1	2	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	2	0	1	2	1	1	1	2	0	1	0	2	2	2	0	0	0	2	0	1	2	2	0	1	2	0	1	1	0	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1			
0	1	1	0	1	2	2	1	2	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	2	0	1	2	1	1	1	2	0	1	0	2	2	2	0	0	0	2	0	1	2	2	0	1	2	0	1	1	0	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	1						
0	0	1	1	0	1	2	2	1	2	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	2	0	1	2	1	1	1	2	0	1	0	2	2	2	0	0	0	2	0	1	2	2	0	1	2	0	1	1	0	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2						
0	0	0	1	1	0	1	2	2	1	2	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	2	0	1	1	1	1	2	0	1	0	2	2	2	0	0	0	2	0	1	2	2	0	1	2	0	1	1	0	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2						
1	0	0	2	2	2	1	1	0	0	2	0	0	1	2	2	2	0	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	2	0	2	2	0	0	2	1	0	0	0	0					
2	1	0	0	2	2	2	1	1	0	0	2	0	0	1	2	2	0	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	2	0	2	2	0	0	2	1	0	0	0						
1	2	1	0	0	2	2	2	1	1	0	0	2	0	0	1	2	2	0	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	0	2	2	0	0	2	1	0	0		
2	1	2	1	0	0	2	2	2	1	1	0	0	1	2	2	0	2	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	0	2	2	0	0	2	1	0
2	2	1	2	1	0	0	2	2	2	1	1	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	0	1	0	2	0	0	0	1	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	0	2	2	0	0	2	1

Рис. 2. Матрица состояний для $P(x) = 2x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 2x^2 \oplus_3 x \oplus_3 2$

Все классические генераторы псевдослучайных последовательностей в своей основе имеют регистр сдвига с обратными связями. В этом случае на сложность технической реализации не оказывает никакого влияние наличие коэффициентов в записи полиномов.

Значение имеют только количество и вид (в случае нелинейных преобразований) обратных связей. В таком случае изменяется сложность сумматора по модулю поля. Рассматриваемый полином генерирует максимальный период. Это обозначает, что длина генерируемой этим полиномом $P(X)$ последовательности равняется 242. Но не все $P(X)$ с $degP(X) = 5$ генерируют такую длину. Это зависит от свойств полинома: такие $P(X)$ должны быть примитивными и неприводимыми.

При рассмотрении рис. 2 видно:

первое состояние генератора с такого регистра $h_1 = \parallel a_0 0000 \parallel = \parallel 20000 \parallel$,

второе – $h_2 = \parallel 22000 \parallel$,

третье – $h_3 = \parallel 02200 \parallel$ и т.д.

Каждое новое состояние определяется по правилу выбранного образующего полинома, в соответствии с которыми и построена схема нелинейного генератора псевдослучайной последовательности. Для случая, когда анализируется максимальная последовательность, в периоде генерирования присутствуют все состояния, кроме нулевого (иначе не будет генерации).

Нелинейными такие генераторы называются потому, что в цепях обратных связей происходят нелинейные преобразования. Явно выраженной нелинейностью являются генераторы с образующим полиномом, у которого присутствует хотя бы один коэффициент 2.

Связи между регистрами описываются изначально образующим полиномом $P(X)$. Однако нагляднее использовать эти связи в виде матрицы:

$$S = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_{r-1} & a_r \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

где a_i – коэффициенты $P(X)$, $r = \text{deg}P(X)$ – максимальная степень регистра сдвига.

Рассмотрим связи регистра на примере такой матрицы. Номера строк матрицы S описывают входы регистра, а номера столбцов – выходы такого регистра.

Например, коэффициент a^r располагается в 4-м столбце и первой строке, что свидетельствует о том, что выходы 4-го регистра соединены со входами 1-го регистра через сумматор по $\text{mod}3$.

Вторая строка равняется $\|1000\|$. Это свидетельствует о том, что выходы 1-го регистра соединены со входами 2-го и т.д.

Например, матрица связей S для

$$P(x) = 2x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 2x^2 \oplus_3 x \oplus_3 2$$

будет иметь вид:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

В приведенной матрице отсутствует значение a_0 . Но свободный член a_0 описывает первое состояние h_1 уже другой матрицы – матрицы состояний H [3] и всегда равняется:

$$h_1 = \|a_0 0 \dots 0\|,$$

в котором всегда учитывается это значение.

В конечном поле тройки $\text{GF}(3)$ умножение на коэффициент 2 можно существенно упростить, если применить перекрестные линии выходов триггеров, что не противоречит последовательному кодированию состояний.

Утверждение. В матрице связей регистра сдвига с обратными связями для любого полинома $P(x)$ существует своя закономерность размещения столбцов и на основании этой закономерности могут быть получены все остальные выходные состояния.

Доказательство. В связи с тем, что матрица связей размером $(r \times r)$ определяется только видом полинома $P(x)$, то любой ее i -й столбец соответствует какому-нибудь столбцу матрицы состояний, т.к. число состояний конечно. Причем, т.к. каждый последующий столбец получен путем сдвига предыдущего состояния по правилу выбранного полинома, то в матрице связей всегда должен быть хотя бы другой столбец, полученный от предыдущего.

Рассмотрим полиномы с $\text{deg}P(X) = 4$, которые генерируют максимальный период. Будем записы-

вать только коэффициенты при аргументах. Например, для $P(x)$ с коэффициентами 11221 матрица связей S^1 имеет вид:

$$S^1 = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \|h_2 h_{68} h_{66} h_1\|.$$

$$S^2 = S^1 \times S^1 =$$

$$= \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \|h_3 h_{69} h_{67} h_2\|,$$

$$S^3 = S^1 \times S^2 =$$

$$= \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \|h_4 h_{70} h_{68} h_3\|,$$

$$S^4 = S^2 \times S^2 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \|h_5 h_{71} h_{69} h_4\|,$$

$$S^5 = S^3 \times S^2 =$$

$$= \begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \end{pmatrix} = \|h_6 h_{71} h_{69} h_5\|$$

и т.д.

Т.о. для $P(x) = 11221$ матрица связей в общем случае имеет вид:

$$S^i = \|h_{i+1} h_{i+67} h_{i+65} h_i\|.$$

Для $P(X) \in \text{deg}P(X) = 4$ с $T_{\text{max}} = 3^{\text{deg}P(X)} - 1 = 80$ насчитывается всего 16 полиномов, у которых матрицы связей первой степени имеют виды:

$$P(X) = 10011, S = \|h_2 h_{79} h_{80} h_1\|;$$

$$P(X) = 10021, S = \|h_2 h_{79} h_{80} h_1\|;$$

$$P(X) = 11001, S = \|h_2 h_3 h_4 h_1\|;$$

$$P(X) = 11121, S = \|h_2 h_7 h_{15} h_1\|;$$

$$P(X) = 11221, S = \|h_2 h_{68} h_{66} h_1\|;$$

$$P(X) = 12001, S = \|h_2 h_3 h_4 h_1\|;$$

$$P(X) = 12111, S = \|h_2 h_{17} h_{55} h_1\|;$$

$$P(X) = 12211, S = \|h_2h_{38}h_{66}h_1\|;$$

$$P(X) = 10012, S = \|h_4h_{39}h_{40}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 10022, S = \|h_4h_{39}h_{40}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 11002, S = \|h_4h_{43}h_{44}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 11122, S = \|h_4h_{57}h_{55}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 11222, S = \|h_4h_{38}h_{36}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 12002, S = \|h_4h_{43}h_{44}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 12112, S = \|h_4h_{57}h_{15}h_{41}\|;$$

$$P(X) = 12212, S = \|h_4h_{68}h_{26}h_{41}\|.$$

Выводы

Предложен метод определения проверочной матрицы в зависимости от вида матрицы связей, которая, в свою очередь, формируется в зависимости от вида используемого образующего полинома из выбранного конечного поля Галуа GF(3).

Для каждого полинома существует своя закономерность формирования матрицы связей из столбцов матрицы состояний, что позволяет определить все матрицы связей различных степеней без предварительных расчетов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
2. Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
3. Рысованый А.Н., Гоготов В.В. Выбор полиномов для нелинейных регистров сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины // Системы управления, навигации и связи. – Киев : Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления, 2007. – Вып.1.– С. 77 – 79.
4. Рысованый А.Н. Метод генерирования нелинейной псевдослучайной последовательности без использования обратных связей/ А.Н. Рысованый // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2018. – №4(50).– С. 144-146.
5. Литиков И.П. Кольцевое тестирование цифровых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.: ил.
6. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука. – 1987. – 288 с.
7. Ватолин Д., Ракушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2002. – 384 с.
8. Сорока Л.С., Рысованый 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. О. В. Козелков,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 28.08.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.09.2018

Метод синтезу перевірконої матриці генераторів в кінцевому полі GF (3) в залежності від виду матриці зв'язків

О. М. Рисованый

Предметом дослідження в даній статті є процес синтезу генераторів нелінійної псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3) в залежності від виду матриці зв'язків. **Мета** - розробити метод синтезу генераторів нелінійної псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3), заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. **Завдання:** на основі аналізу відомих підходів до генерування послідовностей розробити метод, який в порівнянні з двійковим регістром зсуву дозволяє збільшити довжину послідовності з урахуванням матриць зв'язків різних ступенів. Використовуваними підходами є: застосування різних ступенів матриці зв'язків для визначення матриці станів. Отримані наступні **результати:** метод синтезу генераторів в кінцевому полі GF (3), заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. Наведено математичний апарат опису функціонування регістра зсуву з нелінійної зворотними зв'язками і його класична схема. У роботі показані приклади формування різних ступенів матриці зв'язків, показане місце вільного члена полінома в формуванні перевірконої матриці. **Висновки.** Запропоновано метод синтезу перевірконої матриці нелінійного регістра зсуву псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3), показані приклади побудови матриць зв'язків в кінцевому полі трійки.

Ключові слова: генератор двійкової послідовності, псевдовипадкова послідовність, регістр зсуву.

The method of synthesis of the checking matrix of generators in a finite field GF (3) depending on the type of matrix of relations

A. Rysovany

The subject of research in this article is the process of synthesis of nonlinear pseudo-random sequence generators in the finite field GF (3), depending on the type of coupling matrix. The goal is to develop a method for synthesizing generators of a nonlinear pseudo-random sequence in a finite field GF (3), based on the use of a bond matrix as the main element of generation. **Task:** based on the analysis of known approaches to the generation of sequences, develop a method that, as compared with the binary shift register, allows to increase the length of a sequence taking into account coupling matrices of various degrees. The approaches used are: the use of different degrees of the bond matrix to determine the state matrix. The following results were obtained: method of synthesis of generators in the final field GF (3), based on the use of a matrix of bonds as the main element of generation. The mathematical apparatus for describing the operation of a shift register with nonlinear feedbacks and its classical scheme are 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. **Findings.** A method for synthesizing a checking matrix of a nonlinear shift register of a pseudo-random sequence in a finite field GF (3) is proposed, examples of constructing a matrix of links in the finite field of a triple are shown.

Keywords: binary sequence generator, pseudo-random sequence, shift register.

О. В. Чала

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ПОБУДОВИ КОНТЕКСТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПРАВИЛ В ТЕМПОРАЛЬНІЙ БАЗІ ЗНАНЬ

Предметом вивчення в статті є процеси побудови й використання темпоральних знань при управлінні підприємством в умовах невизначеності, що є наслідком неповноти інформації про поточний стан підприємства. **Мета** полягає в розробці методу побудови темпоральних правил, що враховують зміну контексту виконання дій на різних рівнях організаційної ієрархії при реалізації управління підприємством. **Задачі:** виділити відмінності контекстно-орієнтованих темпоральних правил від правил, що пов'язують послідовні стани об'єкту управління; розробити метод побудови контекстно-орієнтованих темпоральних правил на основі інформації набір та значення змінних, що характеризують послідовні стани об'єкту управління. **Методами,** що використовуються, є: методи побудови темпоральних правил, що пов'язують послідовні стани об'єкту управління, метод розрахунку ваг правил в марківській логічній мережі, методи ймовірнісного виведення в темпоральній базі знань. Отримані такі **результати.** Виділені особливості реалізації контекстно-орієнтованих темпоральних правил для наборів вхідних даних, що задають послідовність станів об'єкту управління у вигляді наборів властивостей його атомарних складових. Розроблено метод побудови контекстно-орієнтованих темпоральних правил, який враховує відмінності між змінними, що задають статичні й динамічні характеристики об'єкту управління. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: запропоновано метод побудови контекстно-орієнтованих темпоральних правил. Правила враховують зміну контексту виконання дій як сукупності властивостей атомарних складових комплексного об'єкту управління. Метод містить етапи відбору підмножини даних про стани об'єкту управління на визначеному рівні деталізації; формування фактів-антецедентів та фактів-консеквентів, що відображають статичні й динамічні характеристики контексту виконання дій на об'єкті управління; побудову, інтеграцію та квантифікацію темпоральних правил. Метод забезпечує можливість аналізу й класифікації поточного стану та прогнозування поведінки об'єкту управління в умовах невизначеності на основі зв'язку між виконаними діями та поточним станом предметної області.

Ключові слова: темпоральна база знань; темпоральні правила; логічні факти; послідовність станів об'єкту управління.

Вступ

Темпоральна база знань відображає залежності у часі між діями, або станом та діями на об'єкті управління і призначена для підтримки управління підприємством в умовах невизначеності. Остання характеризується неповнотою інформації про поточні характеристики стану цього об'єкту.

Така невизначеність зазвичай виникає у випадку, якщо при управлінні поєднуються неформалізовані знання виконавців та формалізовані послідовності дій з виробництва продукції або надання послуг.

Вибір вказаних послідовностей дій виконується експертами на основі своїх персональних знань [1] з урахуванням поточного стану предметної області, а також зовнішніх впливів.

Використання темпоральної бази знань дозволяє поєднати існуючі моделі управління на підприємстві із знання-орієнтованими підходами [2].

Зазначене свідчить про актуальність автоматизованої побудови, а також поповнення темпоральної бази знань в ситуаціях втручання виконавців в хід робіт на підприємстві.

Поповнення темпоральної бази знань передбачає аналіз станів об'єкту управління та виділення залежностей між цими станами у формі темпоральних правил.

Однак існуючі методи автоматизованої побудови та поповнення баз знань орієнтовані переважно на виявлення статичних залежностей на основі аналізу інформації в мережі Інтернет [3, 4].

Побудова темпоральної бази знань розглядається в роботі [5], а темпоральних правил до неї – в роботі [6]. Однак запропоновані в цій роботі правила не враховують контекстні залежності. В той же час при використанні бази знань для підтримки управління на підприємстві необхідно враховувати не лише допустимі послідовності дій [7], але й зв'язок цих дій з контекстом [8].

Таким чином, загальна задача побудови й використання контекстно-залежних темпоральних правил потребує свого вирішення.

Метою статті є розробка методу побудови темпоральних правил, що враховують зміну контексту виконання дій на різних рівнях організаційної ієрархії при реалізації управління підприємством.

Особливості реалізації темпоральних правил при вирішенні задач управління

Знання, що інтегрують статичні та динамічні характеристики об'єкту управління, представляються у вигляді логічних фактів та темпоральних правил.

Логічні факти характеризують стан об'єкту управління у визначені дискретні моменти часу та є предикатами на підмножині змінних, що характеризують поточний стан предметної області в цілому. Вказані змінні зазвичай задають властивості атомарних об'єктів – артефактів. Комплексний об'єкт управління складається із сукупності взаємодіючих артефактів.

Прикладами артефактів є документ, файл, про- дукт, тощо.

Темпоральні правила визначають можливі по- слідовності реалізації управлінських дій.

Запропоновані темпоральні правила у відпові- дності до розглянутої структури об'єкту управління діляться на дві групи.

Перша група правил визначає допустимі послі- довності дій, що приводять до переходу від поточ- ного до цільового стану об'єкту управління [6].

До цієї групи належать правила типів *NeXt* та *Future*. Ці правила побудовані на базі темпораль- них операторів X та F відповідно.

Правила використовують комбінацію кванторів (*Quantifier*) темпоральної логіки $E(Exists)$ і $A(All)$ та темпоральних операторів.

Квантор E задає істинність правила щонайме- нше для однієї послідовності станів об'єкту управ- ління. Квантор A задає істинність правила для всіх можливих послідовностей станів об'єкту управлін- ня.

Послідовність станів об'єкту управління відпо- відає одному циклу управління, тобто вирішенню однієї функціональної задачі або реалізації одного бізнес-процесу.

Правило типу *NeXt* визначає зв'язок між па- рою послідовних станів об'єкту управління, що визначені логічними фактами ft_j та ft_m , та має вигляд: $ft_j \text{ Quantifier } X \text{ } ft_m$.

Правило типу *Future* визначає пару станів об'єкту управління, представлених логічними фак- тами ft_j та ft_m , між якими є інші стани. Правило має вигляд: $ft_j \text{ Quantifier } F \text{ } ft_m$. Правило типу *Future* поєднує у собі декілька правил типу *NeXt*, які виконуються послідовно.

Альтернативна інтерпретація зазначених пра- вил має такий вигляд: правило типу *NeXt* задає зв'язок між парою послідовних управлінських дій; правило типу *Future* визначає зв'язок між парою дій з одного циклу управління, між якими є щонаймен- ше одна проміжна дія.

До другої групи належить правила типу $U(Until)$. Правила даного типу задаються з викори- станням темпорального оператора U (до тих пір, поки) і кванторів темпоральної логіки.

Головне призначення правил даного типу поля- гає у формалізації зв'язку між діями на об'єкті управління та контекстом виконання цих дій. Кон- текст виконання дій задається логічними фактами ft_j .

Кожне U – правило визначає момент зміни контексту, що призводить до зміни стану об'єкту управління. Контекст у правилі задається через зна- чення змінних у логічних фактах ft_j та ft_m . Тому при переході від першого стану до другого зміню- ється лише частина значень змінних для цих логіч- них фактів. Тобто змінюється частина властивостей артефактів. Очевидно, що значення, які змінюються,

визначають умови виконання дій на об'єкті управ- ління та, як наслідок, зміни його стану. Тому ці значення задають умову для правила типу *Until*.

Приклад запису про зміни стану об'єкту управ- ління у вигляді зміни значень властивостей артефак- тів наведено на рис. 1.

Даний приклад містить два послідовних стани об'єкту управління. Кожен із станів характеризуєть- ся значеннями змінних, що задають країну, вико- навця, групу виконавців, цільовий продукт, дії з обробки продукту, тощо.

Логічні факти, що визначають вказані стани, задаються як предикати на змінних – атрибутах артефактів. Тобто логічний факт для першого стану ft_1 буде істинним лише у випадку таких значень змінних:

org : group value = "N40" та
resource country value = "USA" і т.п.

На рис. 1 жирним виділено ті значення атрибу- тів артефактів, що змінились при переході від пер- шого до другого стану об'єкту управління. Зокрема, для даного прикладу продукт із шифром "PROD486" передали із країни "USA" до країни "POLAND". При цій передачі змінився виконавець – був "Martin", а стала "Marika".

В результаті передачі змінилась і поточна дія. В першому стані продукт із шифром "PROD486" стояв у черзі, що позначено такою змінною:

concept : name value = "Queued".

Продукт очікував призначення виконавця:

lifecycle : transition value = "Awaiting Assignment".

В наступному стані даний продукт прийнятий для обробки:

concept : name value = "Accepted"

та процес роботи з продуктом почався:

lifecycle : transition value = "InProgress".

Правило типу *NeXt* для даного прикладу має вигляд: $ft_1 E X ft_2$, причому факти ft_1 та ft_2 ви- значаються для всіх значень атрибутів першого й другого станів відповідно.

Квантор E використано тому, що в даному прикладі ми маємо лише одну послідовність з двох станів об'єкту управління. Квантор A доцільно було б використовувати в тому випадку, якщо вказані стани повторюються на всіх відомих послідовностях станів.

Правила типу *Until* містять ті пари (атрибут, значення), поява яких привела до поточного стану. В наведеному прикладі незмінними лишаються такі пари (атрибут, значення):

– шифр робочої групи:

org : group value = "N40",

– шифр країни для підприємства:

organization country value = "us";

– шифр організації-контрагента:

organization involved value = "Org line C";

– шифр продукції:

product value = "PROD486".

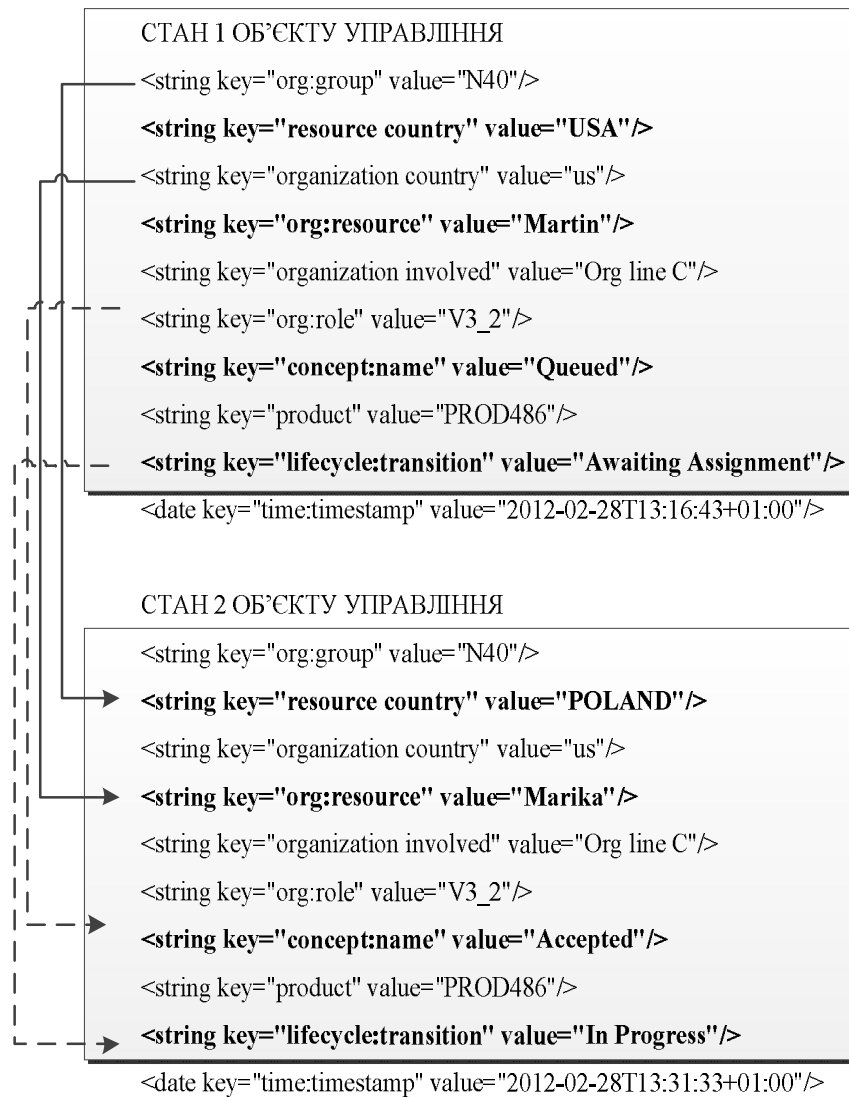


Рис. 1. Приклад зміни значень атрибутів артефактів при зміні стану об'єкту управління

Перший факт ft_1^* правила типу *Until* задається через кон'юнкцію представлених атрибутів із наведеними незмінними значеннями:

$$ft_1^* = \begin{cases} true \text{ if } org : group \text{ value} = "N40" \wedge \\ \quad organization \text{ country} \text{ value} = "us" \wedge \\ \quad organization \text{ involved} \text{ value} = \\ \quad "Org \text{ line} \text{ C}" \\ \quad \wedge product \text{ value} = "PROD486" \\ false \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Новий стан характеризується такими парами атрибутів з новими, відмінними значеннями:

- назва країни, де виконується робота:
resource country value = "POLAND";
- ім'я виконавця роботи в поточному стані:
org : resource value = "Marika";
- назва роботи/дії, виконання якої призвело до переходу до поточного стану:
concept : name value = "Accepted";

- поточний стан дії:
lifecycle : transition value = "In Progress".

Другий факт ft_2^* правила типу *Until* задається через кон'юнкцію представлених атрибутів, що змінили своє значення. Реалізація даного факту представлена таким чином:

$$ft_2^* = \begin{cases} true \text{ if } resource \text{ country} \text{ value} = \\ \quad "POLAND" \wedge \\ \quad org : resource \text{ value} = "Marika" \wedge \\ \quad concept : name \text{ value} = "Accepted" \wedge \\ \quad lifecycle : transition \text{ value} = \\ \quad "In Progress" \\ false \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Правило $ft_1^* EU ft_2^*$ задає перехід від першого стану до другого як результат зміни контексту на об'єкті управління.

Дане правило є істинним у випадку істинності логічних фактів ft_1^* та ft_2^* таким чином: факт ft_1^*

має бути істинним для всіх станів із заданої послідовності, що передують поточному стану та у поточному стані. Факт ft_2^* має бути істинним у поточному стані.

Така інтерпретація правила є дещо відмінною від традиційної інтерпретації темпорального оператора U , тому що факт ft_1^* має бути істинним і у поточному стані.

Дана зміна введена для того, щоб порівняти статичні та динамічні властивості контексту і тим самим врахувати ключові контексті зміни, які відображають перехід до нового стану об'єкту управління.

Розглянемо семантику даного правила на прикладі із рис. 1. Такі характеристики, як підрозділ (робоча група), організація, продукт, тощо, визначають постійні характеристики об'єкту управління. Іншими словами, вказані змінні визначають статичний аспект контексту виконання дій на об'єкті управління. Однак такі змінні, як ім'я виконавця поточної дії, назва та стан дії задають динамічний аспект контексту виконання дій. Тому правило даного типу відображає зв'язок нового стану зі змінним контексту.

На відміну від нього правило $ft_1 E X ft_2$ інтегрально задає перехід від одного послідовного стану до другого. Тобто стан визначається сукупністю значень всіх змінних. Для різних послідовностей подій порівнюються всі атрибути всіх артефактів, що характеризують стан об'єкту управління.

Метод побудови темпоральних правил типу «Until»

Метод побудови темпоральних правил типу *Until*, що враховує їх наведені особливості, використовує в якості вхідних даних опис послідовностей станів об'єктів управління виду $S = \{S_i\}, S_i = \langle s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_j \rangle$. Кожна послідовність станів S_i відображає один цикл управління, що відповідає, наприклад, вирішенню однієї функціональної задачі, життєвому циклу об'єкту управління (або артефакту), одному екземпляру бізнес-процесу.

Кожен стан $s_j \in S_i$ характеризується множиною пар: (змінна a_j^k , значення змінної $\alpha_j^{k,l}$): $s_j = \{(a_j^k, \alpha_j^{k,l})\}$. Пари $(a_j^k, \alpha_j^{k,l})$ містять у собі поточні значення властивостей атомарних складових об'єкту управління. Тобто змінна стану a_j^k одночасно задає властивість артефакту af_n : $af_n = \{(a_n^m, \alpha_n^{m,l})\}$.

У відповідності до даного визначення стану та артефакту, поточний стан s_j завжди відображає зміну контексту, представленого щонайменше одним артефактом af_n :

$$\forall j \exists : s_j \cap af_n \neq \emptyset. \quad (3)$$

Також кожен стан має темпоральну мітку. Тобто одна із змінних a_j^k є фіксує час виникнення s_j .

У прикладі на рис. 1 мітка часу має назву "time:timestamp".

Додатково в якості вхідних даних також може бути вказаний рівень деталізації.

Даний рівень визначається підмножиною артефактів Af^* або їх властивостей, які будуть враховані при побудові темпоральних правил.

Метод містить у собі такі базові етапи.

Етап 1. Відбір підмножини станів $S^* = \{S_i^*\}$ для заданого рівня деталізації.

Крок 1.1. Відбір за змінними станів виконується за умовою:

$$\forall s_j \in S^* \exists a_j^k \in af_n | af_n \in Af^* . \quad (4)$$

Крок 1.2. Відбір за значеннями змінних станів виконується за умовою:

$$\forall s_j \in S^* \exists (a_j^k, \alpha_j^{k,l}) \in af_n | af_n \in Af^* . \quad (5)$$

Результат даного етапу залежить від вхідної підмножини артефактів.

У випадку, якщо Af^* складається з одного артефакту, то підмножина S^* характеризує цикл обробки цього артефакту.

У випадку, якщо Af^* містить артефакти одного бізнес-процесу, то підмножина S^* описує хід виконання цього бізнес-процесу.

В тому випадку, якщо підмножина Af^* стосується однієї функціональної задачі, то S^* описує послідовність вирішення цієї задачі.

Якщо Af^* пов'язана із одним підрозділом підприємства, то підмножина S^* описує роботу цього підрозділу.

Етап 2. Відбір змінних a_j^k , які мають постійне значення для послідовності станів S_i^* .

Умова відбору змінних має такий вигляд:

$$\forall s_j \in S_i^* \forall k \forall l \neq z \alpha_j^{k,l} = \alpha_j^{k,z} . \quad (6)$$

Результатом етапу є набір множин змінних $\{A_i^*\}$, значення яких є незмінними для кожної послідовності S_i^* . Ці змінні використовуються при побудові факту – антецеденту правила.

Етап 3. Формування множини фактів-антецедентів темпорального правила. Вказані факти мають такий вигляд:

$$ft_{ant}^* = \vee (a_j^k = \alpha_j^{k,l}) | a_j^k \in A_i^* . \quad (7)$$

Для кожної послідовності S_i^* формується один факт-антецедент.

Етап 4. Відбір підмножин змінних $\{A_{i,j}^{**}\}$, які змінюють значення на парі послідовних станів

$\langle s_{j-1}, s_j \rangle$. Умова відбору змінних має такий вигляд:

$$\forall \langle s_{j-1}, s_j \rangle \in S_i^* \forall a_j^k \alpha_{j-1}^{k,l} = \alpha_j^{k,l}. \quad (8)$$

Результатом етапу є набір множин змінних $\{A_{i,j}^{**}\}$, значення яких відрізняються для кожної пари послідовних станів із S_i^* . Ці змінні використовуються при побудові факту – консеквентну правила.

Етап 5. Формування множини фактів-консеквентів темпорального правила. Ці факти мають такий вигляд:

$$ft_{cons}^* = \bigvee (a_j^k = \alpha_j^{k,l}) \mid \forall j \forall k \alpha_{j-1}^{k,l} = \alpha_j^{k,l}. \quad (9)$$

Факт-консеквент формується для кожної пари послідовних станів $\langle s_{j-1}, s_j \rangle$ для кожної підмножини S_i^* .

Етап 6. Побудова правил типу *Until* для кожної послідовності S_i^* .

Правила формуються із пари фактів (антецедент - консеквент) у відповідності до розглянутих вище визначень.

Результатом етапу є множина правил виду $ft_{i,m} U ft_{i,n}$ без кванторів та з прив'язкою до конкретної послідовності станів S_i^* .

Етап 7. Встановлення відповідності між фактами-антецедентами для різних послідовностей подій S_i^* . На даному етапі у відповідності до виразу (7) порівнюється підмножина змінних A_i^* та їх значень. У випадку їх ідентичності поєднуються антецеденти для різних послідовностей S_i^* .

Етап 8. Встановлення відповідності між фактами - консеквентами для різних послідовностей станів S_i^* .

Консеквенти поєднуються у відповідності до значень змінних $\alpha_j^{k,l}$.

Етап 9. Поєднання правил із різних послідовностей станів за умови еквівалентності фактів антецедентів та фактів – консеквентів.

Етап 10. Визначення кванторів для отриманих правил.

Для правила встановлюється квантор A в тому випадку, якщо воно є дійсним на всіх послідовностях станів S_i^* . В іншому випадку для правила встановлюється квантор E .

Додатковим етапом є етап визначення ваг отриманих темпоральних правил.

Визначення ваг виконується згідно запропонованого в роботі [9] методу.

Ваги правил залежать від ймовірності їх виникнення на існуючому наборі станів об'єкту управління, що дає можливість сформувати можливі траєкторії переходу до цільового стану цього об'єкту.

Слід відзначити, що методи побудови темпоральних правил типів *Next* та *Future* реалізують аналогічний підхід з урахуванням відмінностей вказаних правил [6].

Наведені в цій роботі методи доцільно доповнити етапами визначення кванторів та ваг правил.

Висновки

Запропоновано метод побудови темпоральних правил, що враховують зміну контексту виконання дій при реалізації управління комплексним об'єктом.

Метод передбачає:

відбір підмножини даних про стани об'єкту управління з урахуванням заданого рівня деталізації;

формування фактів-антецедентів, що відображають статичні характеристики об'єкту управління;

формування фактів-консеквентів, що відображають зміну контексту виконання дій на об'єкті управління;

побудову, інтеграцію й квантифікацію темпоральних правил.

В практичному плані отриманий метод забезпечує можливості аналізу поточного стану та прогнозування поведінки об'єкту управління з урахуванням зв'язку між виконаними діями та поточним станом предметної області в умовах невизначеності, пов'язаних з неповнотою інформації про стан 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 International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>
2. Bubnicki Z. (2005). *Modern control theory*. Berlin: Springer 423.
3. 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).
4. Niu F., Zhang C., Re C. (2012). DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. *VLDS*, 25–28.
5. 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.
6. 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.

7. 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.
8. Чала О. В. (2018). Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0». *Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку*, № 4 (50). С. 86-90.
9. 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.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків
Received (Надійшла) 19.08.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.09.2018

Метод построения контекстно-ориентированных правил в темпоральной базе знаний

О.В. Чалая

Предметом изучения в статье являются процессы построения и использования темпоральных знаний при управлении предприятием в условиях неопределенности, является следствием неполноты информации о текущем состоянии предприятия. **Цель** состоит в разработке метода построения темпоральных правил, учитывающих изменение контекста выполнения действий на различных уровнях организационной иерархии при реализации управления предприятием. **Задачи:** выявить различия контекстно-ориентированных темпоральных правил от правил, связывающих последовательные состояния объекта управления; разработать метод построения контекстно-ориентированных темпоральных правил на основе информации о наборе и значениях переменных, характеризующих последовательные состояния объекта управления. **Методами**, используемыми являются: методы построения темпоральных правил, связывающих последовательные состояния объекта управления, метод расчета весов правил в марковской логической сети, методы вероятностного вывода в темпоральной базе знаний. Получены следующие **результаты**. Выделены особенности реализации контекстно-ориентированных темпоральных правил для наборов входных данных, задающих последовательность состояний объекта управления в виде наборов свойств его атомарных составляющих. Разработан метод построения контекстно-ориентированных темпоральных правил, учитывающий различия между переменными, задающими статические и динамические характеристики объекта управления. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: предложен метод построения контекстно-ориентированных темпоральных правил. Правила учитывают изменение контекста выполнения действий как совокупности свойств атомарных составляющих комплексного объекта управления. Метод включает этапы отбора подмножества данных о состоянии объекта управления на определенном уровне детализации; формирование фактов-антецедентов и фактов-консеквентов, отражающие статические и динамические характеристики контекста выполнения действий на объекте управления; построение, интеграцию и квантификацию темпоральных правил. Метод обеспечивает возможности анализа и классификации текущего состояния и прогнозирования поведения объекта управления в условиях неопределенности на основе связи между выполненными действиями и текущим состоянием предметной области.

Ключевые слова: темпоральная база знаний; темпоральные правила; логические факты; последовательность состояний объекта управления.

Method of constructing context-oriented rules in the temporal knowledge base

O. Chala

The **subject matter** of the article is the processes of construction and use of temporal knowledge in the management of the enterprise in the conditions of uncertainty, which is the result of incompleteness of information about the current state of the enterprise. The **goal** is to develop a method for constructing temporal rules that take into account the change in the context of the implementation of actions at different levels of the organizational hierarchy when implementing enterprise management. **Tasks:** to distinguish the context-oriented temporal rules from the rules that connect the successive states of the object of management; develop a method for constructing context-oriented temporal rules based on information set and values of variables characterizing successive states of the control object. **The methods** used are: methods of constructing temporal rules that connect the successive states of the object of management, the method of calculating the weight of the rules in Markov's logical network, methods of probabilistic output in the temporal knowledge base. The following **results** are obtained. The features of the implementation of context-oriented temporal rules for the sets of input data, which specify the sequence of states of the control object in the form of sets of properties of its atomic components, are singled out. The method of construction of context-oriented temporal rules is developed, which takes into account the differences between the variables, which set the static and dynamic characteristics of the object of management. **Conclusions.** Scientific novelty of the obtained results is as follows: the method of constructing context-oriented temporal rules is proposed. The rules take into account the change in the context of the implementation of actions as a set of properties of the atomic components of a complex object of management. The method contains steps for selecting a subset of the state of the control object at a specified level of detail; the formation of facts-antecedents and facts-records that reflect the static and dynamic characteristics of the context of the implementation of actions on the control object; construction, integration and quantification of temporal rules. The method provides the possibility of analysis and classification of the current state and prediction of the behavior of the object of management in conditions of uncertainty on the basis of the connection between the actions performed and the current state of the subject area.

Keywords: temporal knowledge base; temporal rules; logical facts; sequence of states of the control object.

L. Chernova

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

PECULIARITIES OF THE METHODOLOGIES FOR MANAGING PROJECTS AND PROGRAMMES TO ENSURE THE INNOVATION PROCESS

At the stage of market transformations in Ukraine, the possibilities for increasing the output of products and services by attracting new resources to the economic turnover become limited. The transition of the economy to the innovative type of economic growth is crucial for economic dynamics. The **subject matter** of the study is the process of implementing innovations from the innovation infrastructure perspective within the project methodology. The **goal** of the study is to create the concept of an effective system for servicing the innovation process, taking into account the specifics of implementing the project management methodology. The objectives of the study are to analyze the features of the innovation infrastructure; to consider ways to finance the stages of the innovation process from the project methodology perspective; to consider the possibility of using foresight within project methodologies; to formulate the task of making decisions on the assessment of the innovative potential of the region. The **methods** of the study included logical generalization, analysis and synthesis, structural analysis. The following **results** were obtained: the basic elements of the innovation infrastructure as the system of organizational and economic forms and institutional structures were developed and described; the elements of the innovation infrastructure were classified according to different forums. The differentiated approach to financing the stages of the innovation process for various project methodologies (project, programme and portfolio) were suggested for using; the use of foresight for implementing the innovative approach was rationalized, namely as the technology for long-term forecasting; the diagram for coupling the foresight methodology and the project methodology of values creation was constructed; the elements of the decision-making task of assessing the innovative potential of a region built by using the methodology of the programme approach were formalized; this approach can be used by regional and state authorities to assess the degree of impact of one or another factor on the innovative potential of a territory as well as to determine the priority directions of innovative development. **Conclusions.** Considering the methodology of programme management in the context of foresight, the main results from the implementation of this methodology in production can be seen, and, what is the most important, the use of the foresight methodology takes an enterprise immediately to the fourth level of technological maturity out of the five ones. That means that using the above methodologies, innovations can be developed and implemented. Moreover, maximal benefits of the introduced innovation can be predicted.

Keywords: innovations, innovative economy, project methodology, project management, programme management, foresight.

Introduction

At the stage of market transformations in Ukraine, the possibility of increasing the output of products and services by attracting new resources into the economic turnover becomes more limited. The transition of the economy to the innovative type of economic growth is crucial for economic dynamics.

Innovations are becoming the main "actor" of the theoretical scenarios and the practical implementation of the modern scientific and technological revolution, pushing aside conventional investments that have long been the main factor of the economic growth. So far, economic theories that deal with the expanded reproduction have considered the increase in the volume of capital investments as the main condition of scientific and technological progress in particular, and economic development in general. Theoretical studies have paid insufficient attention to market-oriented innovations. The fundamental increase in the role of innovation is primarily due to the changes in market situation: the nature of competition, the transition from the usual "static" to "dynamic" competition. This fact has largely determined the peculiarities of the interaction of innovations and the market at the present stage [1, 2].

In Ukraine, there are objective prerequisites for developing the innovative economy. Ukraine can

rapidly exit from the crisis by realizing the benefits of the innovative economy which should be supported by active state policy. Creating an economic mechanism that enables generating, reproducing and using scientific and technological innovations in order to increase the pace of economic development and quality of life in our country is becoming extremely crucial. This task can be solved only by the adequate understanding of the main characteristics of the innovative processes, their driving forces and patterns. The implementation of a new innovative economy should result in the achievement of a high level of social orientation of scientific and technological progress, in the increase of the standard of living of the population due to the growth of the efficiency of social production, in the qualitatively new level of resource conservation and ecologization of the economy. Innovative transformations in recent decades have provided accelerated development of the world economy. The contribution of scientific achievements to the GDP growth of individual countries exceeds 50%. The study of such economic theories and directions as neoclassicism, Keynesianism, post-Keynesianism, the institutional and sociological direction, neo-institutionalism and others enable defining the factor of improving the "technical conditions" as the main reason for expanding volumes and reducing costs of social production as well as increasing profits. There is a clear

relationship between innovative achievements and the pace of economic growth; the development of the economic system is directly related to the renewed nature of the innovation process; the state innovation policy plays a decisive role in the development of the innovative model of state development [3]. Scientific and technological progress leads to overcoming social contradictions and is a means to ensure a steady improvement in the quality of life. According to the theories of the post-industrial and information societies, the economic development of the state is mostly determined by the complex and timely transformations of the “technostructure”, especially the informational one as evidenced, for example, by the US experience, where the share of information technologies in GDP is 10%. According to experts, in the United States, 1\$ invested in R & D gives 9\$ of the GDP growth.

The analysis of recent studies and publications.

Innovations have become the most important factor of competitiveness and accelerated economic development of not only individual organizations but also states. New features and forms of organization of the innovative process (new mechanisms and institutes of the interaction of segments of the national innovation system (NIS) have appeared as the result of the impact of external global factors. The intensification of innovation requires the appropriate development of innovative and organizational structures.

Under crisis, innovative activity requires significant funding and at the same time is rather risky and therefore, it needs state regulation in the context of the crisis economy. The system of incentives for the recovery of innovative activity should be based on the individual priorities of innovation development. Some attempts to prioritize innovative activities from the state incentives perspective have already been carried out but they, on the one hand, do not take into account all the advanced branches of the world science and technology and, on the other hand, on the contrary, cover a wide range of directions that are not realistic in the context of current present limited possibilities of the state in relation to their financial support.

Currently, project management is considered as one of the factors of the globalization of economies and a common language for the development of states, sectors of the economy and social sphere, enterprises and business [4].

At the present stage, the implementation of innovative projects is an objective condition for ensuring the dynamic development of production and, hence, the economy of Ukraine as a whole. Unlike administrative management, which focuses on operations (manufacturing, sales, customer service) that are repeated with increasing productivity, a project is focused on a certain result and has a finite duration. The development of production, significant technological and technical advances, capacity building have led to the increase in project designs and the increase in the number of projects in individual industries, while there does not exist the practice of applying the project approach to managing the innovative component of the state policy.

An innovative project is topical if it corresponds to the tasks of scientific and innovative and social and economic development of an economic entity, cluster, region and country. Accordingly, the project has a state, regional, industry or cluster significance for the entity.

The project methodology is used if its execution involves the implementation of unique projects and programmes aimed at increasing the competitiveness of enterprises in the domestic and foreign markets, the development of innovative and investment activities in the country.

Among the main scientific approaches in the field of project and programme management, the following ones should be singled out: systemic and programme-oriented (V. Glushkov, B. Miller, R. Pospelov, A. Iirikov, D. Cleland and others), the theory of complex system management (Ye. Druzhinin, M. Mesarovich, I. Takahara, N. Moiseev, Yu. Germire, V. Volkovich, V. Mikhailovich), classical theory of project management on the basis of PMBOK standard (V. Voropaev, S. Bushuev, N. Bushueva, I. Belokon, V. Rach, R. Tian, V. Shapiro, I. Mazur, B. Demidov and others), the system of knowledge on managing the innovative projects and programmes of enterprises – P2M (S. Bushuev, N. Bushueva, Hiroshi Tanaka, Shigenobu Ohara).

Also, while planning and managing projects, the methods of the theory of dual system modelling are widely used (D. Pospelov, M. Buslenko, R. Shannon, N. Solomatin, J. Brown, T. Schreiber, M. Augustin, T. Naylor, V. Tomashevsky, A. Fedorovich, A. Prokhorov), the theory of strategic planning and management (I. Ansoff, A. Gradov, A. Vihansky, Z. Rumyantsev, M. Meskon, I. Kononenko), optimization theory (S. Mlyntsev, V. Vasiliev, N. G. De Brein, V. Dekhtyarenko, S. Travkin, A. Larichev, Ye. Petrov), quality management (F. Crosby, V. Deming, D. Dzhuran, Kara Isikava, A. Shukhart, B. Konorev, V. Kharchenko).

In addition, it should be noted that there are two equally important but not equivalent methodologies for project management in complex innovation systems such as portfolio management and programme management. There are often significant differences between the concepts of the programme and the portfolio of projects as it should be kept in mind that all programme projects are aimed at achieving a certain strategic goal, while the portfolio may consist of different projects with different purposes. A programme is often considered as one big project (multi-project or macro-project).

But, unlike a project, a programme does not necessarily have a deadline. In most definitions, a *programme* is referred to as a series of related projects that are coordinated and managed to achieve advantages and such level of management that cannot be achieved while managing them individually. Such a definition of a *programme* means that a programme should create some kind of additional cost [5, 6, 7].

With regard to the project portfolio, one of its definitions is as follows: a portfolio is a set of projects or programmes and other work that are combined to

manage these pieces of work effectively to achieve strategic goals [8, 9].

The goal of the study is to develop the concept of an efficient system of servicing the innovative process taking into consideration the peculiarities of the implementation of the project management methodologies.

To achieve the goal, the following tasks are solved in the article:

- the features of innovation infrastructure are analyzed;
- the ways of financing the stages of the innovation process from the project methodology perspective are considered;
- the possibility of using foresight within project methodologies is considered;
- the task of making decisions for assessing the innovative potential of the region is formulated.

Materials and methods of the study

Considering the innovative infrastructure as a system of organizational and economic forms and institutional structures that should serve the processes of implementing innovations and ensure their implementation in the overall system of the economy, the following picture can be seen (Fig. 1).

The rapid growth in the number of organizations engaged in innovations and innovative processes in the world testify the development of the innovation infrastructure and its scope in the context of globalization.

Today there are about 7,000 scientific and technological incubators and more than 1,500 technology parks that provide innovative processes in the world.

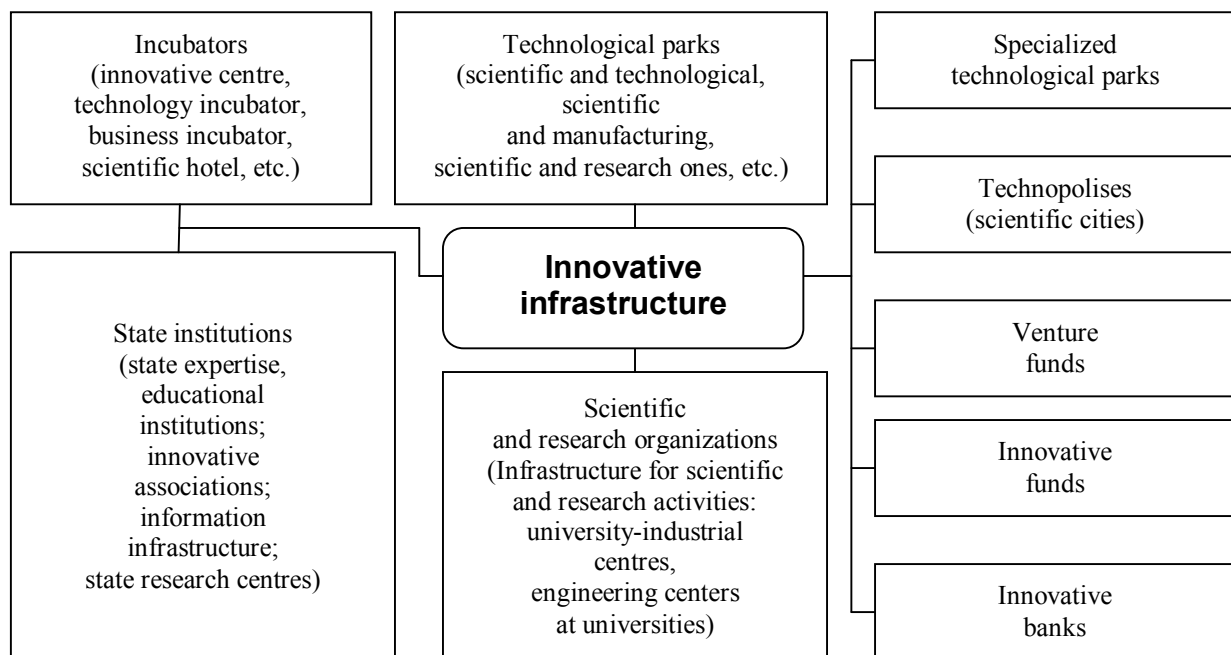


Fig. 1. Basic structural elements of the innovative infrastructure [3]

The study of the features of the components of innovative infrastructure, their advantages and disadvantages, factors affecting the national specificity of the innovation sphere enabled classifying the elements of the innovative infrastructure by the types of ownership:

state (state institutions, expert and information infrastructure, etc.),

mixed (innovative banks, innovative associations, technopolises, venture innovative funds, technoparks, incubators, etc.),

private (innovative centres, venture innovative funds, research centres, consulting firms, etc.);

by the types of integration (incubators and other separate enterprises, park structures, “city-forming” structures, etc.);

by organizational peculiarities (umbrella structures: business incubators, innovative centres, technoparks, etc.; individual organizations: innovative

funds, venture funds, consulting firms, innovative banks, etc.);

by the forms and directions of activities (financing and credit institutions and organizational and economic centres);

by the objects of servicing (servicing only small and medium-sized organizations, only large organizations, servicing all subjects of innovative activity) [3].

As innovations advance from the design to the finished product, both the source of funding and its forms should change.

More details are given in Table 1.

If the differentiated approach to financing the stages of the innovation process is considered within the project methodology perspective, the following can be seen:

at the stage of innovation,

the programme methodology should be used

while at the stage of commercialization, the project methodology should be used and at the stage of implementation of innovations, the portfolio management methodology should be used.

Table 1. The differentiated approach to financing the stages of the innovative process from the project methodology perspective

Stages	Sources (in descending order of importance)	Forms (in ascending order of importance)	Types of project management methodologies
1. the creation of innovations a) fundamental studies b) applied studies	State (through Ministries, departments, special budget funds), extrabudgetary funds, own funds of research organizations; Special extrabudgetary funds, state, venture funds, business environment, own funds of research organizations	Direct financing, grants, financing on a competitive basis Competitive financing, direct financing on the conditions of investments return, preferential crediting	Programme methodology
2. commercialization a) trial production b) mass release	Venture funds, banks and other financial structures, own costs of the enterprise that implement innovations Venture funds, own costs of the enterprise that implement innovations	Venture investments, crediting, intercompany investments Crediting, venture investments, intercompany investments	Project methodology
3. implementation	the own costs of enterprise that implement innovations, business, banks, other financial structures	The money from the sale, credits	Portfolio management methodology

That is, in order to form the innovation infrastructure of a country, two approaches should be used - the programme and portfolio ones. In addition, there are no specific recommendations as for the best branch for using this or that approach, it is up to the performer.

Besides, to introduce an innovation, the method of foresight can be used [10, 11], that is the technology of long-term forecasting, containing three basic principles:

- 1) the future can be created;
- 2) the future is variable, that is, it does not only come from the past but also largely depends on the decisions of stakeholders [12, 13];
- 3) predictions can be built but in general, the future cannot be predicted reliably but probable variants can be predicted and the desired future can be prepared.

Let us detail the connection between foresight and programme methodology since this methodology is used in the first stage of the creation of innovations (Fig. 2).

It can be seen that the main steps of foresight and programme management are rather similar. Attention should be paid to the results which should be obtained when both the mentioned methodologies are used,

namely:

1. Formation of strategic initiatives. The result is obtained when the goal and general strategy of a company are formulated.

Based on this strategy and goal, the main guiding principles for the following activities are highlighted.

In accordance with these principles, the desired combination of projects and programmes in the portfolio is determined, and the degree of associated risk is determined. Standards, budgets, key performance indicators are developed.

2. Implementation of advantages includes the analysis of trends and strategic portfolio.

The tools related to the implementation of advantages ensure the transparency of results, previously detected deviations in the implementation of the programme and the savings from directed efforts and investments in the actions that contribute to creating the maximum effect from the implementation of the programme.

3. The results of the activity are based on the analysis of the development and management of the implementation of the programmes. This section includes almost all tools of the project and programme management.

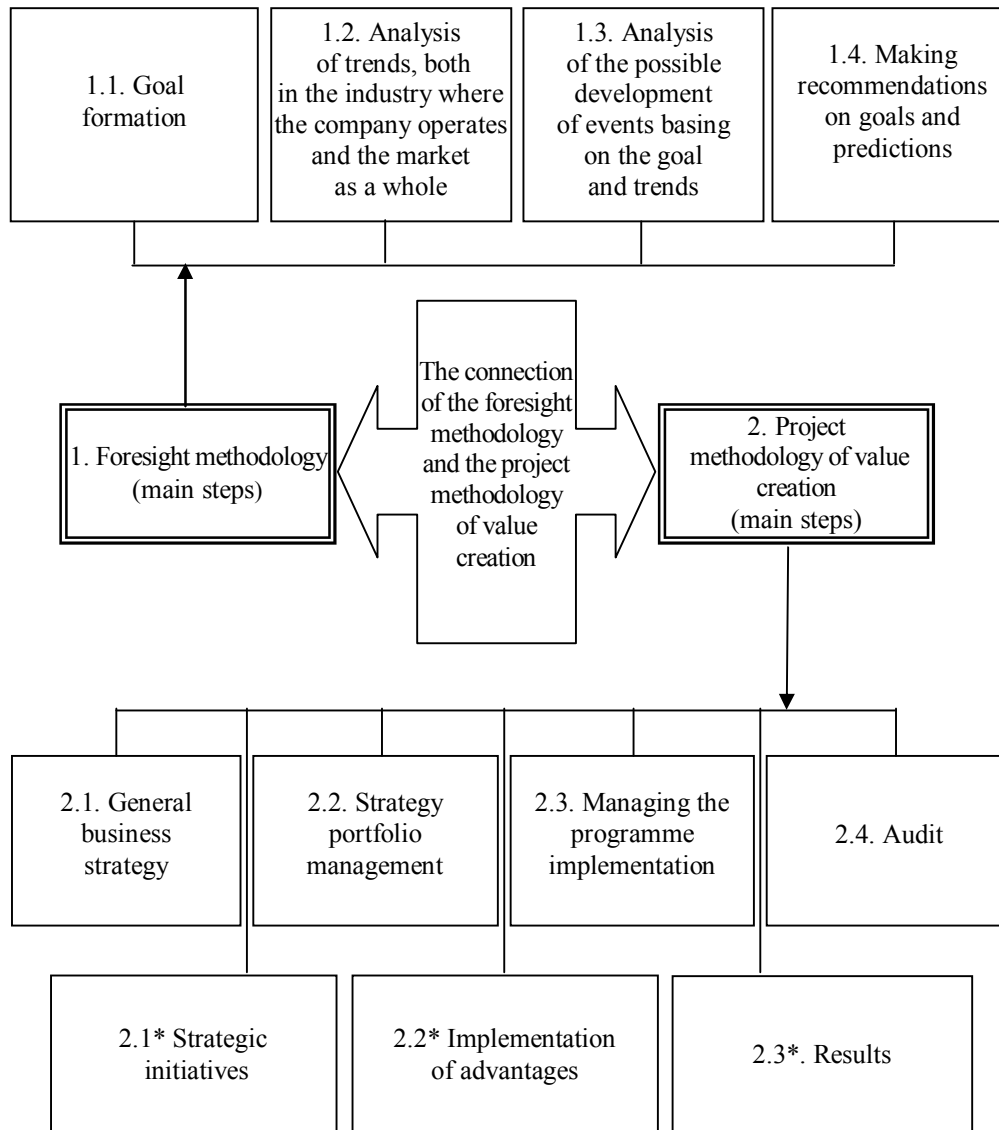


Fig. 2. The connection of the methodology of foresight and the project methodology of values creation

As for the audit, this is a separate issue that requires another study.

It can be seen that the use of programme management methodology on the basis of foresight takes an enterprise immediately to the fourth level of technological maturity [14, 15]

Using the above data, it is possible to formulate the task of making decisions on assessing the level of the innovative potential of the region or the branch where these tools and methodologies will be implemented.

The level of the innovative potential (K_{in}) can be determined by solving the task of making decisions taking into consideration a number of criteria which can be presented as follows:

$$Z(K_{in}) = \langle r, M, K, Y, f, H, s \rangle,$$

where r is a type of constraints (internal or external);

M is a set of solutions;

K is a set of criteria;

Y is a set of rules for criteria selection;

f is the mapping of a set of solutions into a set of vector assessments;

H is the decision-making system of a decision maker;

S is the main decisive rule.

Let us explain the constituents: among the constraints, the limitations associated with the development, realization and implementation of innovations should be determined - they will be different at each stage of the implementation of the innovation; a set of decisions includes all decisions that are related to the innovation; a set of criteria represents, first of all, the dependence of decision-making in the context of the innovation and the level of the technological maturity of the enterprise where the innovation will be implemented while the type of financing does not play any role; a set of rules for selecting criteria is based only within the programme methodology; the main decisive rule corresponds to the goal of the innovation implementation and, depending on the level of the innovation, can be different.

The proposed model of the decision-making task can also be used by regional and state authorities to assess the degree of influence of this or that factor on the state of the innovative potential of the territory as well as on the identification of the priority directions of the innovative development.

Thus, it can be seen that the project management methodology for developing the state innovative infrastructure is worth implementing.

Conclusions

The analysis of the peculiarities of the development of many countries of the world shows that only creating the innovative infrastructure provides:

proper financing of innovative processes,
 creating the competitive environment in the innovative sector of the economy,
 developing and supporting the innovative entrepreneurship,
 stimulating economic subjects for innovation,
 protecting the rights of intellectual property,
 the individual approach to innovative companies and innovative projects of industrial enterprises,
 reproducing the innovation process (innovative conveyor).

It is recommended that the differentiated approach to financing the stages of the innovative

process should be considered from the project methodology perspective:

at the stage of innovation, the programme methodology should be used,

at the stage of commercialization, the project methodology should be used while at the stage of the implementation of innovations,

the portfolio management methodology should be used.

The model of making decision on the assessment of the innovative potential of the region, constructed using the methodology of the programme approach which can be used by regional and state authorities to assess the degree of the influence of this or that factor on the state of the innovation potential of the territory as well as to determine the priority directions of the innovative development was suggested.

Considering the methodology of programme management in the context of foresight, the main results from the implementation of this methodology in production can be seen, and, what is the most important, the use of the foresight methodology takes an enterprise immediately to the fourth level of technological maturity out of the five ones.

That means that using the above methodologies, innovations can be developed and implemented. Moreover, maximal benefits of the introduced innovation can be predicted.

REFERENCES

1. Aleinikova, O. V. (2004), Economic policy of state innovation development in market conditions : author's abstract dis.. [Ekonomichna polityka innovatsiinoho rozvytku derzhavy v rynkovykh umovakh : avtoref. dys.], Dnipropetrovsk, P. 19.
2. Vysotska, I. B. (2005), Innovation factor in the development of industry : author's abstract dis.. [Innovatsiyni chynnyky rozvytku promyslovosti: avtoref. dys.], Kyiv, P. 21.
3. Prozorov, V. V. (2005), Improvement of Innovation Infrastructure of Ukraine in the Conditions of Globalization : author's abstract dis.. [Udoskonalennia innovatsiynoi infrastruktury Ukrainy v umovakh hlobalizatsii: avtoref. dys.], Donetsk, P. 21.
4. *A Guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBok® guide)*. Sixth edition. USA: PMI Inc. 2017. 735 p.
5. Innovative activities management of marine economy enterprises and organizations : Monograph, Mykolaiv : vydavnytstvo Torubary O.S., 2013, 448 p.
6. P2M Management of innovation projects and programmes of organizations : Monograph [P2M Kerivnytstvo z upravlinnya innovatsiynymy proektamy i prohramamy orhanizatsiy : Monohrafya], Translation into Ukrainian, edited by Professor F. O. Yaroshenko, Kyiv : Novyy druk, 2010, 160 p.
7. Bushuiev, S. D., Bushuieva, N. S., Kazariezov, A. Ia. et al. (2010), Project and programme management: a textbook [Upravlinnia proektamy ta prohramamy: Pidruchnyk], Mykolaiv : vydavnytstvo Torubary O.S., 352 p.
8. Kendall, Y., Rollynz, K. (2004), Modern methods of project portfolio management and project management office: Maximizing ROI [Sovremennyye metody upravleniya portfeliamy proektov y ofys upravleniya proektamy: Maksymyzatsyia ROI], Moscow : ZAO «PM SOFT», 576 p.
9. Matveev, A. A., Novykov, D. A., Tsvetkov, A. V. (2005), Models and methods of project portfolio management [Modely i metody upravleniya portfeliamy proektov], Moscow : PMSOFT, 206 p.
10. Foresight as a change management method [Forsajting kak metod upravleniya izmeneniyami], available at: http://www.training.com.ua/live/release/forsajting_kak_metod_upravlenija_izmenenijami.
11. Foresight – the future of economic forecasting [Forsajting – budushcheye ekonomicheskogo prognozirovaniya], available at: <http://investfunds.lv/news/4329>.
12. Bourne, L. (2016), “Stakeholder relationship management: at the maturity model for organizational implementation”, CRC Press, New York, USA.
13. Friedman, A., Miles, S. (2006), Stakeholders: Theory and Practice, Oxford: Oxford University Press.
14. Kerzner, H. (2001), Strategic planning for project management maturity model, New York: John Wiley & Sons.
15. Bushuyeva, N. S. (2007), Models and methods of proactive management of organizational development programmes: Monograph [Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya: Monografiya], Kyiv : Nauk. Svit, 199 p.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. В. В. Косенко,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 21.08.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.09.2018

Особливості методологій управління проектами та програмами для забезпечення інноваційного процесу

Л. С. Чернова

На етапі ринкових перетворень в Україні можливості збільшення випуску продукції і послуг за рахунок залучення в економічний обіг нових ресурсів стають обмеженішими. Вирішального значення для економічної динаміки набуває перехід економіки до інноваційного типу економічного зростання. **Предметом** дослідження у даній роботі є процес реалізації інновацій з точки зору побудови інноваційної інфраструктури у межах проектної методології. **Метою** дослідження є створення концепції ефективної системи обслуговування інноваційного процесу з урахуванням особливостей впровадження методологій управління проектами. **Завдання:** Проаналізувати особливості інноваційної інфраструктури. Розглянути способи фінансування стадій інноваційного процесу з точки зору проектної методології. Розглянути можливість застосування форсайтингу в рамках проектних методологій. Сформулювати задачу прийняття рішень з оцінки інноваційного потенціалу регіону. **Методи** дослідження: логічне узагальнення, аналіз та синтез, структурний аналіз. **Результати:** Сформовано та описано основні елементи інноваційної інфраструктури як системи організаційно-економічних форм та інституціональних структур. Класифіковано елементи інноваційної інфраструктури за різними формами. Запропоновано використовувати диференційований підхід до фінансування стадій інноваційного процесу для різних проектних методологій (проектної, програмної та портфельної). Зроблено висновок про доцільність використання форсайтингу для реалізації інноваційного підходу, саме як технологію довгострокового прогнозування. Сформовано схему зв'язку методології форсайтингу та проектної методології створення цінностей. Формалізовано елементи задачі прийняття рішень з оцінки інноваційного потенціалу регіону, побудовану з використанням методології програмного підходу, що може бути використаним регіональними та державними органами влади для оцінки ступеня впливу того чи іншого чинника на стан інноваційного потенціалу території, а також для визначення пріоритетних напрямів інноваційного розвитку. **Висновки.** Розглядаючи методологію управління програмами крізь призму форсайтингу можна побачити головні результати від впровадження цієї методології на виробництві, і головне, що використання методології форсайтингу переводить підприємство одразу на четвертий з п'яти рівнів технологічної зрілості. Тобто завдяки використанню наведених вище методологій ми можемо не лише розробити та впровадити інновацію, але й спрогнозувати таке майбутнє при якому зиск від впровадженної інновації буде максимальним.

Ключові слова: інновації, інноваційна економіка, проектна методологія, управління проектами, управління програмами, форсайтінг.

Особенности методологий управления проектами и программами для обеспечения инновационного процесса

Л. С. Чернова

На этапе рыночных преобразований в Украине возможности увеличения выпуска продукции и услуг за счет привлечения в экономический оборот новых ресурсов становятся ограниченными. Решающее значение для экономической динамики приобретает переход экономики к инновационному типу экономического роста. **Предметом** исследования в данной работе является процесс реализации инноваций с точки зрения построения инновационной инфраструктуры в рамках проектной методологии. **Целью** исследования является создание концепции эффективной системы обслуживания инновационного процесса с учетом особенностей внедрения методологии управления проектами. **Задачи:** Проанализировать особенности инновационной инфраструктуры. Рассмотреть способы финансирования стадий инновационного процесса с точки зрения проектной методологии. Рассмотреть возможность применения форсайтинга в рамках проектных методологий. Сформулировать задачу принятия решений по оценке инновационного потенциала региона. **Методы** исследования: логическое обобщение, анализ и синтез, структурный анализ. **Результаты:** Сформирован и описано основные элементы инновационной инфраструктуры как системы организационно-экономических форм и институциональных структур. Классифицированы элементы инновационной инфраструктуры по разным форумам. Предложено использовать дифференцированный подход к финансированию стадий инновационного процесса для различных проектных методологий (проектной, программной и портфельной). Сделан вывод о целесообразности использования форсайтинга для реализации инновационного подхода, именно как технологию долгосрочного прогнозирования. Сформирована схема связи методологии форсайтинга и проектной методологии создания ценностей. Формализованы элементы задачи принятия решений по оценке инновационного потенциала региона, построенную с использованием методологии программного подхода, который может быть использован региональными и государственными органами власти для оценки степени влияния того или иного фактора на состояние инновационного потенциала территории, а также для определения приоритетных направлений инновационного развития. **Выводы.** Рассматривая методологию управления программами через призму форсайтинга, можно увидеть главные результаты от внедрения этой методологии на производстве, и главное, что использование методологии форсайтинга переводит предприятие сразу на четвертый из пяти уровней технологической зрелости. То есть благодаря использованию приведенных выше методологий мы можем не только разработать и внедрить инновацию, но и спрогнозировать такое будущее, при котором выгода от внедренной инновации будет максимальной.

Ключевые слова: инновации, инновационная экономика, проектная методология, управление проектами, управление программами, форсайтінг.

Д. В. Шингалов

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СОЦІАЛЬНИХ ГРАФОВИХ СТРУКТУР

Предметом вивчення у статті є процес аналізу та візуалізації соціальних графових структур. **Метою** є дослідження програмних засобів для аналізу та візуалізації соціальних графових структур. **Завдання:** дослідити сучасні платформи для побудови соціальних графів та їх статистичного аналізу, порівняти їх переваги та недоліки, дослідити придатність платформ для застосування до великих наборів даних та доцільність їх використання для аналізу соціальних мереж. Отримані такі **результати:** Досліджено найбільш популярні на ринку платформи для візуалізації графових структур. Здійснено порівняльний аналіз цих платформ з точки зору наявності вільної ліцензії на використання, їх мультиплатформенності та багатоформатності, а також можливості застосування до великих соціальних мереж, та оцінки впливовості агентів, наявності відкритого програмного коду. **Висновки.** Основними перевагами більшості програмних засобів є підтримка багатьох форматів, багато можливостей для математичного та статистичного аналізу та умовно вільна або вільна ліцензія. Серед недоліків слід відмітити, що не усі платформи призначені для роботи в умовах великих динамічних об'ємів даних отриманих з соціальних мереж, також, на жаль, в усіх програмних засобах зовсім відсутня можливість оцінки впливовості агентів соціальних відносин. Для вирішення даної проблеми необхідне створення програмного забезпечення, яке би аналізувало інформаційні потоки та визначало ступінь впливу поширюваної інформації, а також рівень взаємного впливу між агентами соціальних спільнот.

Ключові слова: аналіз соціальних мереж, візуалізація графів, соціальний граф, соціальні мережі, програмні засоби.

Вступ

Аналіз соціальних мереж бере свій початок не тільки в соціальній науці, а й у широкій області мережевого аналізу та теорії графів. Мережевий аналіз пов'язаний з поданням і рішенням проблем мережевої структури та соціальних відносин всередині груп, що дозволяє розкривати неформальні зв'язки між членами групи. Це допомагає аналітично виявляти агентів взаємодії, інформаційні потоки, напрямки поширення знань та ідей, механізми прийняття рішень.

Метою даної роботи є дослідження існуючих програмних засобів для виявлення найбільш придатних з них для аналізу та візуалізації соціальних графових структур. Поставлена мета реалізується шляхом вирішення таких задач: дослідження параметрів аналізу соціальних графів; дослідження пристосованості програмних засобів до роботи з різними операційними системами; дослідження можливості застосування програмного забезпечення для аналізу великих соціальних мереж.

Основна частина

Теорія графів [1] надає набір абстрактних понять і методів для аналізу графів. У поєднанні з іншими аналітичними інструментами і методами, розробленими для візуалізації та аналізу соціальних (і інших) мереж, теорія графів утворює автоматизовані методи аналізу соціальних мереж. В аналізі задіяні не тільки індивідууми і їх атрибути, а також макроскопічні соціальні структури і відносини між окремими особами, групами або соціальними установами.

Вхідними даними для програмного аналізу соціальних мереж є соціальний граф, його вузли та ребра. Серед головних обчислювальних параметрів соціальних мереж, та соціальних спільнот зокрема, на яких зосереджено аналіз [2, 3] є щільність, середня відстань від однієї вершини до інших, діаметр соці-

альної мережі, ступінь центральності, модульність, індекс впливовості агентів.

Щільність – являє собою концентрацію зв'язків у соціальній мережі, і розраховується шляхом ділення числа спостережуваних відносин на загальну кількість можливих зв'язків у даній мережі. Щільність мережі можна розглядати як показник згуртованості. У більш щільній мережі інформація поширюється швидше, ніж у мережі з меншою кількістю зв'язків.

Діаметр соціальної мережі – найдовший шлях між вершинами в графі.

Ступінь центральності – це кількість послань, які ведуть до вузла або з вузла, у неорієнтованому графі ці послання ідентичні. Часто використовується як міра ступеня зв'язності вузла і впливає на популярність. Дослідження цієї властивості є корисним при оцінці того, які вузли є центральними щодо поширення інформації і як вони впливають на інші вузли в безпосередніх околицях.

Модульність – це оцінка ступеня розбиття графу на підграфи на основі порівняння між даними реального графу та моделі графу, побудованого випадковим чином з тим же самим очікуваним ступенем розподілу, що і в оригінальному графі.

За функціональними можливостями програми для роботи з соціальними графами можна поділити на 3 класи [4]: програми для аналізу; програми для візуалізації; комплексні (використовуються для аналізу і мають модуль візуалізації).

Мережеві аналітичні інструменти використовуються для подання вузлів (агентів) і ребер (відносин) в мережі, а також для аналізу мережі передачі даних. Як і в інших програмних засобах, дані можуть бути збережені в зовнішніх файлах. Інструменти для аналізу соціальних мереж дозволяють дослідникам аналізувати великі соціальні мережі, передачу вірусної інформації і т.д. Ці інструменти реалі-

зують математичні функції, які можуть бути застосовані до мережевої моделі.

Візуалізація соціальних мереж дозволяє наглядно представити мережеві дані і передавати результати аналізу. Багато програм для мережевого аналізу мають модулі для візуалізації. Дослідження даних здійснюється через відображення вузлів і зв'язків у різних компоновках, і кольорах, розмірі і додаткових установках вузлів. Типове представлення мережевих даних являє собою скомпонований соціальний граф (вузли та зв'язки). Це не дуже легко читатися і не дозволяє наочно інтерпретувати дані.

Програмне забезпечення для аналізу соціальних мереж використовується для ідентифікації, представлення, аналізу, візуалізації чи моделювання вузлів та відносин з різних типів вхідних даних (реляційних і не реляційних), включаючи математичні моделі соціальних мереж. Вихідні дані можна зберігати у зовнішніх файлах. Існують різні формати файлів вводу та виводу. Інструменти аналізу мережі дозволяють дослідникам аналізувати представлення мереж різного розміру – від малих (наприклад, сім'ї, команди проекту) до дуже великих (наприклад, Інтернет, передача хвороб). Більшість з програм аналізу соціальних графів надають різні інструменти математичних та статистичних процедур, які можна застосувати до моделей мереж.

Візуальні уявлення в соціальних мережах важливі для розуміння мережевих даних та передачі результатів аналізу. Візуалізація часто використовується як додатковий або автономний метод аналізу даних. Інструменти візуалізації даних аналізу мережі використовуються для зміни макета, кольорів, розміру та інших властивостей мережі.

Програми аналізу соціальних мереж поділяються за сферою застосування. Для науково-дослідних цілей зазвичай використовують, такі інструменти як UCINET [5], Pajek [6], ORA [7], пакет Statnet [8,9]. Для соціальних мереж, орієнтованих на бізнес, використовують iPoint [10], NetMiner [11], InFlow [12], NodeXL [13]. Для великих мереж з мільйонами вузлів найбільш придатні Sonamine або ORA [7]. Пакети з відкритим вихідним кодом з графічним інтерфейсом для Linux, Windows і Mac - це VisuaLyzер [14] для соціальних мереж або SocNetV [15].

UCINET – це програмний пакет для аналізу даних соціальної мережі. Він оснащений інструментом візуалізації NetDraw. Хоча абсолютний максимальний розмір мережі при аналізі становить близько 2 мільйонів вузлів, на практиці більшість процедур UCINET занадто повільні для запуску мереж, що перевищує приблизно 5000 вузлів. Однак це залежить від конкретного аналізу та роздільної здатності мережі. Наприклад, ступінь центральності може бути визначений в мережах десятків тисяч вузлів, і більшість теоретичних графіків працюють швидше, коли у вас дуже мало зв'язків, незалежно від того, скільки вузлів у вас є.

Pajek – програмний пакет для аналізу, візуалізації та макетування соціальних мереж.

Обчислює багато понять центральності: ступінь, проміжність, близькість. Має можливість підключення

додаткових компонент для аналізу. В пакеті передбачено функцію автоматичного відбір зразків графів та перегляд проміжних результатів аналізу. Передбачено модулі для аналізу мережі Facebook. Корисна інформаційна підтримка споживачів: навчальні посібники, лекції, книга.

ORA – це інструмент оцінки та аналізу динамічних мета-мереж. Він містить сотні функцій для обчислення динамічних мережевих показників, метрики стежок, процедури групування вузлів, визначення локальних шаблонів, порівняння та протиставлення мереж, груп та осіб з динамічної перспективи мета-мережі. Він може визначити основних гравців, групи та вразливості, модельні зміни в мережі протягом певного часу.

Statnet – це набір програмних пакетів для мережевого аналізу, які впроваджують останні досягнення в статистичному моделюванні мереж. Аналітична база побудована на експоненціальних сімейних моделях випадкових графів. Він забезпечує всеохоплюючу основу моделювання мереж на основі моделювання, включаючи інструменти для оцінки моделі, моделювання мережі та візуалізації мережі. Ця широка функціональність забезпечується алгоритмом центрального марковського ланцюжка Монте-Карло.

Statnet має інше призначення, ніж чудові пакети UCINET або Pajek; акцент робиться на статистичному моделюванні мережевих даних. Можливості статистичного моделювання Statnet включають моделі ERGM, латентний простір та приховані кластерні моделі.

iPoint – являє собою набір інструментів аналізу мереж з акцентом на ефективність, портативність та простоту використання. Він є відкритим вихідним кодом і безкоштовним, може бути запрограмований в R, Python і C / C ++.

NetMiner – програмний інструмент для дослідницького аналізу та візуалізації мережевих даних. Він дозволяє візуально та в інтерактивному режимі вивчати дані мережі та допомагає виявити основні моделі та структури мережі,

InFlow – інтегрований продукт, що виконує мережевий аналіз і візуалізацію мережі, але не передає файли між різними програмами, як інші інструменти. Це єдине популярне програмне забезпечення SNA / ONA, яке має доступне навчання. Пакет успішно застосовується для Team Building, знаходження спеціалістів, різноманітної робочої сили, дизайн організації, представлення дифузії інновацій, у слідчій журналістиці та управлінні знаннями. Також InFlow забезпечує легкий доступ до найпопулярніших мережевих показників.

NodeXL – це надбудова огляду мереж, виявлення та розвідки для MS Excel. Це безкоштовний та відкритий проект, який розширює знайомі таблиці та включає функції аналізу та візуалізації соціальних мереж. Пакет дозволяє відображати та аналізувати мережевий граф.

Sonamine – інтерактивний пакет аналізу та візуалізації соціальних даних, який надає змогу швидко генерувати оцінки мережі, які потім можуть бути

використані в прогнозованому моделюванні та завданнях машинного навчання. Sonamine – це масштабований програмний засіб, для мережевого аналізу рівня підприємства. Це пакетне середовище для запуску різних оцінок і вилучення графів.

VisuaLyzer – програмний пакет призначений для графічного відображення малих і середніх соціальних мереж. Дослідники можуть імпортувати свої дані з edgelist UCINET або edgearray, GraphML та інші формати в графічну мережу вузлів та послань, що їх зв'язують. VisuaLyzer надає дослідникам низку функцій аналізу мережі, таких як обчислення клік, розділів, спільнот, найкоротших шляхів, найближчих сусідів, ролей та посад.

SocNetV – це крос-платформенна, зручна для користування програма для аналізу та візуалізації соціальних мереж. За допомогою SocNetV можна моделювати соціальні графи, редагувати акторів та зв'язки, аналізу-

вати графіку та властивості соціальної мережі, створювати HTML-звіти та вставляти макети візуалізації у мережу. Підтримує стандартні графіки та показники мережної згуртованості, такі як щільність, діаметр, геодезичні та відстані, зв'язність, ексцентричність, коефіцієнт кластеризації, взаємність тощо.

Gephi – це провідне програмне забезпечення для візуалізації та дослідження всіх видів графів та мереж. Gephi має відкритий код і є безкоштовним. Аналіз досліджуваних даних: інтуїтивно-орієнтований аналіз за допомогою маніпуляцій мереж в режимі реального часу. Призначена для виявлення основних структур асоціацій між об'єктами. Має легке створення з'єднувачів соціальних даних для громадських організацій та мереж малого бізнесу.

Порівняння параметрів програм представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння параметрів аналітичних програмних засобів для соціальних мереж

Назва програми	Можливість візуалізації	Формат вхідних даних	Формат вихідних даних	Платформа	Ліцензія	Можливість аналізу	Застосування до великих мереж	Відкритий код	Оцінка впливовості агентів
UCINET	-	Багато форматів	Багато форматів	Windows	Умовновільна	+	-	-	-
Pajek	+	Багато форматів	Багато форматів	Мультиплатф.	Вільна	+	+	-	-
ORA	+	.csv	.csv	Windows	Вільна	+	-	-	-
Statnet	-	Багато форматів	Багато форматів	Мультиплатф.	Відкрита	+	-	-	-
iPoint	+	Тільки XML	XML, Flex	Мультиплатф.	Вільна	+	-	+	-
NetMiner	+	Багато форматів	Багато форматів	Windows	Платна	+	+	-	-
InFlow	+	.csv	Експорт даних	Windows	Платна	-	+	-	-
NodeXL	+	Багато форматів	Багато форматів	Windows	Вільна	-	-	-	-
Sonamine	-	Текстові файли	Текстові файли	Windows, Linux	Платна	+	+	-	-
VisuaLyzer	+	Списки графу	Списки графу	Мультиплатф.	Платна	-	+	+	-
SocNetV	+	Багато форматів	Багато форматів	Мультиплатф.	Вільна	+	+	+	-
Gephi	+	Багато форматів	.svg, .png, .gexf	Мультиплатф.	Відкрита	+	-	-	-

Висновки

Відповідно до даних таблиці видно, що більшість програмних засобів для аналізу є мультиплатформеними, або орієнтованими на роботу з операційною системою Windows різних версій.

Також слід зазначити, що більшість з програм, які мають широкі функціональні можливості є платними. Перевагою переважної більшості програм є великий спектр вхідних та вихідних форматів, не зважаючи на те, що найбільш популярним форматом для збереження даних про досліджувані графи є *.csv.

Зважаючи на всі переваги та недоліки розглянутих програм, можна зробити висновок, що найбільш придатними для аналізу великих графових

структур, таких як сучасні соціальні мережі є пакети програм Pajek, NetMiner, та SocNetV. Дані програмні засоби поєднують у собі функції статистичного та інтелектуального аналізу, мають широкі можливості візуалізації соціальних графів та підтримують більшість сучасних форматів вхідних та вихідних файлів. Крім того SocNetV має відкритий програмний код, що надає багато можливостей для аналізу, дослідження та модифікації існуючих алгоритмів.

Але в усьому сегменті подібних програмних засобів відсутній набір інструментів автоматичного визначення рівня впливовості агентів соціальної мережі або спільноти соціальної мережі на розповсюдження інформації та аналіз цієї самої інформації (контенту) на наявність психологічних загроз та пропаганди.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Thelwall M. Big Data and Social Web Research Methods / M. Thelwall. – Wolverhampton: University of Wolverhampton, 2014. – 142 с.
2. Skold M. Social Network Visualization : дис. канд. наук з соц. комун. / Skold M. – Stockholm, 2008. – 61 с.

3. Hanneman R. Introduction to Social Network Methods / R.A. Hanneman. – Riverside: University of California, 2005. – 149 с.
4. Ferrara E. Mining and Analysis of Online Social Networks. : дис. докт. фіз.-мат. наук / Ferrara Emilio – Messina, 2012. – 176 с.
5. Suerdem A. Introduction to Social Network Analysis with UCINET / Ahmet K. Suerdem. – London: London School of Economics. – 31 с.
6. Batagelj V. Pajek Program for Analysis and Visualization of Large Networks / V. Batagelj, A. Mrvar. – Ljubljana: PdlLaTex, 2011. – 98 с.
7. Carley K. ORA: A Toolkit for Dynamic Network Analysis and Visualization / Kathleen M. Carley. – Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2014. – 13 с.
8. A statnet Tutorial / [S. Goodreau, M. Handcock, D. Hunter та ін.] // Journal of Statistical Software / [S. Goodreau, M. Handcock, D. Hunter та ін.], 2008. – (Volume 24, Issue 9). – С. 1–26.
9. Wild F. Learning Analytics in R with SNA, LSA, and MPIA / F. Wild. – Oxford: Springer, 2016. – 275 с.
10. Vavruska M. MVE - 2 Visualization library / M. Vavruska, M. Frank., 2005. – 15 с
11. Huisman, M., Van Duijn, M.: Software for statistical analysis of social networks/ Van Dijkum C., Blasius, J. Kleijer H., Van Hilten B. - The Sixth International Conference on Logic and Methodology, Amsterdam, The Netherlands ,2004. - 21 с.
12. Liebowitz J. Linking social network analysis with the analytic hierarchy process for knowledge mapping in organizations / Jay Liebowitz // Journal of knowledge managemen / Jay Liebowitz. – Maryland: Emerald Group Publishing Limited, 2005. – С. 76–86.
13. Hansen D. Analyzing Social Media Networks: Learning by Doing with NodeXL / D. Hansen, B. Shneiderman, M. Smith. – Maryland, 2009. – 47 с.
14. Aigner M. Analysis of social networks with focus on ram exchange in four communities in the Ethiopian highland / Marina Aigner. – Wien: University for Natural Resources and Life Sciences, 2012. – 91 с.
15. Stamelos I. Social Networks Visualizer. Software Requirements Specification Version 1.0 / Ioannis Stamelos. – Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, 2012. – 38 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. А. Смірнов,
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький
Received (Надійшла) 28.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.09.2018

Исследование программных средств для анализа и визуализации социальных графовых структур

Д. В. Шингалов

Предметом изучения в статье является процесс анализа и визуализации социальных графов структур. **Целью** является исследование программных средств для анализа и визуализации социальных графовых структур. **Задача:** исследовать возможные платформы для построения социальных графов и их статистического анализа, сравнить их достоинства и недостатки, исследовать пригодность платформ для применения для больших наборов данных и целесообразность их использования для анализа социальных сетей. Получены следующие **результаты**. Исследованы наиболее популярные на рынке платформы для визуализации графовых структур. Осуществлен сравнительный анализ этих платформ с точки зрения наличия свободной лицензии на использование, их мультиплатформенности, многоформатности, а также возможности применения к большим социальным сетям и оценки влияния агентов, наличия открытого кода. **Выводы.** Основными преимуществами большинства программных средств является поддержка многих форматов, широкий спектр возможностей для математического и статистического анализа и условно свободная или свободная лицензия. Среди недостатков следует отметить, что не все платформы предназначены для работы в условиях больших динамических объемов данных, полученных из социальных сетей, также, к сожалению, во всех программных средствах вовсе отсутствует возможность оценки влияния агентов социальных отношений. Для решения данной проблемы необходимо создание программного обеспечения, которое бы анализировало информационные потоки и определяло степень влияния распространяемой информации, а также уровень взаимного влияния между агентами социальных сообществ.

Ключевые слова: анализ социальных сетей, визуализация графов, социальный граф, социальные сети, про-граммные средства.

Investigation of software for analysis and visualization of social graphic structures

D. Shynhalov

The **subject matter** of the article is the process of analysis and visualization of social graphs of structures. The **goal** is to explore software tools for analyzing and visualizing social graph structures. The **tasks** to be solved are: to explore modern platforms for constructing social graphs and their statistical analysis, compare their advantages and disadvantages, examine the suitability of platforms for application for large datasets and the expediency of their use for the analysis of social networks. The following **results** are obtained: The most popular platforms on visualization of graph structures are considered. A comparative analysis of these platforms has been conducted from the point of view of the availability of a free license to use, their multiplatform, multiformity, as well as the ability to apply to large social networks and assess the influence of agents, the availability of open source. **Conclusions.** The main advantages of most software are support for many formats, a wide range of possibilities for mathematical and statistical analysis and conditionally free or free license. Among the shortcomings, it should be noted that not all platforms are designed to operate in conditions of high dynamic volumes received from social networks, unfortunately, in all software tools, there is no way to assess the influence of agents of social relations. To solve this problem, it is necessary to create software that analyzes information flows and determines the degree of influence of distributed information, as well as the level of mutual influence between agents of social communities.

Keywords: analysis of social networks, visualization of graphs, social graph, social networks, programmatic means.

Д. М. Главчева, В. А. Яловега

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

КАПСУЛЬНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ

Предметом вивчення є історія становлення та розвиток теорії нейронних мереж, сучасні підходи до проблем розпізнавання та класифікації зображень. Особлива увага приділяється якісному огляду капсульних та згорткових нейронних мереж, принципів їх роботи та визначення основних відмінностей. **Метою** роботи є аналіз сучасного стану досліджень нейронних мереж та можливих перспектив розвитку цієї галузі. **Завдання:** проаналізувати історичний розвиток теорії нейронних мереж. Провести порівняння між типами нейронних мереж, що базуються на концепції глибокого навчання: згортковими та капсульними. **Методом проведення дослідження** є аналіз сучасної літератури та основних тенденцій розвитку глибокого навчання. **Результатами** проведеного дослідження є виявлення значущих відкриттів, що вплинули на розвиток нейронних мереж. Функціонування нейронних мереж базується на роботі нервової системи біологічних організмів. Зокрема, це принцип активності біологічного нейрону, ансамблі нейронів, виявлення «простих клітин» у зоровій корі мозку. На даний момент найбільший розвиток мають нейронні мережі, що засновані на концепції глибокого навчання, яка дозволяє багатопаровим обчислювальним моделям вивчати дані з кількома рівнями абстракції. Згорткові мережі, що використовують цю концепцію досягли значних успіхів у розпізнаванні зображень, відео та аудіо. Рекурентні мережі виявилися кращі у аналізі тексту та мови. Згорткові нейронні мережі мають низку недоліків, на яких наголошено у роботі. Капсульні нейронні мережі є вдосконаленням концепції згорткових нейронних мереж. В їх основі покладено «капсули», які призначені для виявлення характеристик об'єкта. Капсули як група нейронів характеризуються вектором активації. Запропонований відомими ученими векторний підхід дозволяє врахувати поворот та трансляцію об'єктів. Капсульні нейронні мережі потребують значно меншу навчальну вибірку, ніж згорткові. У **висновках** роботи визначаються основні перспективи розвитку теорії нейронних мереж, а також можливий стрімкий розвиток неконтрольованого навчання нейронних мереж. Наголошується на важливості критичного аналізу проблем нейронних мереж як вирішального фактору їх майбутнього розвитку.

Ключові слова: глибоке навчання, капсульні нейронні мережі, згорткові нейронні мережі.

Вступ

Постановка задачі. Протягом багатьох років людина намагається розгадати таємницю роботи свого мозку і створити високотехнологічні електронні пристрої, що здатні думати на рівні людського інтелекту. Людство ставить на меті автоматизування складних завдань, такі як розпізнавання та класифікація зображень, знаходження хворих кліток у організмі, відокремлення їх від здорових та інше. Для вирішення таких задач необхідно мати людський інтелект. Сучасні комп'ютери можуть швидко виконувати складні обчислення, які не під силу людині, проте задача розпізнавання та класифікації зображень є дуже складною для сучасних машин. Одним з перших результатів стала подія 1997 року, коли чемпіон світу з шахів Гаррі Каспаров зазнав поразки від комп'ютера IBM Deep Blue. Це викликало бурхливу хвилю росту досліджень у напрямку штучного інтелекту. Учених надихала видима простота мозку птахів та деяких комах у порівнянні зі складністю тих задач, які вони могли вирішити. Їх мозок демонстрував здатність керування польотом, вміння знаходити їжу, вирізняти хижаків та захищатися у небезпечних ситуаціях. Винахідників цікавило, чи зможуть комп'ютери з їх колосальними електронами ресурсами імітувати роботу мозку, не складнішого за мозок, наприклад, папуг [1]. Ідея проектування інтелектуальних обчислювальних пристроїв подібних до біологічних систем привела до створення теорії нейронних мереж, що побудована на основі організації та функціонування біологічних нейронних мереж.

Метою роботи є аналіз сучасного стану досліджень нейронних мереж та можливих перспектив розвитку цієї галузі.

Результати досліджень

1. Історичне становлення та розвиток теорії нейронних мереж. Перша спроба формалізації нейронної мережі у математичну модель була розроблена у класичній роботі В. Маккалоха та В. Піттса [2]. Модель нейрона відповідала принципу активності біологічного нейрону – «все або нічого». Дослідники показали, що мережа, складена з великої кількості елементарних одиниць, здатна виконувати складні обчислення. Наступним етапом у розвитку нейронних мереж став вихід у світ в 1949 році книги Хебба (Hebb) *The Organization of Behavior* («Організація поведінки»). Зокрема, Хебб припустив, що, у міру того, як організм навчається різним завданням, зв'язки в мозку постійно змінюються і при цьому формуються ансамблі нейронів (*neuron assembly*). Постулат навчання Хебба стверджує, що ефективність змінного синапсу між двома нейронами підвищується при багаторазовій активації нейронів через даний синапс. У [3] була змодельована теорія нейронів Хебба. Результати моделювання чітко показали, що для повноти теорії Хебба слід додати корекцію синаптичних вагових коефіцієнтів. Учений Аттлі продемонстрував, що нейронні мережі із змінними синапсами можна навчити класифікації найпростіших растрових зображень. Він ввів поняття і активації нейрона, яке було формально проаналізовано Кайанелло (Caianiello) в 1961 році [4].

У [5] стверджується, що адаптивна поведінка є не вродженою, а набутою, і за допомогою навчання можна поліпшити поведінку нейронної системи. У 1961 році була опублікована робота Мінського (Minsky), присвячена штучному інтелекту [6]. Вона

містила розділ, присвячений області, яка зараз називається теорією нейронних мереж.

Предметом окремого дослідження в контексті нейронних мереж є створення надійних мереж з нейронів. Це завдання було вирішене в 1956 році фон Нейманом за допомогою ідеї надмірності [7, 8]. У свій час Розенблатт (Rozenblatt) запропонував новий підхід до задачі розпізнавання образів, заснований на використанні перцептрона і нового методу навчання з учителем [9]. Головним досягненням цієї роботи була теорема збіжності перцептрона, перший доказ якої було отримано Розенблаттом у 1960 [10].

У 1982 Хопфілд використав функцію енергії для опису обчислень, виконуваних рекурентними мережами з симетричними синаптичними зв'язками [11]. У 1967 році Кован вів «сігмоїдальну» характеристику і гладку функцію активації для нейронів [12]. У 1986 році був розроблений алгоритм зворотного поширення помилки (back propagation algorithm) [13].

Згортова нейронна мережа (Convolutional neural network, CNN) була запропонована Яном Лекуном в 1988 році [14]. Її основна мета – ефективно розпізнавання зображень. Структура CNN не включає в себе зворотні зв'язки, тобто є односпрямованою та обов'язково багатопшаровою. До сьогоднішніх днів CNN досить добре справляються із своїм призначенням, проте мають цілий ряд недоліків, що призвело до створення теорії капсульної нейронної мережі (Capsule neural network, CapsNet) видатним британським ученим Джеффрі Хінтоном (G. Hinton) [15].

2. Основні недоліки згорткових нейронних мереж (ConvNet). Глибоке навчання [16] дозволяє обчислювальним моделям, що складається з декількох шарів, вивчати дані з кількома рівнями абстракції. Ці методи в останній час значно допомогли у розпізнаванні мови, візуальних об'єктів та класифікації зображень. Глибоке навчання використовує алгоритм зворотного поширення помилки, щоб вказати, як система повинна змінити свої внутрішні параметри, які використовуються для обчислення в кожному шарі для кращого розв'язку поставленої задачі. Згорткові нейронні мережі (convolution) привели до прориву в обробці відео, зображень [17] та аудіо, тоді як рекурентні мережі показали успіхи при аналізі послідовних даних (текст і мова). Основний практичний успіх згорткових нейронних мереж - це розпізнавання обличчя. Продуктивність систем розпізнавання на основі згорткових мереж викликала використання їх більшістю великих технологічних компаній, включаючи Google, Facebook, Microsoft, IBM, Yahoo!, Twitter і Adobe, а також швидко зростаюче число стартапів для початку досліджень і розробок проектів і розгортання продуктів для розпізнавання на основі згорткової мережі [16]. Справді, можна сказати, що CNN показують гарні результати та справляються із своїми задачами на досить високому рівні, але вони мають суттєві недоліки, на які наголошує Хінтон [17].

Під час проектування логіки та архітектури згорткових нейронних мереж дослідники враховували особливості зорової кори, в якій були відкриті так звані прості клітини, що реагують на прямі лінії під різними кутами, і складні клітини, реакція яких пов'язана з

активацією певного набору простих клітин. Виходячи з цього, у CNN впроваджено чергування згорткових шарів і шарів pooling. Для навчання такої мережі найчастіше використовується метод зворотного поширення помилки, а функція активації – ReLU.

Однією з проблем згорткових нейронних мереж є наявність шару max pooling. Його основне призначення – зменшити розмірність матриць попереднього шару, не враховуючи деталі зображення, а звертаючи увагу тільки на ті дані, що дають найбільший внесок у розпізнаванні зображення. Якщо у зображенні наявні деякі характеристики як, наприклад, в обличчі людини є ніс, рот та очі, то незалежно від їх просторового розміщення, результат згорткової нейронної мереж залишиться незмінним. Мережа може помилково ідентифікувати обличчя, якщо характеристики (ніс, рот, очі) будуть розташовані у неправильному положенні відносно один одного. Шар max pooling можна не використовувати при проектуванні ConvNet, але все одно CNN не здатна враховувати трансляцію (translation) з поворотом (rotation). Такі серйозні проблеми призводять до того, що згорткову нейронну мережу необхідно навчати на великій кількості тренувальних даних, щоб вона мала здатність вирізняти одне й те ж саме зображення, повернуте на декілька градусів або трансльоване на відповідну величину. З іншого боку, наявність великої кількості змінних параметрів призводить до зменшення гнучкості CNN та їх використання тільки для дуже вузького класу задач. До параметрів, що можуть змінюватися можна віднести: кількість шарів, розмірність ядра згортки для кожного з шарів, кількість ядер для кожного з шарів, крок зсуву ядра при обробці шару, передавальну функцію нейронів. Всі ці параметри істотно впливають на результат та вибираються дослідниками емпірично.

3. Капсульні нейронні мережі (CapsNet) як вдосконалення ConvNet. Капсульні нейронні мережі спрямовані на усунення слабкості сучасних систем машинного навчання. Програмне забезпечення для розпізнавання зображень, яке сьогодні використовується, вимагає великої кількості прикладів зображень, щоб навчитися надійно розпізнавати об'єкти. Це пов'язано з тим, що відомі алгоритми майже не узагальнюють те, що вивчають.

Для врахування різних ракурсів, ієрархію простих та складних об'єктів у просторі, аналізу розташування елементів у зображенні була запропонована архітектура капсульних нейронних мереж. Такі мережі намагаються врахувати не тільки наявність необхідних характеристик у досліджуваному об'єкті, а й їх відносні координати. Це дозволяє більш чітко і точно класифікувати зображення та запроваджує інваріантність стосовно переміщення об'єкту в просторі.

Дослідження Хінтона [15] присвячено формалізації та ведення у нейронній мережі такого поняття як «капсули». Пропонується використовувати векторний підхід. У роботі автори визначають, що «капсула» - це група нейронів, вектор активації яких представляє параметри об'єкта або його частини. Вони призначені для відстеження різних частин об'єкта і їх положень у просторі. Використовується довжина ве-

ктора активності для представлення ймовірності існування характеристики (feature) та її орієнтації. Активні капсули на одному рівні роблять передбачення через матриці трансформації для параметрів капсул більш високого рівня. Коли кілька прогнозів співпадають, капсула більш високого рівня стає активною.

Капсули кодують ймовірність виявлення об'єкта як нормовану довжину вихідного вектора. Коли знайдений об'єкт рухається по зображенню, ймовірність його виявлення залишається незмінною (довжина вектора не змінюється), але змінюється орієнтація вектора. Нехай капсула визначила обличчя людини на зображенні і виводить 3D-вектор довжиною, наприклад, 0,96. При переміщенні частини тіла по зображенню вектор буде обертатися у своєму просторі, представляючи як змінюється положення обличчя, але його довжина залишиться фіксованою, тому що капсула знає, що вже виявила обличчя. Хінтон це називає еквіваріантністю діяльності нейронів: ймовірності виявлення об'єкта залишаються незмінними при зміні його положення.

Штучний нейрон (artificial neuron) описується такими характеристиками: скалярне зважування вхідних скалярів; сума зважених вхідних скалярів; скалярна нелінійність. З іншого боку, капсулу характеризують як векторне представлення нейронів: матричне множення вхідних векторів; скалярне зважування вхідних векторів; сума зважених векторів вхідних даних; векторна нелінійність.

Матричне множення вхідних векторів представляє собою операцію, в якій вхідні вектори перемножуються на матриці вагових коефіцієнтів. Такі матриці встановлюють зв'язок між характеристиками об'єкта нижнього рівня (очі, рот і ніс) і характеристикою вищого рівня (обличчя). Наприклад, може встановлюватися зв'язок між носом і обличчям: розмір носа менше розміру обличчя та знаходиться посередині. Отримані вектори представляють, де обличчя повинно знаходитись відповідно до виявлених положень очей, носу та рота. Скалярне зважування вхідних векторів відбувається за допомогою алгоритму «динамічної маршрутизації», описаного у [15]. Капсула нижчого рівня повинна «вирішити», до якої капсули вищого рівня відправляти свій результат детектування деякої характеристики досліджуваного об'єкта. Таке рішення вона приймає, після регулювання вагових коефіцієнтів, які будуть перемножуватися для формування результату, що отримує капсула вищого рівня як вхідні дані. Алгоритм «динамічної маршрутизації» між капсулами допомагає відрегулювати вагові коефіцієнти так, щоб капсулі вищого рівня передати більше «правильної» інформації, враховуючи дані, що були передані від інших капсул ниж-

чого рівня. Векторна нелінійність являє собою операцію яка нормує отриманий вектор так, щоб його довжина була не більше одиниці, при цьому напрямком вектора залишається незмінним:

$$\mathbf{v}_j = \frac{\|s_j\|^2 s_j}{1 + \|s_j\|^2 \|s_j\|},$$

де s_j – зважений вектор капсули.

У [15] показується, що дискриміновано навчена багатощарова система капсул є найпродуктивнішою в MNIST і результати значно кращі, ніж у згорткової нейромережі при розпізнаванні цифр.

Висновки

Аналізуючи історію створення та становлення нейронних мереж, можна сказати, що людство намагається створити високоінтелектуальні обчислювальні пристрої, подібні до біологічних систем, адже навіть проста біологічна система здатна виконувати широкий спектр складних задач.

Теорія нейронних мереж є результатом плідної праці багатьох науковців. Ідеї щодо ансамблів нейронів, синаптичних вагових коефіцієнтів, теорема збіжності та алгоритм зворотного поширення помилки стали поштовхом до створення концепції глибокого навчання. У рамках цієї концепції найбільшого поширення отримали згорткові, рекурентні та капсульні нейронні мережі.

Інтерес до глибокого навчання істотно зріс після успіхів CNN. Цей тип нейронних мереж досяг прориву у розпізнаванні зображень, проте має певні недоліки, зокрема потребують велику вибірку для навчання та не враховуються взаємного розташування об'єктів, які були враховані при розробці ідеї капсульних нейронних мереж, що стала наступним кроком у теорії нейронних мереж і нині активно досліджується та вдосконалюється.

Ідея капсульних нейронних мереж показує ще перші, проте кращі результати при розпізнаванні цифр у зображеннях, а векторний підхід надає можливості аналізу характеристик зображень при їх повороті та трансляції. Ще однією перевагою капсульних нейронних мереж є зменшення кількості даних для тренування мережі. У майбутньому можна очікувати великий розвиток неконтрольованого навчання нейромереж, бо навчання людей і тварин в значній мірі неконтрольовано: ми отримуємо знання про навколишній світ, спостерігаючи його, а не повідомляючи завчасно властивості кожного об'єкта. З іншого боку, критичний аналіз проблем сучасних нейронних мереж стимулює пошук нових теорій та підходів, які будуть здатні якісно та точно вирішувати надскладні задачі розпізнавання та класифікації зображень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rashid T. Make your own neural network. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.
2. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity/ W. S. McCulloch//The bulletin of mathematical biophysics. – 1943. – V. 5. – No. 4. – P. 115-133.
3. Rochester N., J.R. Holland, L.R. Haibt and W.L. Duda. Tests on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer/ N. Rochester//IRE Transactions on Information Theory. – 1956. - V. IT-2. - P. 80-93.
4. Caianiello E.R. Outline of a theory of thought-processes and thinking machines //J.Theor.Biology. – 1961. – V. 1. - P. 204-235.
5. Anderson J.A., Pellionisz A. eds. Neurocomputing 2: Directions for Research, Cambridge, MA: MIT Press, 1990.
6. Minsky M.L. and S.A. Papert. Perceptrons, expanded edition, Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

7. Bryson A.E., Jr. and Y.C. Ho. Applied Optimal Control, Blaisdell, 1969. (Second Edition, 1975, Hemisphere publishing, Washington, OC).
8. von Neumann J., Shannon C.E., McCarthy J. eds. Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components, in Automata Studies/ J. von Neumann/Princeton, NJ: Princeton University Press. -1956. - P. 43-98.
9. Rosenblatt F. The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain/ F. Rosenblatt//Psychological Review. - 1958, V. 65. - P. – 386-408.
10. Rosenblatt F. On the convergence of reinforcement procedures in simple perceptions/ F. Rosenblatt//Comell Aeronautical Laboratory Report. – 1960. – VG - 1196 - GA.
11. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities/ J. J. Hopfield//Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. – 1982. - V. 79. - P. – 2554-2558.
12. Cowan J.D. A Mathematical Theory of Central Nervous Activity. Ph.D. Thesis, University of London, 1967.
13. Rumelhart O.E., G.E. Hinton and R.J. Williams. Leaning representations of back-propagation errors/ O.E. Rumelhart//Nature (London). – 1986. - V. 323. - P. – 533-536.
14. LeCun Y. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition // Neural computation. – 1989. – V. 1, No. 4. – P. 541-551.
15. Sabour S., Frosst N., Hinton G. E. Dynamic routing between capsules/ S. Sabour, N. Frosst, G. E. Hinton//Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – P. 3856-3866.
16. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. – 2015. – V. 521, No 7553. – P. 436 – 444.
17. Tzeng E., Yang M., Ranzato, M. Deepface: closing the gap to human-level performance in face verification // Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1701–1708 (2014).

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Вишневський,
Державний університет телекомунікацій, Київ
Received (Надійшла) 22.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.09.2018

Капсульные нейронные сети

Д. М. Главчева В. А. Яловега

Предметом изучения является история становления и развития теории нейронных сетей, современные подходы к проблемам распознавания и классификации изображений. Особое внимание уделяется качественному анализу капсульных и сверточных нейронных сетей, принципов их работы и определение основных различий. **Целью** работы является анализ современного состояния исследований нейронных сетей и возможных перспектив развития этой отрасли. **Задача:** проанализировать историческое развитие теории нейронных сетей. Провести сравнение между типами нейронных сетей, базирующихся на концепции глубокого обучения: сверточными и капсульными. **Методом** проведения исследования является анализ современной литературы и основных тенденций развития глубокого обучения. **Результатами** проведенного исследования является выявление значимых открытий, повлиявших на развитие нейронных сетей. Функционирование нейронных сетей базируется на работе нервной системы биологических организмов. В частности, это принцип активности биологического нейрона, ансамбли нейронов, выявление «простых клеток» в зрительной коре мозга. На данный момент наибольшее развитие имеют нейронные сети, основанные на концепции глубокого обучения, которая позволяет многослойным вычислительным моделям изучать данные с несколькими уровнями абстракции. Сверточные сети, используя эту концепцию достигли значительных успехов в распознавании изображений, видео и аудио. Рекуррентные сети проявили себя в анализе текста и языка. Сверточные нейронные сети имеют ряд недостатков, на которые указано в работе. Капсульные нейронные сети являются усовершенствованием концепции сверточных нейронных сетей. В их основе положен «капсулы», которые предназначены для выявления характеристик объекта. Капсулы как группа нейронов характеризуются вектором активации. Предложенный учеными векторный подход позволяет учесть поворот и трансляцию объектов. Капсульные нейронные сети требуют значительно меньшую обучающую выборку, чем сверточные. В **выводах** работы определяются основные перспективы развития теории нейронных сетей, а также возможность стремительного развития неконтролируемого обучения нейронных сетей. Отмечается важность критического анализа проблем нейронных сетей как решающего фактора их будущего развития.

Ключевые слова: глубокое обучение, капсульные нейронные сети, сверточные нейронные сети.

Capsule neural networks

D. Hlavcheva V. Yaloveha

The subject of study is the history of the formation and development of the theory of neural networks, modern approaches to the problems of recognition and classification of images. Particular attention is paid to the qualitative review of capsular and convolutional neural networks, the principles of their work and the identification of the main differences. **The aim** of the work is to analyze the current state of neural network research and possible prospects for the development of this industry. **Objective:** to analyze the historical development of the theory of neural networks. Conduct a comparison between types of neural networks based on the concept of deep learning: convolutional and capsule. **The method of conducting** the research is an analysis of modern literature and the main trends of the development of deep learning. **The results** of the study are the discovery of significant openings that have influenced the development of neural networks. Functioning of neural networks is based on the work of the nervous system of biological organisms. In particular, this is the principle of the activity of the biological neuron, ensembles of neurons, the discovery of "simple cells" in the visual cortex of the brain. Currently, neural networks based on the concept of deep learning, which allows multi-layer computing models to study data with several levels of abstraction, are the most developed. Convolutional networks that use this concept have achieved significant success in recognizing images, videos and audio. Recurrent networks have appeared in the analysis of text and language. Convolutional Neural Networks have a number of shortcomings that are highlighted in the work. Capsule neural networks are an improvement in the concept of convolutional neural networks. They are based on "capsules", which are intended to detect the characteristics of the object. Capsules as a group of neurons are characterized by an activation vector. The vector approach proposed by researchers allows taking into account the rotation and translation of objects. Capsule neural networks require a much smaller training sample than convolutional. **The conclusions** of the work determine the main prospects for the development of the theory of neural networks, as well as the possible rapid development of uncontrolled training of neural networks. It is emphasized the importance of critical analysis of the problems of neural networks as a decisive factor for their future development.

Keywords: deep learning, capsule neural networks, convolutional neural networks.

Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецький, Я. Е. Небесна

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

Мета статті – обґрунтування можливості використання теорії множин для моделювання об'єктів зі змінною структурою для уточнення кількісної оцінки значень показників надійності з врахуванням часу роботи окремих частин. **Результати.** У статті запропонований підхід до аналізу структур радіоелектронних засобів, що відрізняються багатофункціональністю та багаторежимністю, тобто змінюють структуру під час використання за призначенням, із застосування математичного апарату теорії множин. Це дозволяє в подальшому кількісно оцінити значення показників надійності (наробітку на відмову та середнього часу відновлення) залежно від порядку взаємодії підмножин елементів та їх потужності. **Висновки.** Врахування властивості багаторежимності засобів спеціального зв'язку з впровадженням теоретико-множинної моделі їх структури дозволяє точніше кількісно оцінити значення показників надійності. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки математичної моделі і методів оцінки надійності багаторежимних засобів та систем спеціального зв'язку зі змінною структурою. Подальші дослідження слід направляти на формалізацію процесу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

Ключові слова: об'єкт зі змінною структурою, теоретико-множинна модель, багаторежимність.

Вступ

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних публікаціях з теорії надійності складних технічних об'єктів відмічається, що є необхідність наукового аналізу технічних структур, конфігурація яких змінюється під час використання цих об'єктів за призначенням. Показано, що в даний час відсутні не тільки практичні, але і теоретичні методи розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватись випадковим чином або в заданій послідовності через визначений інтервал часу. Причому, зміна структури завжди відбувається в залежності від зміни виконуваних системою функцій [1-5].

В [1] розглянуто особливості розрахунку надійності об'єктів з врахуванням часу зберігання та використання за призначенням, причому інтенсивність відмов елементів під час зберігання в порівнянні з роботою зменшується в 10...100 разів. В інших роботах [3, 4] основна увага приділяється дослідженню надійності об'єктів з резервуванням.

Окремо в [6, 7] розглянуто вплив зміни структури об'єктів на ефективність їх діагностування.

Мета статті – обґрунтування можливості використання теорії множин для моделювання об'єктів зі змінною структурою для уточнення кількісної оцінки значень показників надійності з врахуванням часу роботи окремих частин.

Виклад основного матеріалу

Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і

транспортування. Розширення умов експлуатації, підвищення відповідальності виконуваних радіоелектронними засобами (РЕЗ) функцій, їх ускладнення приводить до підвищення вимог до надійності виробів [8].

Надійність є складною властивістю і формується такими складовими, як безвідмовність, довговічність, відновлюваність та здатність виробу безупинно зберігати працездатний стан протягом заданого часу. Тому найбільш важливим у забезпеченні надійності РЕЗ є підвищення їх безвідмовності [1, 3, 4].

Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами «життєвого циклу» РЕЗ від зародження ідеї створення до списання: під час розрахунку та проектуванні виробу його надійність закладається в проект, при виготовленні надійність забезпечується, а при експлуатації – реалізується [3]. Тому проблема надійності – комплексна проблема і вирішувати її необхідно на всіх етапах і різними засобами. На етапі проектування виробу визначається його структура, проводиться вибір або розробка елементної бази, тому тут є найбільші можливості забезпечення необхідного рівня надійності РЕЗ. Основним методом вирішення цього завдання є розрахунки значень показників надійності (в першу чергу – безвідмовності), залежно від структури об'єкту і характеристик його складних частин, з подальшою корекцією проекту при необхідності.

При аналізі надійності складних систем їх розбивають на елементи (компоненти) з тим, щоб спочатку розглянути параметри і характеристики елементів, потім оцінити працездатність всієї системи. Під елементом, точніше кажучи, елементом розрахунку надійності розуміють складову частину складної системи, яка може характеризуватися само-

стійними вхідними і вихідними параметрами. При дослідженні надійності системи її елементи не розчленовуються на складові частини, а показники безвідмовності і довговічності відносяться до елемента в цілому. При цьому можливе відновлення працездатності елемента незалежно від інших частин і елементів системи [1-4].

Аналіз надійності складних систем має специфічні особливості. Різні відмови, а також зниження працездатності елементів системи по-різному впливають на надійність всієї системи. Тому з точки зору надійності розгляду та аналізу підлягають лише елементи, відмова яких призводить до відмови системи. Ці елементи і підсистеми виявляються при розгляді структурної надійності.

Структурною надійністю системи (пристрою) називається результуюча надійність системи (пристрою) при заданій її структурі і відомих значеннях надійності всіх вхідних в неї частин (блоків, вузлів, компонентів і т.д., тобто конструктивів)[9].

Моделі надійності встановлюють зв'язок між підсистемами (або елементами системи) та їх впливом на роботу всієї системи.

Дослідження структури дозволяє виявити вузькі місця в конструкції системи з погляду її надійності, а на етапі проектування – розробити конструктивні заходи щодо усунення подібних вузьких місць. Наприклад, можна заздалегідь підрахувати, скільки резервних елементів необхідно для забезпечення заданого рівня надійності системи. Далі можна розрахувати надійність системи, побудованої з елементів з відомою надійністю, або навпаки, виходячи з вимоги до надійності системи, пред'явити вимоги до надійності елементів [1,3,4].

Засоби спеціального зв'язку (ЗСЗ) є окремим видом РЕЗ, до яких ставлять підвищені вимоги щодо надійності. Вони відрізняються властивостями багатofункціональності, багаторежимності і наявністю кількох інформаційних виходів, тобто відносяться до об'єктів зі змінною структурою (рис. 1), надійність яких залежить від їх надлишковості і часу роботи в окремих режимах [3].



Рис. 1. Класифікація об'єктів зі змінною структурою

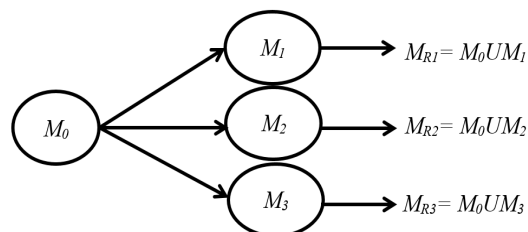
Багатofункціональність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності задовольнити різні потреби користувача [6].

Багаторежимність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності виконання покладених на нього функцій за рахунок використання різних сукупностей функціональних елементів, або зміни їх властивостей[6].

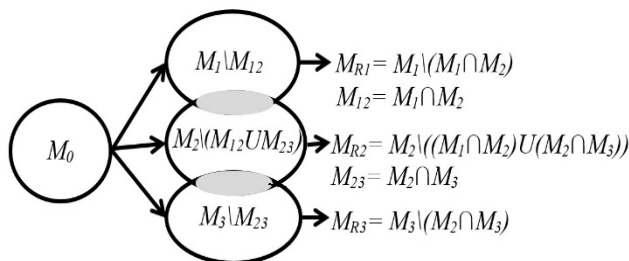
Надлишковість – додаткові засоби й можливості більш ніж необхідні для виконання об'єктом заданих функцій. Розрізняють конструктивну, часову, інформаційну, структурну і функціональну види надлишковості, що присутні в РЕЗ різного призначення і в ЗСЗ також [1].

В [6, 7] розглянуто різноманітні структури об'єктів з точки зору їх відновлення, а не оцінки надійності, з використанням математичного апарату теорії множин [10]. Аналіз теоретико-множинних моделей об'єктів показує, що їх надійність максимальна при мінімальній потужності елементів, що використовують під час роботи, і навпаки.

Якщо багаторежимний об'єкт має ядро, елементи якого працюють в усіх режимах роботи, (наприклад, підсистема електроживлення), то можливі варіанти без перетину або з перетином підмножин елементів в R_i режиму роботи (рис.2), що відповідає, наприклад, радіопередавачу, радіоприймачу, радіостанції при різноманітних режимах роботи.



Багаторежимний об'єкт без перетину підмножин елементів



Багаторежимний об'єкт з перетином підмножин елементів

Рис. 2. Теоретико-множинні моделі багаторежимних об'єктів з ядром і довільною зміною режимів роботи

При послідовній зміні режимів потужність підмножин елементів, які використовують, поступово збільшується, при цьому надійність виробу зменшується (рис.3). Це має місце, наприклад, в підсистемах управління функціонуванням радіопередавачів великої потужності.

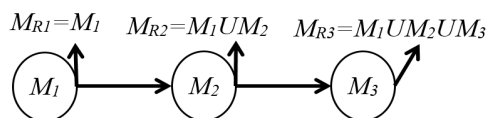
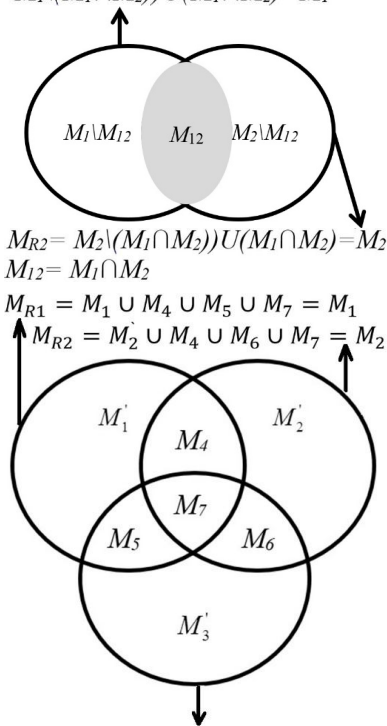


Рис. 3. Теоретико-множинна модель об'єкту з послідовною зміною режимів

При цьому послідовно включається ввід, охолодження, зміщення і висока напруга. В кожному режимі використовують всі елементи, підключені раніше. Таким чином, їх загальна кількість поступово збільшується. При знаходженні радіопередавача в гарячому резерві на випадок передачі найважливіх повідомлень висока напруга включається дистанційно. Тобто, елементи підсистеми працюють різний час, що при традиційній оцінці надійності не враховують.

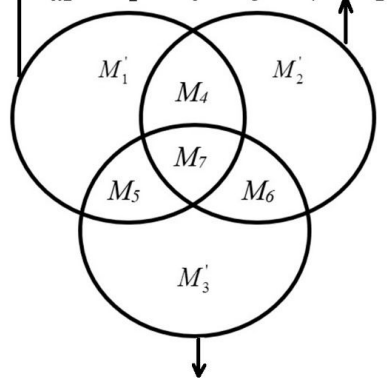
Приклади без'ядерних теоретико-множинних моделей об'єктів приведено на рис. 4, де можлива довільна або фіксована зміна режимів роботи:

$$\begin{aligned} M_1^{\wedge} &= M_1 \setminus ((M_1 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_2^{\wedge} &= M_2 \setminus ((M_1 \cap M_2) \cup (M_3 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_3^{\wedge} &= M_3 \setminus ((M_2 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_3) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i); \\ M_{R1} &= M_1 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_1 \cap M_2) = M_1 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_{R2} &= M_2 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_1 \cap M_2) = M_2 \\ M_{12} &= M_1 \cap M_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{R1} &= M_1 \cup M_4 \cup M_5 \cup M_7 = M_1 \\ M_{R2} &= M_2 \cup M_4 \cup M_6 \cup M_7 = M_2 \end{aligned}$$



$$M_{R3} = M_3 \setminus (M_5 \cup M_6 \cup M_7) \cup M_5 \cup M_6 \cup M_7 = M_3$$

Рис. 4. Приклади теоретико-множинних моделей об'єктів без ядер з довільною змінною режимів роботи

Якщо в цих випадках також використовують послідовні зміни режимів роботи об'єкту, то отримаємо теоретико-множинну модель виду рис. 5.

Приведені приклади теоретико-множинних моделей об'єктів дозволяють кількісно оцінити потужності підмножин елементів, що використовують в різних режимах роботи, для подальшої кількісної оцінки показників надійності залежно від структури об'єкта і порядку зміни режимів роботи.

Розглянемо можливість використання отриманих результатів на прикладі оцінки показників надійності радіостанції, яка працює в режимах прийому або передачі, причому в якості ядра використовують блок електроживлення, генератор сигналів і антену, які працюють у всіх режимах роботи (T_{p1}).

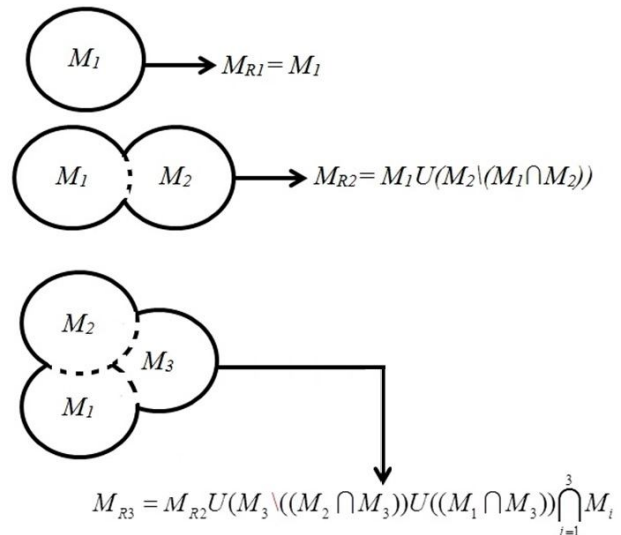


Рис. 5. Теоретико-множинна модель об'єкту без ядра з послідовною змінною режимів роботи

Порядок зміни режимів довільний, але відомо, що час роботи в режимі «прийом» (T_{p2}) набагато більше, ніж в режимі «передача» (T_{p3}) (рис. 6).

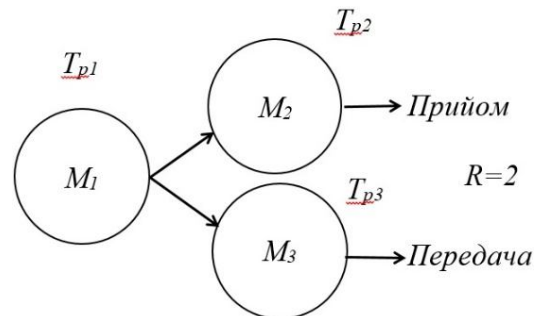


Рис. 6. Теоретико-множинна модель радіостанції

За відомими методиками [1-4] виходячи із потужності підмножин елементів отримано їх параметр потоку відмов Z_i ($i \in \{1, 2, 3\}$), а із призначення радіостанції відомо час роботи у кожному режимі, причому $T_{p1} = T_{p2} + T_{p3}$.

Тоді коефіцієнт використання кожної підмножини елементів дорівнює:

$$U_1 = \frac{T_{p1}}{T_{p2} + T_{p3}}; U_2 = \frac{T_{p2}}{T_{p2} + T_{p3}}; U_3 = \frac{T_{p3}}{T_{p2} + T_{p3}}$$

Наробіток на відмову елементів кожної підмножини визначається параметром потоку відмов [8], що дозволяє оцінити загальну кількість відмов виробу і його наробіток на відмову в цілому залежно від значення коефіцієнту використання кожних підмножин елементів U_i .

Діагностування радіостанцій доцільно виконувати в порядку зменшення потужностей підмножин елементів з використанням умовних алгоритмів пошуку дефектів [6, 7].

Після визначення наробітку на відмову T і середнього часу відновлення T_v можливо кількісно оцінити значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності [8]: $A = T / (T + T_v)$.

Тобто, використання теоретико-множинної моделі надійності засобів спеціального зв'язку

дозволяє аналізувати їх структуру в можливих режимах роботи і в подальшому точніше кількісно оцінювати значення показників надійності з врахуванням коефіцієнтів використання окремих підмножин елементів виробу.

Висновки

1. Врахування властивості багаторежимності ЗСЗ з впровадженням теоретико-множинної моделі

їх структури дозволяє точніше кількісно оцінити значення показників надійності.

2. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки математичної моделі і методів оцінки надійності багаторежимних засобів та систем спеціального зв'язку зі змінною структурою.

3. Подальші дослідження слід направляти на формалізацію процесу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі зміною структурою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высш.шк. / 2003. – 463 с.
2. Хабаров Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 376 с.
3. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704 с.
4. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочий, С.Ю. Лозинський та інші – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2013. – 300 с.
5. Сакович Л.М. Оцінка надійності технічних об'єктів зі змінною структурою / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна // XX всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доповідей. – Житомир, ЖВІ ім. С.П. Корольова, 2018, С. 201-203.
6. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / С.П. Ксенз, А.А. Вольнский, Л.Н. Сакович и другие. – Л.: ВАС, 1990. – 336 с.
7. Ксенз С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления, связи и навигации / С.П. Ксенз, Н.И. Полтаржицкий, С.П. Алексеев, В.В. Минеев. – СПб.: ВАС, 2010. – 240 с.
8. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 89 с.
9. Гнатюк С.Є. Показники надійності систем спеціального зв'язку // С.Є. Гнатюк, Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації // Зб. наук. праць. Вип. 1(25). – К.: Держспецзв'язок, 2014. – С. 73-79.
10. Берд Дж. Инженерная математика. / Дж. Берд. 2008.– 546 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Козловський,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

Received (Надійшла) 22.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Теоретико-множественные модели объектов с переменной структурой

Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецкий, Я. Э. Небесная

Цель статьи - обоснование возможности использования теории множеств для моделирования объектов с переменной структурой для уточнения количественной оценки значений показателей надежности с учетом времени работы отдельных частей. **Результаты.** В статье предложено для анализа структур многорежимных объектов использовать их теоретико-множественные модели, что позволяет упорядочить процесс количественной оценки значений показателей надежности объектов в целом. В известных работах такой подход не использован. Приведены конкретные примеры моделирования многорежимных технических объектов и показаны направления использования полученных результатов. **Выводы.** Учет свойства многорежимности средств специальной связи с использованием теоретико-множественной модели их структуры позволяет точнее количественно оценить значения показателей надежности. Полученные результаты целесообразно использовать при разработке математической модели и методов оценки надежности многорежимных средств и систем специальной связи с переменной структурой. Дальнейшие исследования следует направлять на формализацию процесса количественной оценки показателей надежности объектов с изменением структурой.

Ключевые слова: теоретико-множественная модель, многорежимность, объект со сменной структурой.

Set-theoretic models of objects with variable structure

L. Sakovich, G. Krykhovetskyi, Y. Nebesna

The purpose of the paper is to substantiate the possibility of using the theory of sets for modeling objects with a variable structure to specify the quantitative assessment of the values of reliability indicators, taking into account the working time of individual parts. Results. In the article it is proposed to use the set-theoretic models to analyze the structures of multi-mode objects, which makes it possible to streamline the process of quantitative estimation of the values of reliability indicators of objects as a whole. In known works this approach has not been used. Specific examples of simulation of multi-mode technical objects are given and directions of using the obtained results are shown. Conclusions Taking into account the properties of multi-mode means of a special connection with the introduction of the theoretical-plural model of their structure allows to more accurately quantify the values of reliability indicators. The obtained results should be used when developing a mathematical model and methods for assessing the reliability of multimode and special communication systems with variable structure. Further research should be directed to the formalization of the process of quantitative assessment of reliability of objects with a change in structure.

Keywords: set-theoretic model, multi-mode, object with replaceable structure.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артеменко А. М.	50	Кононова О. А.	38	Павленко Т. П.	65
Борозенець І. О.	24	Корнієнко Л. Г.	50	Петренко О. М.	65
Васильченко А. А.	74	Коршець О. А.	3	Пономаренко Р. П.	74
Гадецька С. В.	69	Краснов Л. О.	79	Рисований О. М.	111
Главчева Д. М.	132	Криховецький Г. Я.	136	Рубан І. В.	13
Горобець Ю. О.	8	Куравська Н. М.	38	Сакович Л. М.	136
Гороховатський В. О.	74	Лукашова Н. П.	65	Соломоненко Ю. С.	13
Гришманов Є. О.	20	Любарський Б. Г.	65	Сторчак В. С.	29
Данилов Ю. А.	55	Маковейчук О. М.	13	Тимочко О. О.	33
Денисенко О. В.	60	Манько К. П.	74	Хижняк І. А.	13
Дергачов К. Ю.	79	Мелешко Є. В.	92	Худов В. Г.	13
Дмитрієв О. М.	24	Могілатенко А. С.	55	Худов Г. В.	13
Дубницький В. Ю.	69	Моміт О. С.	8	Челядін О. А.	79
Єфремов О. В.	3	Морозов О. О.	98	Чернова Л. С.	115
Животовський Р. М.	8	Морозова О. І.	102	Черток О. А.	55
Зуєв А. О.	87	Мусаїрова Ю. Д.	44	Шило С. Г.	24
Караман Д. Г.	87	Небесна Я. Е.	136	Шингалов Д. В.	128
Карлов В. Д.	50	Несміян О. Ю.	106	Яловега В. А.	132
Кононов Б. Т.	38, 44	Павленко М. А.	24, 106		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 5 (51)

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. Льїна*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 17,5. Тираж 150 прим. Зам. 1030-18

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
 Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано 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