



Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

4(44)'2017

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:

k\_ozelk\_ov\_ae@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 (канд. 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 (канд. 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 Джонас (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)

##### Відповідальний секретар:

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

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

Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar

Затверджений до друку Вченою радою Полтавського національного технічного університету  
імені Юрія Кондратюка (протокол № 15 від 16 червня 2017 року)

Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати  
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук”, затвердженого  
наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54

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

## З М І С Т

### ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Бориц О.Б., Бориц В.В.</i> Оцінка впливу різних факторів на тепловологісний стан огорожувальної конструкції при автоматичному керуванні параметрами мікроклімату теплиці .....	3
<i>Гонтар М.М., Нелюба Д.М.</i> Розробка контролера для оберненого маятника на базі методу наближеної лінеаризації .....	7
<i>Dorohobid V.P., Borozdin M.K., Ahmed Alzubaydy.</i> Design, implementation and test a model of an electrical elevator controlled using PLC .....	11
<i>Єрмілова Н.В., Калов С.І.</i> Порівняння та вибір високовольтних перетворювачів частоти для електроприводів бурових установок .....	14
<i>Лимаренко В.В., Хавина І.П., Рысованый А.Н.</i> Постановка и решение задачи параметрической оптимизации операций резания металлов .....	20
<i>Мінтус А.М.</i> Алгоритм визначення середньої швидкості руху металу по секціях для динамічного управління зоною вторинного охолодження машин неперервного лиття заготовок .....	25
<i>Обод А.І.</i> Обработка данных вторинных систем спостереження повітряного простору .....	29
<i>Саковець О.О.</i> Автоматизация работы вітрогенератора з метою збільшення коефіцієнту вітровикористання .....	32

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Дубницький В.Ю., Кобылин А.М., Кобылин О.А.</i> Интервальные вычисления в системе центр-радиус значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции .....	35
<i>Одаруценко О.Б., Одаруценко О.М., Бутенко В.О., Москалец В.В., Стрюк О.Ю.</i> Моделі математичних блоків дискретного перетворення інформації для верифікації програмного забезпечення програмованих логічних контролерів .....	40

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Глібо О.А., Сімонова О.Г., Савченко Л.М.</i> Соціальна реклама як тематика творчої роботи на олімпіаді з WEB-технологій та WEB-дизайну .....	46
<i>Дружинин Е.А., Шостак И.В., Лысенко А.А.</i> Вероятностно-поведенческая модель пользователя университетской кампусной сети .....	50
<i>Ким Н.И., Денисенко А.Н., Триц А.Р.</i> Квалиметрический подход к оцениванию качества объектов различной природы статистическими методами .....	56
<i>Косенко В.В., Артюх Р.В., Роговой А.И.</i> Вариантный синтез иерархии структур инфокоммуникационной сети .....	60
<i>Кучук Г.А., Саатсзав Б.Г.</i> Распознавания человеческих эмоций с использованием нейросетевых технологий .....	64
<i>Лысенко Д.Э.</i> Многокритериальные модели теории полезности для оценки бизнес-процессов организационно-технической системы .....	70
<i>Мерзликина Ю.И., Дядюра К.А.</i> Портальные технологии управления проектами по разработке конструкторской документации на компрессоростроительном предприятии .....	76
<i>Паржин Ю.В.</i> Детекторный принцип построения искусственных нейронных сетей как альтернатива коннекционистской парадигме .....	80
<i>Радченко В.А., Руденко Д.А., Ткачев В.Н., Токарев В.В.</i> Мобильная подсистема «мультикоптер–сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data .....	102
<i>Svystunov Yu.D., Lukova-Chuyko N.V.</i> Use of the concept of functional reserve in order to provide quality assurance of web services .....	106
<i>Смирнов А.А., Лысенко И.А.</i> Информационная технология проектирования тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению .....	112
<i>Тарасюк О.М., Таранова К.П., Горбенко А.В.</i> Аналіз особливостей та класифікація систем управління нереляційними базами даних .....	116
<i>Темніков В.О.</i> Принципи побудови систем прийняття рішень в процесі управління інформаційною безпекою .....	119
<i>Третяк В.Ф., Пашичева А.А.</i> Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища .....	122
<i>Туркин И.Б., Бутенко О.С.</i> Формирование геоинформационных моделей динамики изменений площади таяния ледников по данным дистанционного зондирования Земли .....	129
<i>Худов В.Г., Маковейчук О.М., Хижняк І.А.</i> Оцінка якості еволюційного методу сегментування зображення, що отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження .....	133
<i>Шимонець Д.В., Лугина О.Л., Харьков М.Ю., Нечитайло І.В., Худов Г.В.</i> Пасивні радіолокаційні системи виявлення малорозмірних повітряних об'єктів з використанням сигналів телекомунікаційних систем .....	138
<i>Шматков С.І., Кучук Н.Г., Коломієць Ж.О.</i> Аналіз інформаційних технологій у системах мобільного навчання ..	143

### ЗВ'ЯЗОК

<i>Boriak B., Silvestrov A.</i> Filtering and forecasting signals algorithm based on exponential brown's filter .....	150
<i>Веклич С.Г.</i> Сравнительный анализ алгоритма Герцеля и способа алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций при обнаружении отдельных тонов сигнала .....	153
<i>Тохов О.М., Малюк В.Г., Ткаченко К.М.</i> Імітаційна модель активного радіомаскування військових підрозділів у оперативному районі з урахуванням дії повітряних засобів радіорозвідки противника .....	157
<i>Пучков О.О., Гиренко І.М.</i> Методика обґрунтування складу ремонтного органу засобів спеціального зв'язку .....	162
<i>Шульга О.В., Шефер О.В.</i> Підвищення надійності старту плазмового пальника для подальшого керування виходом у робочий режим пристроїв супутникового радіозв'язку космічних апаратів .....	167
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	170

# Питання управління в складних системах

УДК 535.24, 66.021.3

О.Б. Борщ, В.В. Борщ

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ОЦІНКА ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕПЛОЛОГІСНИЙ СТАН ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ КЕРУВАННІ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ

*Визначений ключовий фактор, що впливає на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції з урахуванням її повітропроникності при автоматичному керуванні параметрами мікроклімату теплиці.*

**Ключові слова:** тепловологісний стан, мікроклімат, повітропроникність, автоматичне керування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Рівномірне на протязі року задоволення потреб населення України в овочах передбачає застосування сільськогосподарських технологій закритого ґрунту. Оскільки вказані технології потребують значних затрат енергії (агропромисловий комплекс України споживає близько 20 відсотків енергетичних ресурсів), суттєве підвищення енергоефективності технологічних процесів при виробництві овочевої продукції для вітчизняних аграріїв є актуальним.

Вирішальну роль у формуванні врожаю овочів у тепличному господарстві відіграє мікроклімат приміщення. Існуючі системи для його забезпечення в тепличних приміщеннях мають низку недоліків – не враховується температура на поверхні рослин, комплексно не оцінюється вплив сонячної радіації, температури та швидкості потоків зовнішнього повітря, матеріалу та конструкції огородження а також інших факторів, що мають випадковий характер.

Переведення тепличних господарств на промислову основу з використанням сучасних автоматичних систем керування параметрами мікроклімату [1] є запорукою стійкого забезпечення населення овочами в кліматичних умовах України в необхідній кількості та високої якості.

Не менш важливою складовою програми підвищення енергоефективності тепличного господарства є вибір матеріалу для різних конфігурацій тепличного приміщення.

Тепловологісні параметри мікроклімату теплиці визначаються алгебраїчною сумою всіх теплових потоків споруди. В холодний період року осно-

вною її складовою є втрати теплоти через огорожувальні конструкції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Різниця тисків внутрішнього та зовнішнього повітря викликає фільтрацію повітря крізь товщу огорожувальної конструкції споруди теплиці. Фільтрація є типовим молекулярним процесом, до якого застосовуються всі закономірності гідродинаміки потоку в пористих середовищах [1]. Можна передбачити, що кількість вологи, яка буде переноситися за рахунок фільтрації повітря значно більша, ніж при дифузійному переносі. Але, якщо в процесі фільтрації вологого повітря крізь товщу огородження не відбувається конденсація або випаровування вологи, то вологовміст огородження в довільній точці залишається незмінним. Це явище обумовлене досить невеликою кількістю пару в порах та капілярах огородження, порівняно з кількістю рідини (зміна концентрації пару в порах та капілярах огородження не впливає на вологовміст огородження) [2, 3]. Проблема оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій для тепличних споруд полягає у відсутності достовірних методів розрахунку. В роботах [4-6] процес зміни тепловологісного стану представлений системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{r\varepsilon}{c} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + a_m \delta^l \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – критерій фазового перетворення;

$r$  – теплота випаровування вологи, зв'язаної з матеріалом, кДж/кг;

$\delta^l$  – термоградієнтний коефіцієнт, кг/(кг · град).

Використовувати запропоновану систему рівнянь для розрахунку тепловологісного стану огорожувальних конструкцій занадто складно, тому що в літературі не сформульовані граничні та початкові умови, а також відсутній їх математичний запис. До того ж неможливо впевнитись настільки достовірно ця система рівнянь описує весь комплекс фізичних явищ, які відбуваються при зміні тепловологісного стану огороження теплиці.

**Формування мети статті.** З метою підтвердження теоретичних досліджень, результати яких висвітлені в [7], були виконані дослідження зміни тепловологісного стану огорожувальних конструкцій з урахуванням їх повітропроникності та визначення фактору впливу різних параметрів. Із великої кількості задач, що вирішуються при проведенні досліджень існуючих процесів, можна виділити дві задачі: перша задача – виявлення кількісної залежності між параметрами процесу; друга задача – знаходження оптимальних умов протікання процесу.

Для розв'язання цих задач, зокрема в нашому випадку для вирішення першої задачі, доцільно використати кібернетичний підхід, в основу якого покладена запропонована Н. Вінером ідея “чорного ящика” (рис. 1).

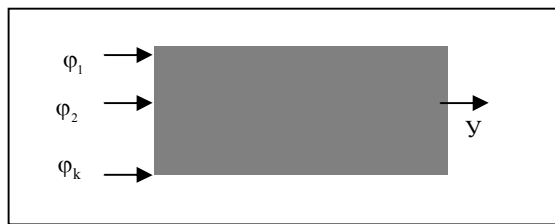


Рис. 1. Схема “чорного ящика”:

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$  – фактори, які впливають на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції;  $Y$  – відгук (параметр оптимізації)

Залежність між вихідними параметрами - результатами експерименту (відгуком) та вхідними параметрами (факторами) має вигляд

$$Y = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3). \quad (2)$$

**Мета статті.** Кількісно оцінити вплив різних факторів на тепловологісний стан огорожувальних конструкцій при автоматичному керуванні параметрами мікроклімату теплиці.

### Виклад основного матеріалу

Основними факторами, які впливають на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції, на наш погляд є температура та вологовміст повітря і повітропроникність матеріалу. Надамо цим факторам коди, тобто позначимо:

$\varphi_1$  – температуру повітря,  $t, ^\circ\text{C}$ ;

$\varphi_2$  – вологовміст повітря,  $d, \text{г/кг}$ ;

$\varphi_3$  – опір повітропроникності матеріалу

$$R_{и}, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{год}}{\text{кг}}.$$

Параметром оптимізації, який найбільш повно віддзеркалює процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції, є швидкість зміни вологості матеріалу

$$Y = \frac{dW}{dt}, \text{г/год}, \quad (3)$$

де  $dW$  – кількість води, яку втратить матеріал огорожувальної конструкції в процесі змін вологісного стану за проміжок часу  $dt$ , г;

$dt$  – проміжок часу, за який відбуваються зміна вологісного стану, год.

Для оцінювання впливу різних факторів на зміну тепловологісного стану огорожувальної конструкції був проведений обчислювальний експеримент.

Мета експерименту – визначити фактор, який найбільше впливатиме на процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції. Для порівняння були розраховані огорожувальні конструкції, виконані з різного матеріалу. Теплотехнічні характеристики цих огорожувальних конструкцій подані в табл. 1.

Для знаходження функціональної залежності  $Y = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$  було проведено низку розрахунків. Значення параметру оптимізації  $Y$  знаходили у вигляді полінома третього порядку.

В табл. 2 наведені дані, які характеризують інтервал варіювання факторів ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ ), а в табл. 3 – матриця планування обчислювального експерименту. З метою підвищення точності обробки дослідних даних був використаний метод ортогонального центрального композиційного планування дослідів [8].

За результатами плану знаходимо вісім коефіцієнтів рівнянь регресії:

$$Y = v_0 + v_1 \cdot \varphi_1 + v_2 \cdot \varphi_2 + v_3 \cdot \varphi_3 + v_{12} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 + v_{13} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_3 + v_{23} \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 + v_{123} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3, \quad (4)$$

де

$$\varphi_i = \frac{\Phi_i - \Phi_{i0}}{\delta_i}, \quad (5)$$

$\Phi_i$  – натуральне значення фактору;

$\Phi_{i0}$  – значення  $i$ -го фактора на нульовому рівні;

$\delta_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактора;

$$v_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\varphi_{ij} \cdot y_j)}{n}, \quad v_{ij} = \frac{\sum_{\ell=1}^n (\varphi_{i\ell} \cdot \varphi_{j\ell} \cdot y_\ell)}{n}. \quad (6)$$

Таблиця 1

Теплотехнічні характеристики  
огороджувальних конструкцій

Матеріал огороджувальної конструкції	Питома густина матеріалу $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda, \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})}$	Коефіцієнт теплоємності $c, \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$	Опір повітропроникності $R_{и}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$
Полікарбонат	0,8	0,018	0,2	0,1
Ракушняк	1400	0,56	0,88	6,0

Таблиця 2

Інтервал варіювання  
та рівень факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Вологовміст $d, \text{г} / \text{кг}$	Опір повітропроникності $R_{и}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$
Нульовий рівень $\varphi_i = 0$	35	4,75	3,1
Інтервал варіювання $\delta_i$	10	2,05	3,1
Нижній рівень $\varphi_i = -1$	25	2,7	0,2
Верхній рівень $\varphi_i = +1$	45	6,8	6

Таблиця 3

Матриця планування експерименту

Номер розрахунку	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_1\varphi_2$	$\varphi_1\varphi_3$	$\varphi_2\varphi_3$	$\varphi_1\varphi_2\varphi_3$	у	у'
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,001499	0,001499
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,002257	0,002257
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,000708	0,000708
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,001476	0,001476
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,008504	0,008504
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,013883	0,013883
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,004777	0,004777
8	1	1	1	1	1	1	1	0,010221	0,010221

В результаті розрахунків була отримана лінійна модель

$$y = 0,005415781 - 0,001543594 \cdot \varphi_1 - 0,00112026 \cdot \varphi_2 + 0,003930573 \cdot \varphi_3 + 0,0000009427 \cdot \varphi_1 \varphi_2 + 0,001162135 \cdot \varphi_1 \varphi_3 - 0,000727135 \cdot \varphi_2 \varphi_3 - 0,000000617875 \cdot \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3. \quad (7)$$

Дослідження зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції з урахуванням її повітропроникності виготовленої з полікарбонату суттєво спростило задачу енергоефективного автоматичного керування параметрами мікроклімату теплиці за допомогою розробленої авторами інтелектуальної системи керування на основі мікроконтролера К-1 [9].

## Висновки

1. Фактором, який найбільш суттєво впливає на процес зміни тепловологісного стану огорожувальної конструкції є опір повітропроникності матеріалу огороження. Далі по рангу впливає температура та вологовміст повітря.

2. На основі оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії можна прийти до висновку, що є можливість нехтування деякими коефіцієнтами, а саме:

– коефіцієнтом, що враховує вплив вологовмісту повітря,  $\varphi_2$ ;

– коефіцієнтом, що враховує вплив одночасно двох факторів: температури та вологовмісту повітря,  $\varphi_1, \varphi_2$ ;

– коефіцієнтом, що враховує вплив одночасно трьох факторів: температуру, вологовміст повітря та повітропроникність,  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ .

З урахуванням цього лінійна модель буде мати вигляд

$$\frac{dW}{dt} = 0,005415781 - 0,001543594 \cdot t + 0,003930573 \cdot R_u + 0,001162135 \cdot t \cdot R_u - 0,000727135 \cdot d \cdot R_u. \quad (8)$$

3. Перевірка адекватності рівняння регресії зроблено за допомогою критерію Фішера. Оскільки,  $F = 5,3 \cdot 10^{-5} \leq F_{(0,05; f_{ad}, f_y)} = 6,3883$ , то модель адекватна [8].

4. Теплотехнічні характеристики огорожувальної конструкції приміщення теплиці, виготовленої з полікарбонату використані при розробці інтелектуальної системи керування параметрами мікроклімату теплиці на основі мікроконтролера К-1.

## Список літератури

1. Ушков Ф.В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха – М.: Стройиздат, 1969. – 144 с.
2. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно - пористых телах. - М.: Гостехиздат, 1954. - 297 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: Стройиздат, 1973. - 287 с.
4. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. - Минск, Изд-во АН БССР, 1961. - 520 с.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. – На заміну СНиП П-3-79; чинний від 2007-04-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. – [Чинний з 01.01.2014.] – К.: Мінбуд України, 2013. – 66 с. – (Державний стандарт України).
7. Строй А.Ф., Чумуріна О.Б. Повітропроникність, як фактор зміни вологісного режиму огорожувальних конструкцій будинку в процесі його експлуатації // Вентиляція, освітлення та теплозапобігання. Вип.. 9. – К.: КНУБА, 2006. – С. 95-106.
8. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
9. Бориц В.В. Макет теплиці з автоматичним керуванням параметрами мікроклімату / В.В. Бориц, О.Б. Бориц, Р.О. Терновий, В.В. Гарусов // Збірник наукових праць студентів електромеханічного факультету. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 79-83.

Надійшла до редколегії 22.04.2017

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

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЦЫ

Е.Б. Борщ, В.В. Борщ

Определен основной фактор, влияющий на изменение тепловлажностного состояния ограждающей конструкции с учетом воздухопроницаемости при автоматическом управлении параметрами микроклимата теплицы.

**Ключевые слова:** тепловлажностное состояние, микроклимат, воздухопроницаемость, автоматическое управление.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VARIOUS FACTORS ON TALABALARNI STATUS WALLING THE AUTOMATIC CONTROL PARAMETERS OF MICROCLIMATE OF A GREENHOUSE

O.B. Borsch, V.V. Borshch

The main factors affecting the change in thermal and humidity condition enclosure because of its breathability with automatic management of the greenhouse microclimate.

**Keywords:** thermal and humidity condition, climate, air permeability, automatic control.

УДК 681.511.48

М.М. Гонтар, Д.М. Нелюба

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ОБЕРНЕНОГО МАЯТНИКА НА БАЗІ МЕТОДУ НАБЛИЖЕНОЇ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ

У цій статті, беручи обернений маятник як приклад нелінійних систем, які неможливо точно лінеаризувати, ми викладаємо метод розробки контролера для системи, що базується на наближеній лінеаризації. У методі, ми намагаємось подолати ефект залишкових членів більш високого порядку при виборі нової координати для наближеної лінеаризації.

**Ключові слова:** нелінійне керування, наближена лінеаризація, обернений маятник, геометричний підхід.

### Вступ

У багатьох практичних випадках ми часто використовуємо лінійні компенсатори, побудовані на основі якобінської лінеаризації керованої установки. Однак, бажано взяти до уваги нелінійність системи при побудові контролера.

**Аналіз попередніх досліджень.** В останні роки в теорії нелінійного керування стрімко розвивається диференційно-геометричний метод. Зокрема метод точної або наближеної лінеаризації був широко застосований [1-5]. Однак більша частина попередніх досліджень головним чином зосередилася на теорії. Тому, щоб оцінити ефективність цих теоретичних результатів, ми потребуємо більшої кількості практичного досліджень й оцінки для нелінійної схеми контролю з допомогою експериментів, а не демонстрації моделюванням. Є небагато матеріалів, які оцінюють його ефективність через експерименти незважаючи на його важливість.

**Мета роботи.** Беручи перевернений маятник як приклад нелінійних систем, які неможливо точно лінеаризувати, ми розробляємо нелінійний контролер для системи, побудований на наближеній лінеаризації [3]. При розробці контролера, ми беремо до уваги елементи більш високого порядку, коли ми будемо нову координату для наближеної лінеаризації. Потім, ми оцінюємо його ефективність експериментами.

### Матеріал і результати дослідження

Будемо використовувати конструкцію роторно оберненого маятника [2] показану на рис. 1. Рука приводиться у рух двигуном і його кут повороту  $\phi$  вимірюється давачем у двигуні. Маятник вільно приєднаний до руки і може обертатися перпендикулярно навколо неї. Кут його повороту  $\theta$  вимірюється давачем. Динаміка системи описується рівняннями:

$$\ddot{\phi} \left( I_1 + I_2 \sin^2 \theta + m l_1^2 + m l_2^2 \sin^2 \theta \right) + 2\dot{\theta} \dot{\phi} \left( I_2 + m l_2^2 \right) \times \sin \theta \cos \theta - \ddot{\theta} m l_1 l_2 \cos \theta + \dot{\theta}^2 m l_1 l_2 \sin \theta = u - d_1 \dot{\phi}; \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} \left( I_2 + m l_2^2 \right) - \ddot{\phi} m l_1 l_2 \cos \theta - \dot{\phi}^2 \left( I_2 + m l_2^2 \right) \times \sin \theta \cos \theta - m g l_2 \sin \theta = -d_2 \dot{\theta}, \quad (2)$$

де параметри моделі визначені так:

$u$  – момент двигуна, [Н];

$\phi$  – кут повороту руки, [рад];

$\theta$  – кут повороту маятника, [рад];

$m$  – маса маятника (0,135 [кг]);

$2l_1$  – довжина руки (1,05 [м]);

$2l_2$  – довжина маятника (0,485 [м]);

$I_1$  – момент інерції руки та двигуна (0,64 [кг м<sup>2</sup>]);

$I_2$  – момент інерції маятника (2,65 × 10<sup>-3</sup> [кг м<sup>2</sup>]);

$d_1$  – коефіцієнт тертя двигуна (1,32 [Н м с/рад]);

$d_2$  – коефіцієнт тертя шарніру маятника (1,00 × 10<sup>-5</sup>, [Н м с/рад])

$g$  – прискорення вільного падіння (9,81 [м/с<sup>2</sup>]).

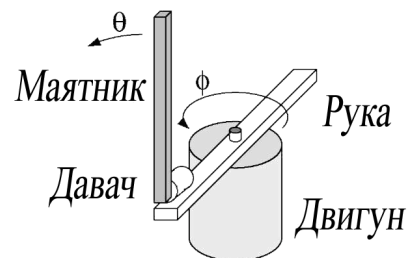


Рис. 1. Схема оберненого маятника

Нехай  $x = [\phi, \theta, \dot{\phi}, \dot{\theta}]^T$  буде станом і хай  $u$  буде входом, тоді попередні вирази можуть бути записані у такій формі:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + g(x)u = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ f_3(x) \\ f_4(x) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_3(x) \\ g_4(x) \end{bmatrix} u, \quad (3)$$

де  $f_i(x)$  і  $g_i(x)$  задані таким чином:

$$f_3(x) =$$

$$= \frac{k_2 \left( -d_1 x_3 - 2x_3 x_4 \sin x_2 \cos x_2 - k_3 x_4^2 \sin x_2 \right) + k_3 \left( -d_2 x_4 + k_2 x_3^2 \sin x_2 \cos x_2 + mgl_2 \sin x_2 \right) \cos x_2}{k_2 \left( k_1 + k_2 \sin^2 x_2 \right) - k_3^2 \cos^2 x_2}; \quad (4)$$

$$f_4(x) = \frac{\left( k_1 + k_2 \sin^2 x_2 \right) \left( -d_2 x_4 + k_2 x_3^2 \sin x_2 \cos x_2 + mgl_2 \sin x_2 \right) + k_3 \left( -d_1 x_3 - 2x_3 x_4 \sin x_2 \cos x_2 - k_3 x_4^2 \sin x_2 \right) \cos x_2}{k_2 \left( k_1 + k_2 \sin^2 x_2 \right) - k_3^2 \cos^2 x_2}; \quad (5)$$

$$g_3(x) := \frac{k_2}{k_2 \left( k_1 + k_2 \sin^2 x_2 \right) - k_3^2 \cos^2 x_2} \quad (6)$$

$$g_4(x) := \frac{k_3 \cos x_2}{k_2 \left( k_1 + k_2 \sin^2 x_2 \right) - k_3^2 \cos^2 x_2} \quad (7)$$

де  $k_1 = I_1 + ml_1^2$ ,  $k_2 = I_2 + ml_2^2$ ,  $k_3 = ml_1 l_2$ .

Першим кроком необхідно перевірити можливість наближеної лінеаризації для системи (3) р-го порядку. Для 1-ої умови (а) на рис. 2 показано рішення  $\theta, \dot{\theta}$  біля значення  $\dot{\phi} = 0, 200, 400$  [град/сек],

$$\det[g(x) \quad ad_f g(x) \quad ad_f^2 g(x) \quad ad_f^3 g(x)] = 0. \quad (8)$$

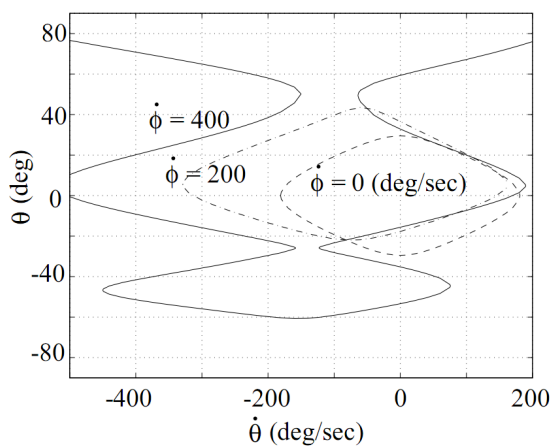


Рис. 2. Области, що задовольняють першій умові наближеної лінеаризації

З рисунка видно що існують сусідні контури а це означає виконання першої умови (а).

Для умови (б),

$$\det \left[ \begin{matrix} ad_f^i g(x) & ad_f^j g(x) & g(x) & ad_f g(x) & ad_f^2 g(x) \end{matrix} \right] = 0(x), \quad 0 \leq i, j \leq 2, i \neq j \quad (9)$$

показує що відрізок  $\text{span} \{g, ad_f g, ad_f^2 g\}$  має дотичну першого порядку, тобто система другого порядку може бути лінеаризована.

По-друге, знайдемо функцію  $\lambda_0(x)$  другого порядку, що задовольняє ЧДР (часткові диференціальні рівняння) так:

$$\lambda_0(x) = x_1 - 0.616x_2 + 3.11 \times 10^{-5} x_3 - 1.92 \times 10^{-5} x_4. \quad (10)$$

Більш детальні розрахунки можна знайти в [4].

По-третє, функція  $\lambda(x)$  для наближеної лінеаризації вищого порядку записується так:

$$\lambda(x) = \lambda_0(x) + T^3(x). \quad (11)$$

У попередньому виразі  $T^3(x)$  не включає елементів з  $x_1$  через спрощення, бо вектори  $f(x)$  і  $g(x)$  не містять змінну стану  $x_1$ .

Таким чином рівняння (3) можна наближено перетворити у канонічну форму Брюновського:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \xi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \xi_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v. \quad (12)$$

Тепер перетворимо систему у лінеаризовану систему Якобіана:

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = A_1 \hat{x} + b_1 u =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_1 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -d_1 & 0 \\ 0 & mgl_2 & 0 & -d_2 \end{bmatrix} \hat{x} + \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_1 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \hat{u}$$

Для неї існує лінійне перетворення координат:

$$\hat{x} = T_c \xi, \quad (14)$$

яке перетворює (13) у канонічну форму керованості

$$\frac{d\xi}{dt} = T_c^{-1} A_1 T_c \xi + T_c^{-1} b_1 \hat{u} =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & -a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \xi_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \hat{u}. \quad (15)$$

Якщо до (12) застосувати лінійний зворотній зв'язок, то отримаємо рівняння:

$$v = [-a_0 \quad -a_1 \quad -a_2 \quad -a_3] \xi + \hat{u}. \quad (16)$$

Тепер, використовуючи зворотній зв'язок (16) та перетворення координат (14) можна перетворити (12) у (13). Для цієї лінійної системи (13) розробимо



лінійний зворотній зв'язок за станом з регулятором НК (найменших квадратів) у якому

$$Q = \text{diag}\{120000, 10000, 1, 1\}, R = 1$$

і знайдемо зворотній зв'язок за станом

$$\hat{u} = K\hat{x}, \quad (17)$$

що мінімізує функцію вартості

$$J_{LQ} = \int_0^{\infty} (\hat{x}^T Q \hat{x} + \hat{u}^T R \hat{u}) dt \quad (18)$$

Повна схема системи керування показана на рис. 3, а коефіцієнти зворотного зв'язку дорівнюють:

$$K = [100, -491, 72.9, -63.9] \quad (19)$$

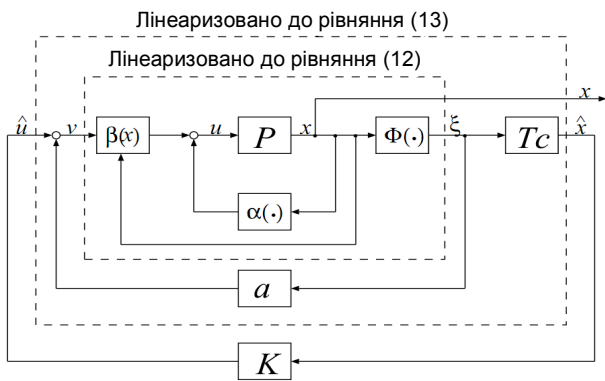


Рис. 3. Структура контролера

### Опис експерименту

Найважливішою частиною даної роботи є експериментальна оцінка, викладена далі. Період вибірки системи керування складає 1 мс і модулі лічильника та ЦАП оперують даними з розрядністю в 12 біт. Що стосується приводу, ми використовуємо серво двигун постійного струму (потужність 68 Вт) з відношенням редуктора 1/50. Роздільна здатність датчика для двигуна становить 50000 імпульсів/оберт і для самого маятника складає 24000 імпульсів/оберт. На рис. 4 зображена блок-схема системи керування.

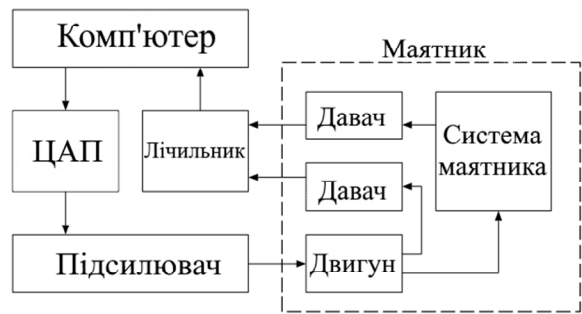


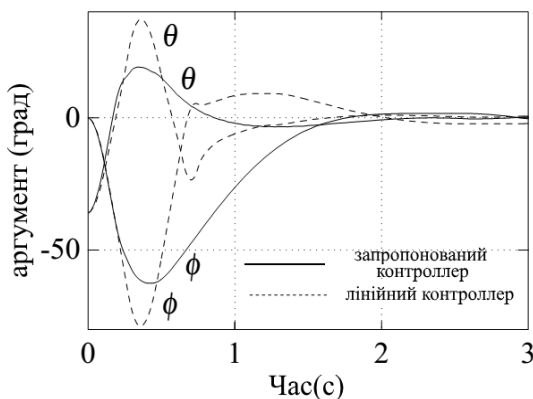
Рис. 4. Блок-схема експериментальної установки

### Результати експерименту

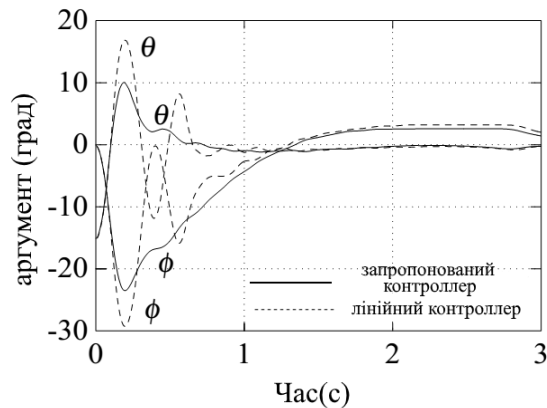
В експерименті ми використовуємо фільтр низьких частот для обробки сигналів з датчика швидкості, щоб уникнути височастотного шуму. По-перше, ми перевіряємо поведінку кута повороту маятника  $\theta(t)$  і положення руки  $\phi(t)$  за допомогою запропонованого контролера для різних початкових умов  $\theta(0) = \theta_0$ . При  $\theta_0$  менше 45 градусів, система залишається стійкою. Рис. 6, в показує перехідний процес системи при  $\theta_0$  рівному 45 градусів. По-друге, для порівняння, ми виконуємо ті ж експерименти з використанням лінійного регулятора  $u = K \cdot x$  без компенсації нелінійності і з тим же коефіцієнтом підсилення  $K$ . За таких умов система стає нестійкою, при  $\theta_0$  більше, ніж 35 градусів.

На рис. 5, а показані перехідні процеси  $\theta(t)$  і  $\phi(t)$ : суцільною лінією – запропонованого контролера і пунктирною лінією – лінійного контролера при  $\theta_0 = 35$  градусів. Необхідно підкреслити, що ці нелінійні і лінійні контролери ведуть себе однаково поблизу початку координат, так як якобіан лінеаризації нелінійного контролера еквівалентний лінійному контролеру  $u = K \cdot x$ .

Далі, щоб побачити робастність системи керування, ми проробили той же самий експеримент, додавши навантаження (0,083 кг) на верхній частині маятника.

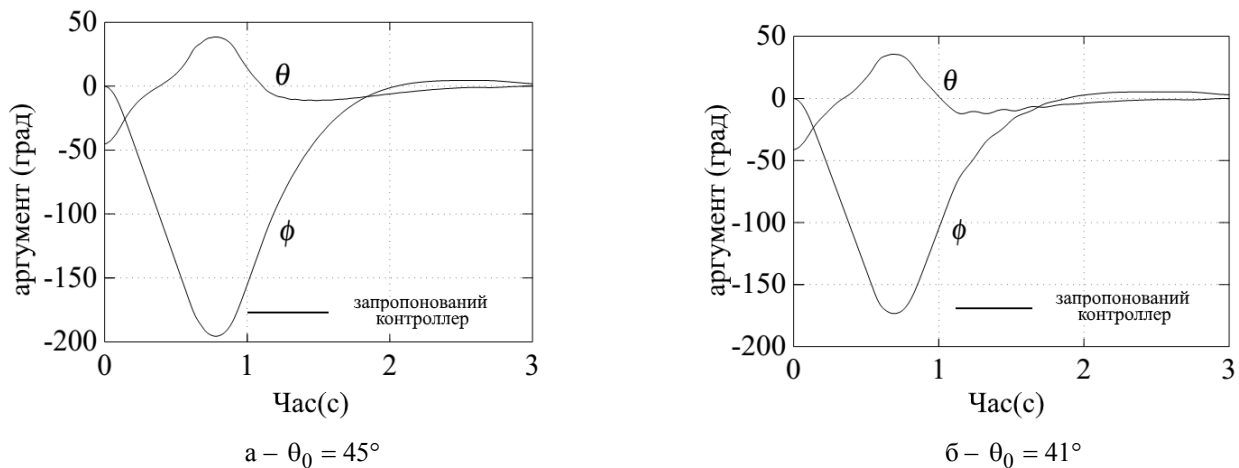


а –  $\theta_0 = 35^\circ$



б –  $\theta_0 = 15^\circ$

Рис. 5. Перехідні процеси  $\theta$  і  $\phi$

Рис. 6. Перехідні процеси  $\theta$  і  $\phi$ 

У цьому випадку наш контролер стабілізує систему, при  $\theta_0$  менше, ніж 41 градус, в той час як лінійний регулятор працює тільки тоді, коли  $\theta_0$  менше 15 градусів. На рис. 5, б показані перехідні процеси  $\theta(t)$  і  $\phi(t)$  суцільною лінією – запропонованого контролера і пунктирною лінією для лінійного контролера, при  $\theta_0 = 15$  градусів, а на рис. 6, г показані  $\theta(t)$  і  $\phi(t)$  для запропонованого контролера коли  $\theta_0 = 41$  градус.

Ці експериментальні результати показують ефективність запропонованого контролера.

### ВИСНОВКИ

Беручи перевернений маятник як приклад нелінійних систем, які не можуть бути точно лінеаризовані [6], було розроблено нелінійний контролер для системи оберненого маятника, на базі методу наближеної лінеаризації. Була розроблена система для придушення ефекту залишкових членів більш високого порядку при виборі координат зваженим методом найменших квадратів для задоволення умов наближеної лінеаризації першого порядку.

### Список літератури

1. A.J. Krener : *Approximate Linearization by State Feedback and Coordinate Change*, *Systems & Control Letters*, 5, 181/185 (1994).
2. K. Furuta and M. Yamakita : *Swing Up Control of Inverted Pendulum*, *IECON '01*, 2193/2198 (2001).
3. Андрієвский Б.Р., Фрадков А.Л. *Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB*. СПб: Наука, 1999. — 467 с.
4. L. Guzzella and A. Isidori : *On approximate linearization of nonlinear control systems*, *Int. J. Robust and Nonlinear Control*, 3-3, 261/276 (1993).
5. Евсюков В.Н. *Нелинейные системы автоматического управления: учебное пособие для студентов вузов / В.Н. Евсюков.* – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. 172 с.
6. Гонтар М.М. *Наближена лінеаризація нелінійної системи / М.М. Гонтар, Д.М. Нелюба // Проблеми інформатизації: тези 6 Міжнар. наук.-техн.і конф. Київ – Полтава – Орел – Білгород – Харків, 11-12 квітня 2016 р.* – К.: ДУТ, 2016.

Надійшла до редколегії 22.04.2017

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

### РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРИБЛИЖЕННОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ

М.Н. Гонтарь, Д.Н. Нелюба

В этой статье, беря обратный маятник как пример нелинейных систем, которые невозможно точно линеаризовать, мы рассмотрим метод разработки контроллера для системы на основе приближенной линеаризации. В методе мы пытаемся подавить эффект остаточных членов более высокого порядка при выборе новой координаты для приближенной линеаризации.

**Ключевые слова:** нелинейное управление, приближенная линеаризация, обратный маятник, геометрический подход.

### CONTROLLER DESIGN FOR AN INVERTED PENDULUM BASED ON APPROXIMATE LINEARIZATION

M.M. Hontar, D.M. Neliuba

In this paper, taking the inverted pendulum as an example of nonlinear systems which are not exactly linearizable, we give a controller design method for the system based on the approximate linearization. In the method, we try to suppress the effect of the higher order residual terms in choosing the new coordinate for the approximate linearization.

**Keywords:** nonlinear control, approximate linearization, inverted pendulum, geometric approach.

УДК 681.58

V.P. Dorohobid<sup>1</sup>, M.K. Borozdin<sup>1</sup>, Ahmed Alzubaydy<sup>2</sup><sup>1</sup> *Poltava National Technical University named after Kondratyuk*<sup>2</sup> *Iraq, University of Dayala College of engineering Electrical power and machines*

## DESIGN, IMPLEMENTATION AND TEST A MODEL OF AN ELECTRICAL ELEVATOR CONTROLLED USING PLC

*This paper represents the possibility of controlling an electrical 4-level elevator model using PLC and studying some parameters to ensure its work, this model have been designed and constructed to perform a completed elevator work in an automating technique according to its programming and controlling method that making the connecting much more easier and safer than real relays and complicated wiring method. As well as the PMDC electrical motor that used to drive the elevator cabinet which made the transition from floor to floor much smoother and much efficient than the traditional elevators.*

**Keywords:** *elevator, PLC controlling, PMDC motor, DELTA PLC.*

### Introduction

Some of the improvements that used to achieve more quality and enhancements for the elevator systems can rewards a big difference in working lines, using reliable components to operate for years without any damage, reapplied a new programming when needed in easily way, more accuracy in running, much less time for responding and the easiness of maintenance.

One of the devices that offers such deals is the PLC. The PLC is a small digital computer that saves more space where while offering a lots of central processing unit work, depending on a memory and a number of inputs and outputs terminals. The ladder diagram is a type of PLC programming language based on logic functions in order to run the elevator instructions.

### Main part

**Working principles.** This system represented an electrical elevator depends on some orders that received from the outside control pushbuttons and in the other hands the signals that received from the internal sensors which transmitted the instant change of elevator cabinet position as well as the elevator door case (open or close) these sensors depends on a mechanical action then changed it into an electrical signals that the PLC received it and starting to processing through the ladder logic program which it already saved in the PLC as an instructions to provide the output signals that will be responsible for moving the electrical motors of cabinet and door of elevator. this process will be described in the block diagram shown in (Fig. 1).

**Construction.** The elevator model designed to meet the required objectives of this work, such as some of a previously completed theoretical studies of a machine model that has been designed. Then to confirm and to implement the simulated model as a prototype certain calculations have been carried out to determine some critical parameters. These parameters

includes the size of the cabin, maximum number of persons can be accommodated into the elevator, strength of the rope, type of motor used, motors power rating and torque rating. The using of PLC in the controlling part of this system was contributed to reducing the time waste in other elevator systems, because of the electromagnetic actuators and the contact action which they have a large inertia.

First of all the model build up using aluminum structure for the outer elevator body, then designing the elevator cabin by considering first of all the number of passengers, the capacity of weight and the tension of the rope; all of these will be derived mathematically later.

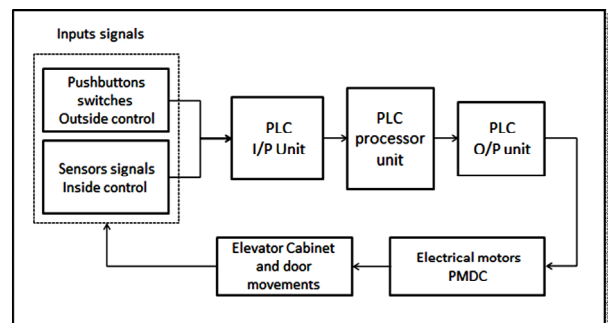


Fig. 1. Electrical elevator block diagram

**Elevator controlling.** The main part that is responsible on controlling this system is the PLC to overcome the difficulties of relays wiring, using DELTA PLC type, which consist of 16 DC inputs and 8 output relays.

The supply of 24 VDC is given to the PLC, the inputs used is some types of sensors beside the other pushbuttons and 2 outputs electrical motors. This elevator also includes some emergency parts such as (RUN/STOP) manual switch and the firing sensor that added into each elevator floor.

All the wiring details of the PLC with the inputs and the outputs components are shown in Fig. 2.

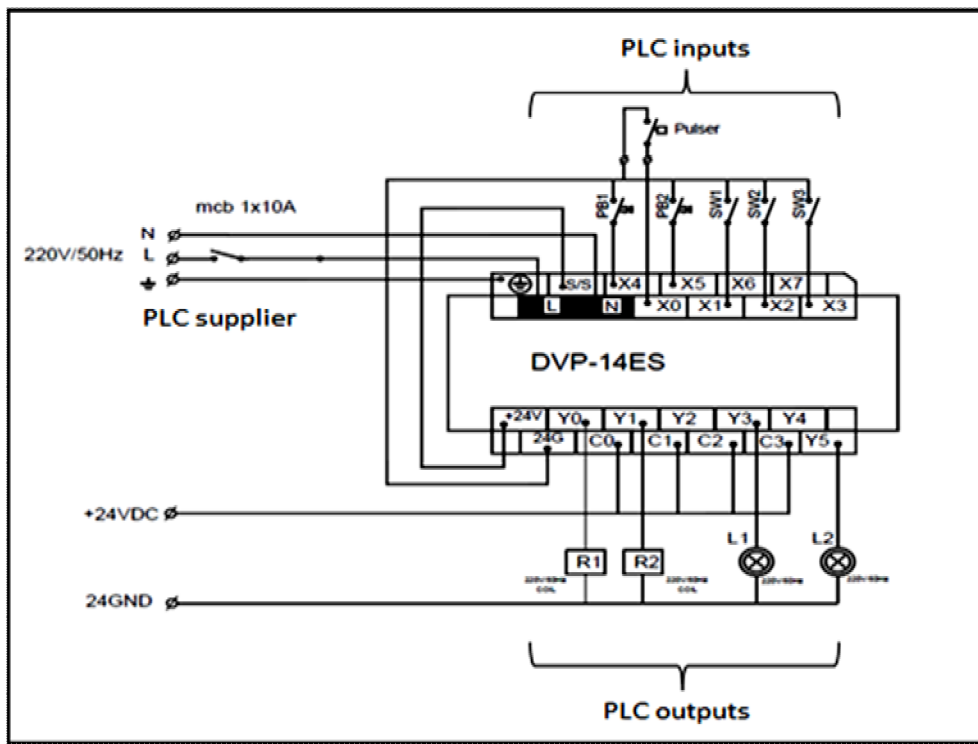


Fig. 2. PLC wiring

**PLC inputs.** The PLC inputs in this system are of two types, a sensors to detect the motion and the other is a pushbutton switches type for external manual controlling. The sensors used to detect the elevator cabin position and the elevator door case is a magnetic sensor using LDR, as shown in Fig. 3.

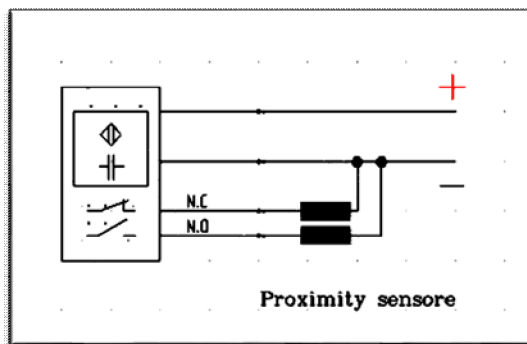


Fig. 3. Proximity sensor

Another type of sensors is used to perform a safety working which is the fire sensor, placing it in the four floors.

In the other hands the pushbuttons are used to call the elevator manually or to start and stop the elevator working, also the elevator working in two cases with AC and DC voltage supply.

The programming of the PLC represented by writing the suitable ladder logic diagram to obtain the required sequences of elevator work, the software that used to writing the ladder diagram is WPLsoft2.39, some ladder steps. Then download it to the PLC using RS232 and RS485.

**Mathematical calculations.**

1 – Rope strength.

The force which acts on the rope can be found out by the following calculation, as shown in Table 1.

$$F = m \cdot g . \tag{1}$$

2 – Power calculation for motor.

The motor used here is a PMDC Motors through the practical experimental to determine the parameters & characteristics for steady-state of this type of motors .In another hand the simulation approach are used by mathematical model depending on high technical were available in the computer program (MATLAB). Then the results are compared between both cases . The most important conclusions in this paper are:

- a. This type of motors have Efficiency higher than Electromagnetic D.C motors .
- b. The damping coefficient (Bm) have negative effect on characteristics of motor especially at no-load steady state in spite of smallness value.

The equivalent circuit for PMDC shown in Fig. 4.

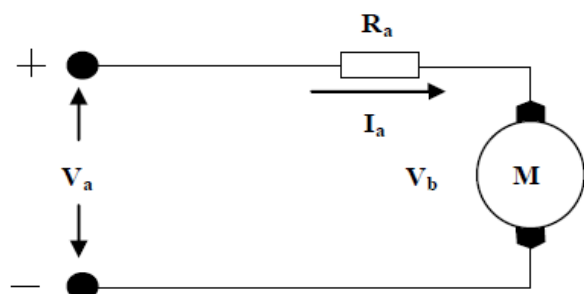


Fig. 4. Equivalent circuit for PMDC

## 3 – Mathematical model of PMDC.

In ideal case the mechanical power equal to electrical power:

$$T_m \cdot \omega_m = V_b \cdot I_a ; \quad (2)$$

$$T_m = 9.55 \cdot \frac{P_0}{N} ; \quad (3)$$

$$T_m \cdot \omega_m = T_L \cdot \omega_L ; \quad (4)$$

$$V_a = E_b - I_a \cdot R_a ; \quad (5)$$

$$W = \frac{2\pi N}{60} , \quad (5)$$

where  $T_m$  – mechanical torque;

$\omega_m$  – the angular speed of motor;

$V_b$  – the back e.m.f;

$I_a$  – armature current.

Based on the design specification the output power and the output torque of the motor are calculated by a simple calculation.

Power and torque calculation. The gear ratio 1:20.

$$\text{Weight of cabin} = 2\text{kg} \cdot 9.8 = 20\text{N} ,$$

$$R_a = 0.8\text{ohm} , I_a = 4\text{A} , V_a = 12\text{V} ,$$

$$E_a = 8.8\text{V} , F_e = 0.2\text{m/s} , P_i = 48\text{watt} ,$$

$$P_0 = 46\text{watt} , \text{eff} = 96\% , K_t = K_v = 0.07 ,$$

$$T_m = \frac{9.55 \cdot 46}{1200} = 0.36\text{N} \cdot \text{m} , \omega_m = \omega_L = 1 : 20 ,$$

$$T_L = 5.6\text{N} \cdot \text{m} , N_m = 1200\text{r.p.m} , N_L = 60\text{r.p.m} ,$$

$$\omega_m = 125.6\text{rad/sec} , \omega_L = 6.28\text{rad/sec}$$

**Wiring of the project.** By using CADdy++ program designer the electrical circuits were design and connected with software form to achieve an completed design before connecting it on the real system.

**Future work.** The researcher will be able to choose this work as a beginning for a complex controlling systems, in the other hand it can be able to use the

mathematical calculations of this system as a guide to another work. Also the adding of another PLC to control a more level elevator is possible as well as controlling another elevator by the same PLC at the same time.

## Conclusion

In this paper the developed design and implementation of the electrical elevator controlled using PLC was studied and discussed . The model includes a ladder logic diagram for running the entire operation of the elevator and some emergency specifications that added a new features to the system. Also adding some suggestions to explain how to develop this elevator in different ways. Finally, it's clear that is the using of DELTA PLC to controlling such systems is a good issue that will be affordable to the industrial world.

## References

1. Dae-Woong Chung, Hyung-Min Ryu, Young-Min Lee, Lo-Won Kang, Seung-Ki Sul, Seok-Joo Kang, Jun-Ho Song, Joong-Seok Yoon, Kil-Haeng Lee and Jong-Ho Suh. Drive systems for high-speed gearless elevators // IEEE Industry Applications Magazine, vol. 7, 2001. - P. 52-56.
2. Hong Sun Lim, Krishnan.R. and Lobo.N.S. Design and Control of a Linear Propulsion System for an Elevator Using Linear Switched Reluctance Motor Drives // IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, 2008. – P. 534-542.
3. Hong Sun Lim and Krishnan.R. Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, 2007. – P. 2209-2218.
4. Jiang Jing and Zhang Xuesong. Variable frequency speed-regulation system of elevator using PLC technology // 3rd International Conference on Advanced Computer Control, IEEE Conference Publications, 2011. – P. 328-332.

Надійшла до редколегії 23.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Машков, Університет Я. Євангелісти Пуркіне в Усті-над-Лабем, Прага, Чехія.

## ПРОЕКТУВАННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ І ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ ЛІФТА, КЕРОВАНОВОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОМИСЛОВИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРОВ

В.П. Дорогобід, М.К. Бороздін, Ахмед Альзубайді

В статті представлена модель чотирьохрівневого ліфта, що керується промисловим логічним контролером (ПЛК). Модель дає можливість вивчати параметри об'єкта для розуміння його роботи. Ця модель спроектована і побудована для виконання робіт по програмуванню та підключенню ліфта. Використаний метод є простіший і безпечніший ніж використання релейних схем. Використання електродвигуна типу PMDC, що являється приводом кабіни ліфта, робить рух від поверху до поверху набагато плавнішим і ефективнішим, ніж привод традиційного ліфта.

**Ключові слова:** ліфт, ПЛК управління, PMDC електродвигун, DELTA PLC.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛИФТА, УПРАВЛЯЕМОГО С ПОМОЩЬЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

В.П. Дорогобид, Н.К. Бороздин, Ахмед Альзубайди

В статье представлена модель четырехуровневого лифта, управляемого промышленного логического контроллера (ПЛК). Модель дает возможность изучать параметры объекта для понимания его работы. Эта модель спроектирована и построена для выполнения работ по программированию и подключению лифта. Используемый метод является более простой и безопасный чем использование релейных схем. Использование электродвигателя типа PMDC, что является приводом кабины лифта, делает движение от этажа к этажу гораздо более плавным и эффективным, чем привод традиционного лифта.

**Ключевые слова:** лифт, ПЛК управление, PMDC электродвигатель, DELTA PLC.

УДК 621.314

Н.В. Єрмілова, С.І. Калов

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ПОРІВНЯННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ БУРОВИХ УСТАНОВОК

*Проаналізовані структури і конструктивні особливості сучасних високовольтних перетворювачів частоти. Приведений короткий аналіз схем і елементів перетворювачів частоти: багатофазних трансформаторів, силових комірток, фільтрів. Побудована та досліджена MatLab-модель електроприводу бурової лебідки. Зроблений аналіз перспектив розвитку високовольтних перетворювачів частоти та їх застосування в потужних електроприводах бурових установок.*

**Ключові слова:** високовольтний перетворювач частоти, бурова установка, регульований електропривод, силова коміртка, трансформатор, асинхронний двигун.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасна концепція максимальної автоматизації бурових установок дозволяє здійснювати більшість робочих операцій процесу буріння, включаючи спуско-підйомні операції колон бурових й насосно-компресорних труб, з найкращими експлуатаційними показниками. Автоматизація процесів дозволяє покращити графік безперервного видобутку нафти, а це, в свою чергу, зменшує збитковість всього процесу. Останнім часом в нафтовидобувній промисловості постає проблема вдосконалення технологічних процесів і підвищення надійності і довговічності устаткування нафтовидобувних промислів і магістральних газопроводів з метою зниження на цій основі собівартості видобутку нафти і газу і зниження відпускних цін на органічне паливо, як засобу зниження енергоємності валового національного продукту. На нафтовидобувних промислах здебільшого використовуються нерегульовані електродвигуни з постійною частотою обертання, які не виключають шкідливих динамічних впливів на обладнання в процесі роботи і в перехідних режимах, що призводить до необхідності частішої заміни найбільш навантажених вузлів і виходу обладнання з ладу.

Прямий пуск високовольтних асинхронних і синхронних електродвигунів з напругою живлення 6 або 10кВ супроводжується стрибком пускового струму, що досягає 6 - 8 кратного значення по відношенню до номінального струму двигуна. Великі пускові струми, споживані електродвигунами в момент їх пуску, та пов'язані з цим глибокі провали напруги, дуже ускладнюють, а в ряді випадків й унеможливають пуск в роботу таких двигунів в разі їх електропостачання від газотурбінних, дизельних чи інших електростанцій з обмеженою потужністю.

Сьогодні безперервно зростає число підприємств, що розглядають застосування електроприводів з регульованою частотою обертання як ключ до енергозбереження, підвищення конкурентоспро-

можності і рентабельності виробництва, поліпшення екологічної обстановки.

Вимоги правильного вибору електрообладнання для нафтовидобутку, автоматизація його роботи, зниження витрат на експлуатацію та ремонт обладнання є дуже актуальними. Це відноситься і до вибору та експлуатації перетворювачів частоти в регульованому електроприводі бурових установок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час в світі застосовується цілий ряд схемних рішень високовольтних перетворювачів частоти (ВПЧ) для потужних електродвигунів. У літературних джерелах широко аналізується продукція таких фірм, як ABB, Siemens, Allen-Bradley, Toshiba, Mitsubishi, Robicon, Ansaldo, Alstom, ESTEL, GE, Hyundai та інших. Слід зазначити, що всі схеми перевірені часом і, таким чином, можуть використовуватися для приводу механізмів в нафтогазовій промисловості. Усі компанії використовують, в основному, загальний, доступний всім набір компонентів і матеріалів, застосовуючи приблизно схожі технічні рішення [1-3]. Це стосується, перш за все, прийомів забезпечення електромагнітної сумісності, принципів автоматичного управління. Відмінності складаються, в основному, в тих чи інших вдалих топологічних і конструктивних рішеннях, дизайні, опціях та програмному забезпеченні. В даний час коло раціональних технічних рішень для різних схем і видів ВПЧ з автономними інверторами струму (AIC) і напруги (AИ) в цілому визначився, але процес їх вдосконалення безперервно триває в зв'язку з появою нових силових напівпровідникових елементів.

**Мета роботи** – дослідження різних типів сучасних високовольтних перетворювачів частоти, розгляд й порівняння їх характеристик та визначення перетворювачів з найкращими показниками для потужних електроприводів бурових насосів і бурових лебідок, які зможуть забезпечити збільшення продуктивності обладнання, зниження споживання електроенергії та зменшення капітальних витрат при бурінні.

## Матеріал і результати дослідження

Застосування регульованого електроприводу в нафтовидобувній промисловості забезпечує:

- частотний пуск і останів високовольтних двигунів без великих кидків пускових струмів;
- економію до 30-40% електроенергії, споживаної двигунами;
- необхідні швидкісні характеристики приводу бурових лебідок у всіх чотирьох квадрантах механічної характеристики;
- регулювання частоти обертання від 0,1 до 120 Гц в замкненому і розімкненому контурі;
- зниження аварійності обладнання і зменшення витрат на ремонт і обслуговування, а також скорочення аварійних простоїв виробництва;
- створення замкнених систем асинхронного електроприводу з можливістю точні підтримки заданих технологічних параметрів.

Вентильні високовольтні перетворювачі частоти призначені для частотного пуску і регулювання швидкості обертання високовольтних електродвигунів, потужністю 250 - 5000 кВт. Вони перетворюють електричну енергію трифазної мережі змінного струму промислової частоти напругою 3, 6 або 10 кВ в трифазну напругу з параметрами частоти і напруги, що змінюються за законом частотного регулювання. Існує чотири основні схеми побудови перетворювачів: прямого перетворення, з низьковольтною ланкою, багаторівневі та каскадні.

**Електропривод прямого перетворення ПЧСВ** застосовується, якщо напруга мережі живлення і номінальна напруга двигуна відповідають напрузі перетворювача частоти. Він включає в себе послідовно з'єднані високовольтний випрямляч з системою керування, інвертор і дросель згладження в ланці постійного струму. Навантаженням інвертора є привідний електродвигун [2]. Для симетрування силової схеми перетворювача дроселі згладження виконуються з розщепленою обмоткою (з двома напівобмотками). Обмотки дроселя включаються послідовно в обидва полюси ланки постійного струму. Можливе застосування і двох незалежних дроселів. Силові схеми керованого випрямляча та інвертора будуються на базі трифазних мостів. Силові вентилі, які характеризуються розкидом заряду відновлення, шунтуються ланцюгами динамічного розподілу напруги із послідовним включенням вентилів при комутації.

**Перетворювачі частоти з низьковольтною ланкою ПЧСН** аналогічні за принципом дії, функціональними можливостями, призначенням і областю застосування високовольтним перетворювачам прямого перетворення. Перетворювачі з низьковольтною ланкою є альтернативою прямих перетворювачів для досить вузького діапазону електроприводів з синхронними двигунами потужністю від 320 до 1600 кВт. Для цього діапазону потужностей виявилось вигідно знизити робочі напруги перетворю-

вача. І хоча зниження робочої напруги вимагає установки понижувального трансформатора на вході і підвищувального трансформатора на виході перетворювача, загальний економічний ефект очевидний. Так, наприклад, для синхронного двигуна потужністю 1600 кВт ціна одного кВт потужності при закупці комплектного ПЧ прямого перетворення становить 106 \$, а при застосуванні комплектного ПЧ з низьковольтною ланкою - 64 \$. Такий економічний ефект можна пояснити такими причинами:

а) зниження робочої напруги перетворювача дозволяє встановити лише по одному вентилю в плечах випрямляча й інвертора;

б) при робочій напрузі 6 кВ всі ізоляційні відстані в шафі перетворювача повинні бути збільшені у відповідності з діючими вимогам. Тому габарити щита високовольтного перетворювача (в основному, за рахунок площі) буде в 2,5...3 рази більше, ніж низьковольтного;

в) в високовольтному перетворювачі відсутні вхідний й вихідний трансформатори, але необхідні вхідний струмообмежуючий реактор і високовольтний дросель, що згладжує пульсації. Габарити даних пристроїв відповідають габаритам трансформаторів потужністю 450-700 кВА.

Вказані обставини ускладнюють експлуатацію високовольтних перетворювачів частоти.

В ПЧСН напруга мережі 6 кВ подається на понижувальний трансформатор, який перетворює її в трифазну напругу 0,4 или 0,66 кВ. Ця напруга подається на низьковольтний перетворювач частоти, де перетворюється в трифазну напругу зі змінною частотою і амплітудою. Форма, частота й амплітуда вихідного струму визначається алгоритмами пристрою керування. Далі сигнал фільтрується і надходить до підвищувального трансформатора для отримання високої (6кВ) напруги.

Перетворювач, побудований по даній двотрансформаторній схемі, дозволяє використовувати для регулювання частоти відносно дешевий низьковольтний перетворювач. Тому перетворювачі ПЧСН часто застосовують в діапазоні потужностей до 1,5 МВт.

Основними недоліками двотрансформаторних перетворювачів є високі масогабаритні характеристики, а також менші, в порівнянні з іншими схемами, ККД (93 - 96%) і надійність. Ці перетворювачі мають обмежений діапазон регулювання частоти обертання двигуна як зверху, так і знизу від номінального значення [3].

**Багаторівневі перетворювачі частоти** відрізняються від вищерозглянутих тим, що в них велика кількість послідовно включених вентилів використовується для формування вихідної напруги зі зменшеними кроками по напрузі. Це забезпечує кращу форму кривої вихідної напруги, а також зменшує стрибки напруги, що покращує режим роботи навантаження і знижує рівень електромагнітних завад, які випромінюються перетворювачем. Такі перетворю-

вачі частоти будуються за схемою автономного інвертора напруги на IGBT- транзисторах. Існує два класи схем багаторівневих перетворювачів: з прив'язкою середньої точки через розділові діоди і з плаваючими конденсаторами.

Для зменшення вищих гармонік в перетворювачах обох типів використовується багаторівнева широтно - імпульсна модуляція. Закони модуляції складні і реалізуються на базі мікроконтролерів. Вони повинні враховувати, в тому числі, і зміни напруги на конденсаторах при протіканні через них струму навантаження. Найбільш перспективною топологією перетворювача частоти для потужних високовольтних пристроїв є топологія багаторівневого інвертора напруги з каскадним з'єднанням інверторних комірок в кожній фазі.

**Каскадні перетворювачі** також забезпечують багаторівневе формування вихідної напруги. Вони будуються на базі H - мостових комірок. На відміну від розглянутих вище багаторівневих перетворювачів, кожна комірка повинна живитися від ізольованого джерела постійної напруги. Тому на вході кожної комірки передбачений індивідуальний трифазний мостовий випрямляч, який, в свою чергу, живиться від окремої вторинної обмотки багатообмоточного трансформатора. На випадок аварії однієї з комірок у кожній із них передбачений обхідний контактор. При виникненні аварії він закорочує вихід комірки, виключаючи її з послідовного ланцюга, а виправлені комірки можуть продовжувати роботу.

Високовольтні транзисторні перетворювачі частоти призначені для регулювання частоти обертання асинхронних і синхронних електродвигунів з номінальною напругою 3, 6 або 10 кВ потужністю до 5 МВт. Кількість мостів в фазі залежить від напруги мережі живлення і класу напруги застосованих транзисторних модулів. Погоджувальні трансформатори будуються за спеціальною схемою з декількома вторинними (гальванічно не пов'язаними) обмотками. У більшості випадків перетворювачі поєднуються із загальнопромисловими двигунами без установки спеціальних вихідних фільтрів. Система управління дозволяє реалізувати різні закони регулювання частоти вихідної напруги в широкому діапазоні (від 0,1-120 Гц), а також векторне управління. Завдяки використанню багатообмотувальних вхідних трансформаторів і структури силової схеми з великим числом комірок, струм споживаний перетворювачем частоти, має практично синусоїдальну форму, що забезпечує відповідність показників якості мережі. При цьому коефіцієнт потужності перевищує 95% у всьому швидкісному діапазоні без використання зовнішніх конденсаторів для його підвищення. При роботі з низькою швидкістю приводи є найбільш ефективними, тому що на всьому швидкісному діапазоні підтримується стабільно високий коефіцієнт електричної потужності з використанням стандартних асинхронних двигунів.

Силова схема каскадного багаторівневого інвертора зазвичай містить від трьох до десяти інверторних комірок, які ввімкнені послідовно у кожен фазу [4]. Досліджувана схема містить 15 симетричних інверторних комірок (рис. 1), по п'ять послідовно з'єднаних комірок в кожній фазі.

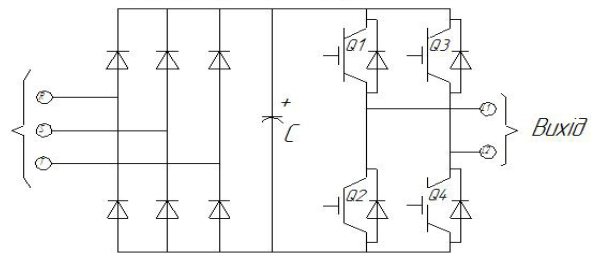


Рис. 1. Комірка багаторівневого інвертора

Таке підключення забезпечує на затискачах електродвигуна лінійну напругу близько 6000 В, яка зазвичай використовується для приводу бурових насосів та лебідок. Інверторні комірки живляться кожна від окремої вторинної обмотки вхідного багатообмотувального трансформатора, з'єднаної в зигзаг з метою забезпечення необхідного фазового зсуву для формування рівнів вихідної напруги. Вхідний трансформатор багаторівневого інвертора напруги первинною обмоткою підключається до трифазної мережі змінної напруги 10 кВ промислової частоти 50 Гц. Діюча напруга кожної комірки визначається за співвідношенням:

$$U_{2n} = \frac{U_{л}}{k \cdot \sqrt{3}},$$

де  $k$  – кількість комірок у фазі.

Фазна напруга під час навантаження формується шляхом підсумовування напруг послідовно з'єднаних інверторних комірок. Кут зсуву вектора вторинної напруги  $n$ -ої обмотки визначається за наступним виразом:

$$\phi = 60 \frac{n_1}{k}, \quad \text{де } n_1 = 1, 2, 3, \dots, (k-1)/2.$$

Було проведено моделювання багаторівневого інвертора напруги в системі MATLAB для електроприводу бурової лебідки потужністю двигуна 630 кВт (рис. 2).

MatLab - модель включає наступні елементи:

- трифазне джерело синусоїдальної напруги, що імітує трифазну промислову мережу на напругу 6 кВ, частотою 50 Гц при повній потужності трифазного короткого замикання 300 МВА (Three-Phase Power Grid);
- багатообмотковий трансформатор (Multi Winding Transformer);
- інверторні комірки H-bridge (A1-A5, B1-B5, C1-C5);
- блок, що моделює резистивний опір протяжної кабельної лінії від перетворювача до затискачів електродвигуна (Three-Phase Cable Resistance);



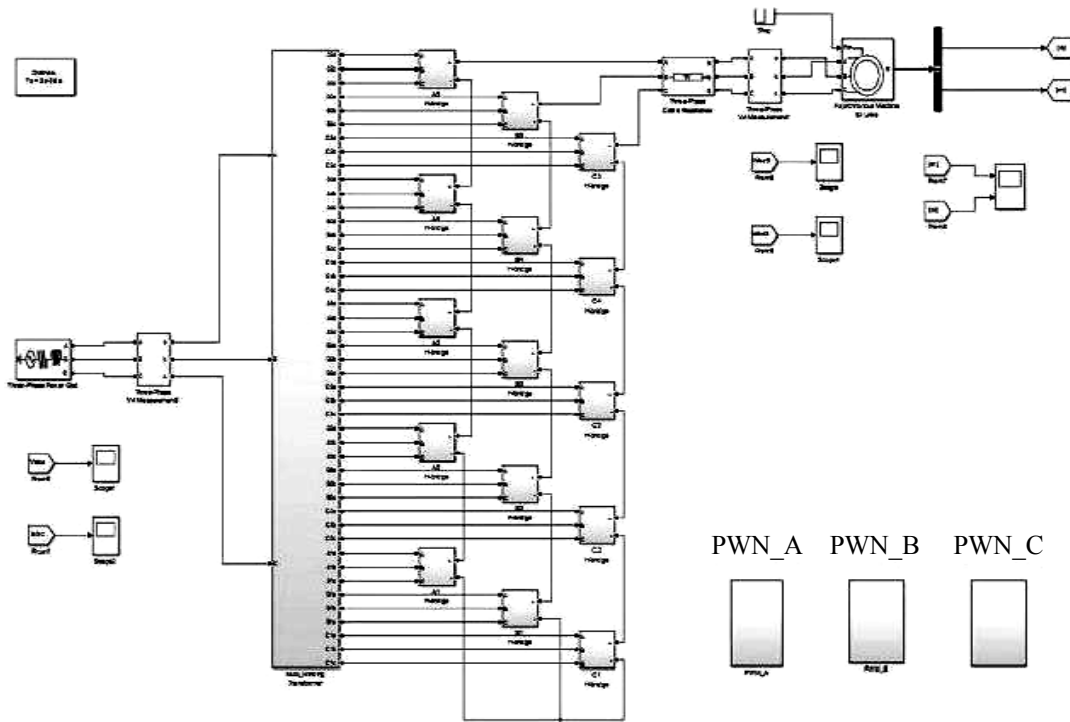


Рис. 2. MatLab-модель електроприводу на базі багаторівневого інвертора напруги

- трифазний асинхронний електродвигун потужністю 630 кВт напругою 6000 В (Asynchronous Machine);
- три блоки формування ШІМ для інверторних комірок відповідних фаз (PWM\_A, PWM\_B, PWM\_C).

Багатообмотковий трансформатор побудований за допомогою з'єднання стандартних блоків Zigzag Fase - Shifting Transformer із завданням необхідного фазового зсуву кожної вторинної обмотки.

MatLab - модель системи управління складається з блоку завдання швидкості і блоку управління інвертором. Використовується принцип векторного управління. Система блоку розрахунку сигналів управління інвертором складається з регулятора швидкості, регулятора поточечплення ротора і блоку обчислення завдання фазних напруг.

Регулятор швидкості являє собою ПІ - регулятор, на входи якого поступають сигнали завдання швидкості і сигнал зворотного зв'язку по швидкості ротора електродвигуна. Значення струмів по поздовжній і поперечній осях  $I_d$  і  $I_q$  отримуємо за допомогою блоку *abc\_to\_dq Transformation*, на вхід якого подаються сигнали зворотного зв'язку по фазним струмам статора і розраховані значення синуса і косинуса кута положення вектора потокозчеплення ротора. Кут положення вектора потокозчеплення ротора знаходиться за виразами:

$$i_q = \frac{2}{3} \cdot \left[ i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right],$$

$$i_d = \frac{2}{3} \cdot \left[ i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right].$$

$$\theta = \int_0^T (\omega_r + \omega_m) dt,$$

де  $\omega_r = L_m^* \cdot I_q / (T \cdot \Psi_r)$  – швидкість обертання ротору;  $\omega_m$  – механічна швидкість ротору, а струми завдання розраховуються за виразами:

$$I_q^* = \frac{\Psi_r}{L_m^*}, \quad I_d^* = \frac{(L_m^* + L_2) \cdot \Psi_r}{L_m^* \cdot T_B^*}.$$

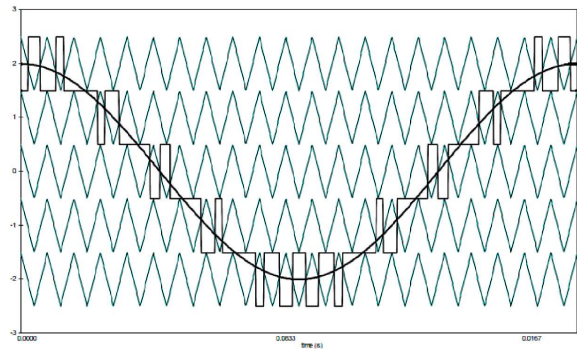


Рис. 3. Принцип формування імпульсів управління транзисторами однієї фази

Розраховані струми керування  $I_{d\_reg}, I_{q\_reg}$  отримуються у відповідних блоках, які являються дискретними ПІ-регуляторами. Сигнали управління інвертором розраховуються виконанням зворотного переходу від системи координат dq в abc:

$$u_{a\_reg} = I_{d\_reg} \cdot \sin \theta + I_{q\_reg} \cdot \cos \theta,$$

$$u_{b\_reg} = 0,5 \cdot \left[ (\sqrt{3} \cdot \sin \theta - \cos \theta) \cdot I_{q\_reg} - (\sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta) \cdot I_{d\_reg} \right],$$

$$u_{c\_reg} = -u_{a\_reg} - u_{b\_reg}.$$

Блоки формування і розподілу імпульсів управління (PWM\_A, PWM\_B, PWM\_C) представляють собою ШІМ генератори, що передають імпульси управління транзисторам Н-мостових комірок відповідного рівня. Формування імпульсів управління транзисторами кожної фази відбувається порівнянням п'яти рівнів пилкоподібної опорної напруги і однієї синусоїдальної обвідної заданої частоти, як показано на рис. 3.

Синтезована Malab - модель лебідки дозволяє в реальному часі проводити дослідження статичних і динамічних режимів її роботи, а також перехідних процесів, що відбуваються в системі. На рис. 4, 5 представлені осцилограми електромагнітного моменту на валу двигуна і швидкості обертання ротора при розгоні електродвигуна до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження.

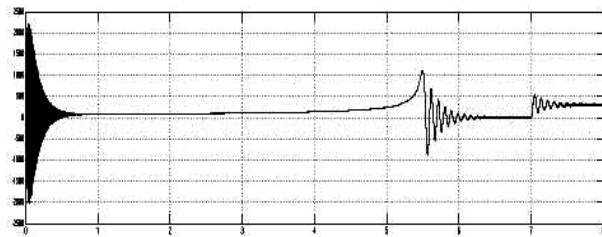


Рис. 4. Осцилограми електромагнітного моменту електродвигуна при пуску, розгоні до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження

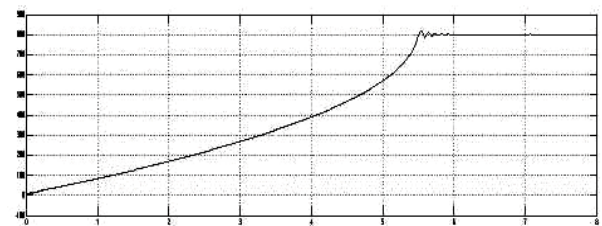


Рис. 5. Осцилограми швидкості обертання валу електродвигуна при пуску, розгоні до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження

На рис. 6, 7 показані осцилограми напруги і струму на виході багаторівневого інвертора напруги. На стадії робочого проектування електроприводних бурових установок необхідно приділяти увагу побудові комп'ютерної моделі, що розробляється, і аналізу можливих сталей і перехідних режимів роботи агрегатів.

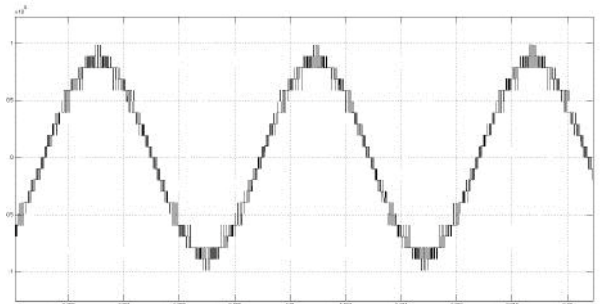


Рис. 6. Осцилограми напруги на виході багаторівневого інвертора напруги

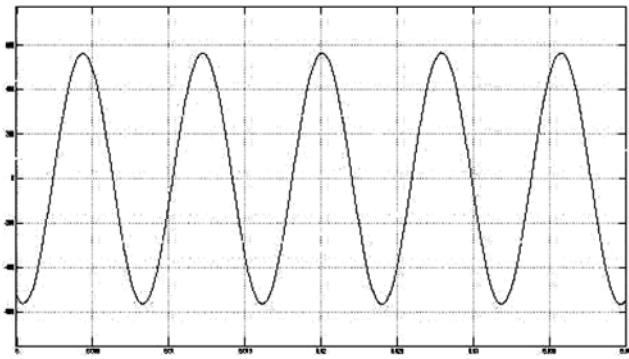


Рис. 7. Осцилограми струму на виході багаторівневого інвертора напруги

Дана модель може бути використана для аналізу режимів роботи на стадії розробки проектно-документації.

Представлені результати дослідження частотно-регульованого електроприводу спуско-підйомного агрегату на базі багаторівневого інвертора напруги. Розглянуто вплив перетворювача частоти на живильну мережу і електродвигун.

Результати моделювання показали високу ефективність застосування багаторівневої топології побудови силової частини високовольтного інвертора для електроприводних бурових установок.

Можна зазначити, що для збереження електроенергії, досягнення плавності пуску та роботи під час спуско-підйомних операцій доцільно використовувати багаторівневий, або каскадний інвертор напруги. Також з досягненням плавності старту обертання барабану майже на 25...30 % зменшується зношення деталей механічної частини лебідки.

З наявних в серійному виробництві найбільш підходящими, на наш погляд, для приводу бурових установок є перетворювачі частоти Yaskawa серії FSDrive-MV1S. Вони відомі як суперенергозберігаючі високовольтні перетворювачі загального призначення, які призначені для керування асинхронними двигунами потужністю від 132 до 5000 кВт з напругою живлення 3-11 кВ. Перетворювачі FSDrive-MV1S підходять для застосувань як зі змінним (насоси, вентилятори, підйомне обладнання), так і з постійним моментом на валу двигунів (екструдери, міксери, обертові печі). Багаторівневий вихідний сигнал перетворювачів дозволяє отримати синусоїдальну форму вихідної напруги без застосування додаткових фільтрів. Таким чином, ККД перетворювачів FSDrive-MV1S досягає 97%.

Завдяки використанню багатообмотувальних вхідних трансформаторів і структури силової схеми з великим числом комірок, струм споживаний перетворювачем частоти має практично синусоїдальну форму, що забезпечує відповідність показників якості мережі. При цьому коефіцієнт потужності перевищує 95% у всьому швидкісному діапазоні без використання зовнішніх конденсаторів для його під-

вищення. При роботі з низькою швидкістю приводи є найбільш ефективними, тому що на всьому швидкісному діапазоні підтримується стабільно високий коефіцієнт електричної потужності з використанням стандартних асинхронних двигунів.

Основними перевагами каскадної багаторівневої системи є:

- висока якість вихідної напруги і струму;
- багаторівнева схема формування вихідної напруги забезпечує синусоїдальну форму вихідного струму при практично повній відсутності вищих гармонік;
- висока якість споживаного з мережі струму і, відповідно, гарна електромагнітна сумісність з системою електропостачання;
- інтегрований силовий багатообмотувальний трансформатор в складі єдиного щита і новітня схема побудови перетворювальної частини забезпечують синусоїдальність споживаного струму і практично повну відсутність впливу на мережу живлення вищих гармонік; високий коефіцієнт потужності і високий ККД;
- підвищена надійність роботи, так як навіть у разі відмови декількох силових комірок продовжиться регулювання електродвигуна зі зниженням вихідної потужності до планового ремонту перетворювача;
- відсутність необхідності установки вихідних фільтрів електродвигуна для поліпшення форми вихідного струму;
- потужність від сотень кВт до десятків МВт;
- діапазон вихідних напруг від 2 кВ до 14,5 кВ;
- вихідна частота до 250 Гц.

## Висновки

Отже, багаторівневий інвертор напруги на сьогоднішній день є найбільш перспективною тополо-

гією побудови силової частини високовольтних перетворювачів частоти для регульованого електроприводу бурових установок.

## Список літератури

1. Гузев Б.В., Хакимьянов М.И. *Современные промышленные высоковольтные преобразователи частоты для регулирования асинхронных и синхронных двигателей* // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*, 2011, № 3 <http://www.ogbus.ru>
2. Преобразователь частоты синхронный высоковольтный серии ПЧСВ. *Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]* // Инженерная компания "ТЕХНОРОС": [сайт]. URL: <http://www.technoros.spb.ru/vvpc-pcsv.html> (дата обращения 10.11.2016).
3. Преобразователи частоты тиристорные серии ПЧИТ: *Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]* // Инженерная компания "ТЕХНОРОС": [сайт]. URL: <http://www.technoros.spb.ru/vvpc-pcit.html> (дата обращения 12.11.2016).
4. Л.С. Ломакина, Д.Г. Садилов, В.Г.Титов. *Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата* // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева* . 2014. № 5(107).
5. Колпаков А. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // *Силовая электроника*. 2009. №2. С. 57–65.
6. Садилов, Д.Г. Выбор перспективной топологии построения преобразователя частоты для высоковольтного электродвигателя электроприводного газоперекачивающего агрегата // *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»*, 2014. №1.
7. Лазарев Г.Б. *Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем* // *Новости электротехники*. 2005. № 2 (32). С. 30-36.

Надійшла до редколегії 14.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Шульга, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

## СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Н.В. Ермилова, С.И. Калов

*Проанализированы структуры и конструктивные особенности современных высоковольтных преобразователей частоты. Приведен краткий анализ схем и элементов преобразователей частоты: многофазных трансформаторов, силовых ячеек, фильтров. Построена и исследована MatLab-модель электропривода буровой лебедки. Сделан анализ перспектив развития высоковольтных преобразователей частоты и их применения в мощных электроприводах буровых установок.*

**Ключевые слова:** высоковольтный преобразователь частоты, буровая установка, регулируемый электропривод, силовая ячейка, трансформатор, асинхронный двигатель.

## COMPARISON AND SELECTION OF HIGH-FREQUENCY CONVERTERS FOR ELECTRIC DRIVE OF DRILLING RIGS

N.V. Yermilova, S.I. Kalov

*We analyzed the structure and design features of modern high-frequency converters. A brief analysis of the circuit elements and frequency converters: multi-phase transformers, power cells, filters. Constructed and investigated MatLab-model electric drawworks. The analysis of the prospects for the development of high-voltage frequency converters and their use in high-power electric drives of drilling rigs.*

**Keywords:** high-voltage frequency converter, drilling rig, regulated electric drive, power cell, transformer, induction motor.

УДК 681.513

В.В. Лимаренко, И.П. Хавина, А.Н. Рысованый

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

На примере нахождения оптимальных параметров операций торцевого фрезерования показана постановка и решения задачи с учетом: накапливаемого износа инструмента по задней стенке; вычисляемого периода стойкости инструмента и изменения коэффициента полезного действия станка. Постановка задачи осуществлялась в виде МОЗ с тремя целевыми функциями: себестоимость операции, энергетические затраты на операцию и производительность операций. Результаты получены путем расчета Парето-эффективного решения с помощью генетического алгоритма FFGA. Такой подход позволяет решать комплексно задачи реального производства.

**Ключевые слова:** оптимальные параметры операции, накапливаемый износ инструмента, стойкость инструмента, многокритериальная оптимизационная задача, Парето решение.

### Актуальность темы

На современном этапе развития промышленного производства около 70-80% изделий изготавливаются с помощью обработки резанием, т.к. технологические процессы (ТП) механической обработки (резка, точение, фрезерование, сверление и т.п.) обеспечивают высокое качество обрабатываемой поверхности при сравнительно небольших затратах на обработку. В последние годы проводится большое количество исследований, направленных на улучшение эффективности ТП механической обработки. Одним из направлений совершенствования ТП являются применение систем поддержки принятия решений (СППР), которые имеют в своем составе базу знаний (БЗ) и на основе методов искусственного интеллекта выполняют расчет оптимальных параметров операций механообработки металлов [1, 2].

Задача параметрической оптимизации процессов механообработки металлов является сложной многокритериальной и многопараметрической оптимизационной задачей т.к. процесс резания характеризуется большим количеством параметров и факторов, которые имеют сложную связь и взаимное влияние. На рис. 1 показана сокращенная схема связей параметров и факторов, входящих в процесс механообработки резанием и их взаимного влияния. Все параметры условно можно разделить на входные и выходные. К входным параметрам можно отнести те, которые непосредственно влияют на характеристики получаемых изделий, а выходными считать те, которые являются непосредственными характеристиками изделия, получаемого в результате механообработки. На рис. 1 в прямоугольных блоках изображены те факторы и параметры, которые можно отнести к входным.

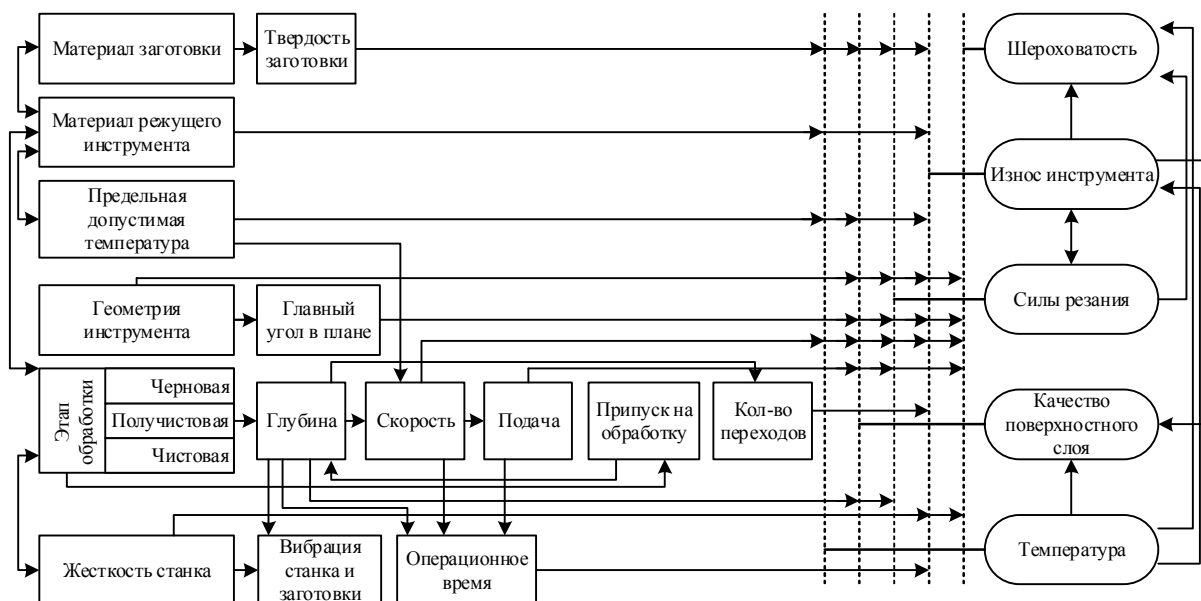


Рис. 1. Схема связей входных и выходных параметров ТП механообработки и их взаимного влияния

Часть этих факторов и параметров являются исходными не могут произвольно изменяться в случае использования конкретного оборудования либо инструмента, остальные формируются, как результат взаимного влияния группы входных и выходных параметров процесса [1-4]. Выходные параметры процесса механообработки (овальные блоки) являются, как результат процесса механообработки. Часть выходных параметров (шероховатость, качество поверхностного слоя) являются технологическими ограничениями, их величина задается в требованиях к конкретной детали, другая группа выходных параметров формируется в процессе механообработки и оказывает соответствующие влияние на качество конечного продукта. Выходные параметры так же имеют сложную структуру взаимосвязей и взаимного влияния друг на друга.

### Постановка задачи

В работе рассмотрена постановка и решение задачи оптимизации параметров резания для операции концевой фрезерования поверхности № 27 детали «Корпус фильтра», являющейся составной частью привода-генератора модели ГП-21 электроэнергии бортовой сети самолета (рис. 2).

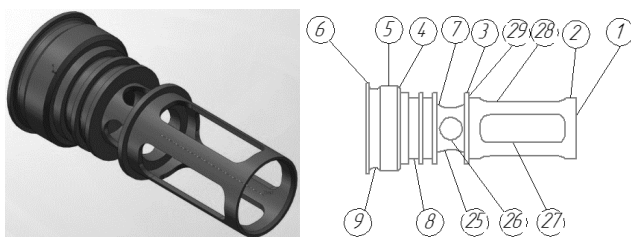


Рис. 2. Общий вид детали «Корпус фильтра» и нумерация его поверхностей

Особенностью задачи является то, что при решении задачи оптимизации, учитывается:  $h_3$  – накапливаемый износ по задней поверхности инструмента;  $T_{эф}$  – период стойкости инструмента, который определяется как сумма времен эффективного использования инструмента при изготовлении оптимальной партии деталей и изменения  $\eta_{ст}$  – коэффициента полезного действия станка. Это позволяет математическую модель операций резания максимально приблизить к реальной физической модели процесса. В работе не учитывается влияние температуры, т.к. рассматриваются операции с очень малой толщиной среза. При оптимизации параметров операций фрезерования принято восемь технологических ограничений, которые сформированы на основании работ [3-4].

**Ограничение 1.** За мощность электродвигателя привода главного движения станка [3, 4]  $N_{дв} = F_c V / (60 \cdot 10^3 \eta_{ст}) \leq N_{дв.пасп}$ , где  $N_{дв}$  – потребляемая мощность электродвигателя станка, кВт;

$F_c$  – тангенциальная составляющие силы резания, Н;  $V$  – скорость операции резания, м/мин;  $\eta_{ст} = \eta_{дв} \eta_{к}$  – коэффициент полезного действия станка, где  $\eta_{дв}$  – КПД двигателя,  $\eta_{к}$  – КПД кинематической цепи станка, %;  $N_{дв.пасп}$  – предельная паспортная потребляемая мощность электродвигателя станка, кВт.

**Ограничения 2 – 5.** По диапазону скорости и подачи операции резания  $V_{min} \leq V \leq V_{max}$ , и  $S_{min} \leq S \leq S_{max}$ , где  $V_{min}, V_{max}$  – минимальная и максимальная скорость оборотов инструмента на станке, м/мин;  $S_{min}, S_{max}$  – минимальная и максимальная допустимая скорость подачи станка, мм/мин [3, 4].

**Ограничение 6.** По прочности зуба инструмента  $\sigma_{max} = F_c l_{в.з} / W \leq [\sigma_{и}], [\sigma_{и}] = \sigma_{о.н.} / k_{з.п}$ , где  $l_{в.з}$  – вылет зуба фрезы, мм;  $W$  – момент сопротивления поперечника державки резца, мм<sup>3</sup>;  $[\sigma_{и}]$  – допустимое напряжение материала державки резца, МПа;  $k_{з.п}$  – коэффициент запаса прочности;  $\sigma_{о.н.}$  – опасное напряжение для материала державки, Мпа [3, 4].

**Ограничение 7.** По жесткости инструмента  $f_{и} = F_{у.макс} l_{в.ф}^3 / (3E_{и} I_{и}) \leq f_{ди}$ , где  $f_{и}$  – стрела прогиба державки фрезы, мм;  $l_{в.ф}$  – длина вылета резца фрезы, мм;  $E_{и}$  – модуль упругости материала державки фрезы, Н/мм<sup>2</sup>;  $I_{и} = W_{д} H_{д}^3 / 12$  – момент инерции поперечника державки фрезы, мм<sup>4</sup>;  $W_{д}$  – ширина прямоугольного поперечника державки фрезы, мм;  $H_{д}$  – высота прямоугольного поперечника державки фрезы, мм;  $f_{ди}$  – допустимая стрела прогиба державки фрезы, мм [3, 4].

**Ограничение 8.** По требованию к шероховатости поверхности [1-6]  $R_a = f_1(V, S, t, h_3) \leq R_{a\max}$ , где  $R_a$  – фактическая шероховатость поверхности и  $h_3$  – фактический износ инструмента, при реализуемых режимах операции, мкм;  $R_{a\max}$  – максимально допустимая шероховатость поверхности, мкм [3-4].

В работе для параметрической оптимизации операции конечного фрезерования применяются три целевые функции: себестоимость операции  $A$ , энергозатраты (потребляемая мощность)  $\mathcal{E}$  и производительность операций  $Q$ , что позволяет решать комплексно задачи реального производства.

**Целевая функция 1.** Себестоимость операции

$$A = \frac{l_3}{S} \left( a_{раб} + a_{эксп} + \frac{e}{T_{эф}} + \frac{q_3 F_c V}{6 \cdot 10^4 \eta_{ст}} \right) \Rightarrow \min,$$

где  $T_{эф} = \sum_1^n \tau_o(V, S, t, h_3)$ , а  $n$  – количество циклов, отработанных инструментом до момента его замены.

Т.е. эксплуатация инструмента происходит до момента, пока себестоимость операции не превысит допустимого уровня.

Целевая функция 2. Удельные энергозатраты

$$\text{(потребляемая мощность)} \quad \Theta = \frac{F_C V}{6 \cdot 10^4 \eta_{ст}} \Rightarrow \min.$$

Целевая функция 3. Производительность операции [3, 4]  $Q = St/(1_3 \Delta) \Rightarrow \max.$

В работе получила дальнейшее развитие модель [58], на основании которой получены соотношения для расчета сил при операциях фрезерования:

$$F_x = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} C_1(\cos 2\theta_m - \cos 2\theta_n) + \\ + C_2 \left[ (\sin 2\theta_m - \sin 2\theta_n) - 0.5(\theta_m - \theta_n) \right] - \\ - C_3(\sin \theta_m - \sin \theta_n) + C_4(\cos \theta_m - \cos \theta_n) \end{array} \right\},$$

$$F_y = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} -C_1 \left[ (\sin 2\theta_m - \sin 2\theta_n) - 0.5(\theta_m - \theta_n) \right] + \\ + C_2(\cos 2\theta_m - \cos 2\theta_n) - \\ - C_3(\cos \theta_m - \cos \theta_n) - C_4(\sin \theta_m - \sin \theta_n) \end{array} \right\},$$

$$F_c = 4C_1(\cos \theta_m - \cos \theta_n) + C_4(\cos \theta_m - \cos \theta_n),$$

$$F_t = 4C_2(\cos \theta_m - \cos \theta_n) + C_3(\cos \theta_m - \cos \theta_n),$$

$$C_1 = C_{cs} r_{\Phi} f_t / (4tg\beta), \quad C_2 = C_{ts} r_{\Phi} f_t / (4tg\beta),$$

$$C_3 = \frac{r_{\Phi}}{tg\beta} (C_{te} + C_{tw} h_3), \quad C_4 = \frac{r_{\Phi}}{tg\beta} (C_{ce} + C_{cw} h_3),$$

где  $F_x$  – сила, действующая в направлении продольной подачи, Н;  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , – вычисляемые константы;  $\theta_n, \theta_m$  – углы, определяющие положение начальной и конечной точки режущей кромки зуба фрезы, находящегося в текущий момент времени в контакте с обрабатываемым материалом;  $F_y$  – сила, действующая в направлении поперечной подачи, Н;  $F_t$  – нормальная компонента силы резания, Н;  $C_{cs}, C_{ts}$  – экспериментальные константы резания, представляющие собой удельные характеристики процесса резания, связанные с процессом стружкообразования (Н/мм<sup>2</sup>);  $C_{ce}, C_{te}$  – экспериментальные константы резания, представляющие собой удельные характеристики процесса резания, связанные с влиянием величины радиуса закругления режущей кромки на силы резания (Н/мм);  $C_{cw}, C_{tw}$  – экспериментальные компоненты удельного давления на площадке износа по задней поверхности инструмента (Н/мм<sup>2</sup>);  $r_{\Phi}$  – радиус фрезы (мм);  $f_t$  – подача на зуб (мм/зуб);  $\beta$  – угол наклона режущей кромки (рад);  $h_3$  – износ инструмента по задней поверхности (мм).

Наибольшее влияние на изменение параметров операций с течением времени имеет величина износа инструмента  $h_3$ , т.к. от него зависит уровень сил в зоне резания, шероховатость поверхности, температурные явления, размерная точность получаемой детали и т.п. [1, 4-7].

## Основная часть

В работе определены оптимальные параметры для операции концевой фрезерования с учетом накапливаемого износа по задней поверхности инструмента, т.к. на основании работ [6, 7] выявлено, что основной износ возникает между задней поверхностью инструмента и обработанной поверхностью детали. Также в работе предложен учет изменяющегося КПД электродвигателя в зависимости от мощности, потребляемой станком. Для реализации решения была создана система поддержки принятия решений и база знаний, обеспечивающая систему необходимыми данными и знаниями.

Одной из проблем, возникающих при данной постановке задачи, является то, что не для всех параметров, входящих в математическую модель, известный аналитический вид функции, позволяет рассчитать параметр с заданной точностью. К таким параметрам относятся: стойкость инструмента  $T_{\Phi}$ , уровень износа инструмента по задней поверхности  $h_3$  и фактическая шероховатость поверхности  $R_a$ . При этом  $h_3$  функционал от  $V, S, t, a, T_{\Phi}$  и  $R_a$  – от  $V, S, t, h_3$ . Для нахождения значений данных параметров использована обученная на базе ограниченного числа экспериментальных данных искусственная нейронная сеть перцептрон с двумя скрытыми слоями. Экспериментальные данные приведены в [5, 8-10].

Задача решена в многокритериальной постановке путем расчета Парето-эффективного решения, которое формирует решение, которое в равной мере соответствует требованиям всех целевых функций.

Для поиска Парето-эффективного решения применялся генетический алгоритм Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm (FFGA), который обладает хорошей сходимостью и его решения не выходят за область допустимых решений. Метод FFGA основан на процедуре ранжирования индивидов, которая происходит на основе Парето-доминирования. Ранг индивида зависит и определяется числом доминирующих его индивидов [11-12].

Для работы генетического алгоритма были разработаны фитнес-функции и структура хромосомы, включающая два параметра – скорость подачи  $S$  и скорость резания  $V$ . Вероятность мутации одного бита – 7%; количество особей – 500; вероятность скрещивания – 93%; процесс останавливался при достижении точности вычислений  $\varepsilon = 0,001$ .

Входными параметрами процесса фрезерования для поверхности № 27 являются:

- толщина заготовки – 10 мм;
- сталь – AISI 52100;
- глубина фрезерования  $t = 10$  мм;
- модуль продольной упругости  $E_3 = 2 \cdot 10^5$  МПа;
- коэффициент зависящий от способа закрепления заготовки  $k_3 = 2$ ;
- модуль упругости материала  $E_H = 2 \cdot 10^5$  МПа;

тип станка, инструмента, СОТС и др. входные данные и параметры из БЗ СППР.

Для фрезерования поверхности № 27 применялся станок DMTG-X6140, и инструмент Sandvik CoroMill Plura R215.28 и СОТС Cimstar LD 422. Для параметров операций концевое фрезерования были получены следующие значения:

- глубина резания  $t = 4$  мм,  $\Delta = 2$  мм;
- скорость резания станка:
  - для острого инструмента  $V = 100$  м/мин;
  - для инструмента с износом  $h_3 = 0,2$  мм,  $V = 128$  м/мин;
  - для инструмента с износом  $h_3 = 0,4$  мм,  $V = 147$  м/мин;
- скорость подачи станка:
  - для острого инструмента  $S = 0,57$  мм/об;
  - для инструмента с износом  $h_3 = 0,2$  мм,  $S = 0,52$  мм/об;
  - для инструмента с износом  $h_3 = 0,4$  мм,  $S = 0,47$  мм/об;
- стойкость инструмента  $T_{ЭФ} = 46$  мин.

На рис. 3, 4 приведены сравнительные результаты использования рассчитанных параметров, на основании которых можно сделать вывод, что режимы фрезерования, полученные СППР, более эффективные, чем режимы, применяемые в базовом технологический процессом или режимами рекомендованными фирмой производителем инструмента Sandvik [11, 12].

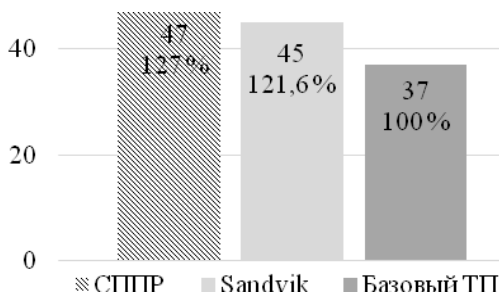


Рис. 3. Количество обработанных деталей за период стойкости инструмента при фрезеровании, шт

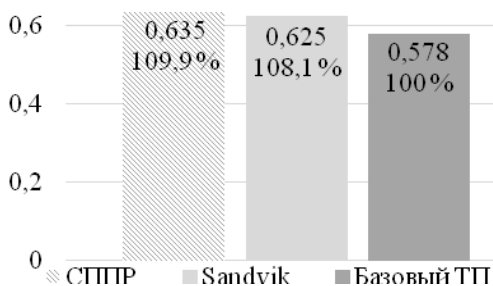


Рис. 4. Производительность операции фрезерования Q при использовании различных операционных режимов, шт/мин

Для операции фрезерования была выполнена верификация полученных результатов. Определя-

лись оптимальные операционные режимы для многоинструментального станка Spinner PD/C и фрезерного станка FGU RT с использованием инструмента Iscar M.M. EC.500B37R060. Проанализировав полученные данные можно сделать вывод о правильности решения, полученного с помощью СППР, потому что в случае выбора другого инструмента или оборудования наблюдается уменьшение  $T_{ЭФ}$  и количества деталей, произведенных за время  $T_{ЭФ}$ , а также увеличение энергозатрат на операцию и себестоимости операции.

На рис. 5, 6 показаны затраты времени и суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах. Время, затрачиваемое на производство одной детали «Корпус фильтра» при использовании ТП, полученного с помощью СППР, на 5,2 % меньше, чем при использовании базового ТП. Суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» тоже уменьшилась с 613,33 грн. в 527,47 грн., что дает экономию 14 %.

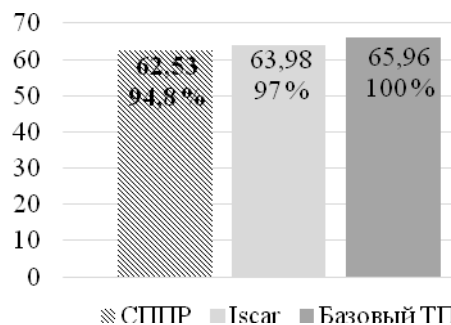


Рис. 5. Время, затрачиваемое на производство одной детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах, мин

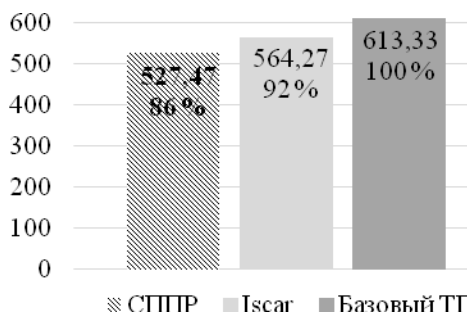


Рис. 6. Суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах, грн

На основании данных, приведенных на рис. 5, 6, можно сделать выводы об эффективности решений, полученных с помощью СППР по сравнению с решениями, предложенными в базовом технологическом процессе или решениями, предложенными фирмами-производителями инструмента Iscar [13, 14] и Sandvik [11, 12].

В результате расчетов были получены оптимальные параметры режимов для операции фрезеро-

вания, применение которых позволяет сократить время изготовления детали на 5,2 %, себестоимость операций на 14 %, при этом средний срок эксплуатации инструмента повышается на 11,83 % по сравнению с режимами базового технологического процесса.

### Выводы по работе

В работе показана постановка и решение задачи определения оптимальных параметров операций торцевого фрезерования, где учитывались: накапливаемый износ инструмента по задней поверхности, период стойкости инструмента и изменения коэффициента полезного действия станка. Постановка задачи осуществлялась в виде МОЗ с тремя целевыми функциями: себестоимость операции, энергозатраты и производительность операций. Результаты получены путем расчета Парето-оптимального решения с помощью генетических алгоритмов. Такой подход позволяет решать комплексно реальные задачи производства.

### Список литературы

1. Воронцов А. Л. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении / А. Л. Воронцов, А. Ю. Албагачиев, Н. М. Султан-заде ; Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 552 с.
2. Богуслаев А. В. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / [А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, и др.] ; под ред. А. В. Богуслаев. – Запорожье : ОАО Мотор Сич, 2009. – 468 с.
3. Яцерицын П. И. Теория резания / П. И. Яцерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич ; Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.
4. Воронцов А. Л. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении / А. Л. Воронцов, А. Ю. Албагачиев, Н. М. Султан-заде ; Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 552 с.
5. Wenge Song. Development of predictive force models for classical orthogonal and oblique cutting and turning operations incorporating tool flank wear effects: PhD / Wenge Song. – Queensland University of Technology, 2006. – 208 p.
6. Белозеров В. А. Механика деформирования и разрушения при резании. Том 2. Обработка инструментами из СТМ / В. А. Белозеров, М. Х. Утешев, А. Н. Калиев ; Тюмень : ТюмНГТУ. – 2012. – 128 с.
7. Старков В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.
8. Yong Huang. Modeling of Cutting Forces Under Hard Turning Conditions Considering Tool Wear Effect / Yong Huang, Steven Y. Liang // Transactions of the ASME, MAY 2005, Vol. 127, 262-270 pp.
9. Milan Milutinović. Cutting Forces in Hard Turning Comprising Tool Flank Wear and its implication for the Friction Between Tool and Workpiece / Milan Milutinović, Ljubodrag Tanović // Tehnički vjesnik. – 2016. – №23. – pp. 1373-1379
10. Tugrul Ozel. Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning / Tugrul Ozel, Tsu-Kong Hsu, Erol Zeren // International journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2005. – №25. – 262-269 pp.
11. Sandvik Coromant [Электронный ресурс] // Sandvik Coromant – электронный каталог. – 2016. – Режим доступа до статті : <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/tools.aspx>.
12. Sandvik Coromant [Электронный ресурс] // Sandvik Coromant – Toolguide. – 2016. – Режим доступа: <http://toolguide.sandvik.coromant.com/TouchTime/>
13. Iscar [Электронный ресурс] // Iscar – электронный каталог. – 2016. – Режим доступа: <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx>
14. Iscar [Электронный ресурс] // Iscar – Machining Power. – 2016. – Режим доступа: <http://mpwr.iscar.com/machiningpwr/machiningpower.wgx?vwginstance=57ced7e2c19045afb4edf6639f8a2fe5>.

Надійшла до редколегії 15.03.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

### ПОСТАНОВКА ТА ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

В.В. Лимаренко, І.П. Хавіна, О.М. Рисований

На прикладі знаходження оптимальних параметрів операцій кінцевого фрезерування показана постановка і вирішення завдання з урахуванням: накопичується зносу по задній стінці інструмента; обчислюється періоду стійкості інструменту і зміни коефіцієнта корисної дії верстата. Постановка завдання здійснювалася у вигляді МОЗ з трьома цільовими функціями: собівартість операції, енергозатрат і продуктивність операцій. Результати отримані шляхом розрахунку Парето-ефективного вирішення за допомогою генетичного алгоритму FFGA. Такий підхід дозволяє вирішувати комплексно завдання реального виробництва.

**Ключові слова:** оптимальні параметри операції, накопичується знос інструменту, стійкість інструменту, багатокритеріальна оптимізаційна задача, Парето рішення.

### STATEMENT AND SOLUTION OF THE PROBLEM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF METAL CUTTING OPERATIONS

V.V. Limarenko, I.P. Havina, O.M. Rysovanyi

On the example of finding the optimal parameters of the end milling operations, the formulation and solution of the problem is shown taking into account: the accumulated wear along the back wall of the tool; The calculated period of tool life and the change in the coefficient of efficiency of the machine. Statement of the problem was carried out in the form of the MOH with three objective functions: the cost of the operation, energy costs and the productivity of operations. The results are obtained by calculating the Pareto-efficient solution using the genetic algorithm FFGA. This approach allows us to solve complex problems of real production.

**Keywords:** optimal operation parameters, accumulated tool wear, tool resistance, multicriteria optimization problem, Pareto solution.



УДК 681.669

А.М. Мінтус

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ МЕТАЛА ПО СЕКЦІЯХ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗОНОЮ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МАШИН НЕПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

У статті розглядається алгоритм визначення середньої швидкості руху неперервно литої заготовки для динамічного управління витратами охолоджувача у зонах вторинного охолодження машин неперервного лиття заготовок. Запропонований алгоритм покликаний допомогти звести до мінімуму негативний вплив перехідних процесів на температурний профіль неперервно литої заготовки і підвищити її якість.

**Ключові слова:** зона вторинного охолодження, динамічне управління, середня швидкість руху.

### Вступ

Система вторинного охолодження істотно впливає на процеси формування неперервно литої заготовки. Вона повинна забезпечувати раціональний розподіл температури уздовж технологічної осі машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ) і бездефектне формування неперервно литої заготовки при її кристалізації. Система управління зоною вторинного охолодження (ЗВО) передбачає роботу в ручному, пропорційному швидкісному і динамічному режимах. Ручний режим призначений для оперативного втручання технологічного персоналу для зміни витрат охолоджувача в будь-якій окремо взятій секції при збереженні автоматичного управління іншими в разі виникнення нештатних ситуацій, а також при підготовці МНЛЗ до розливання. Пропорційний швидкісний режим управління в даний час є найбільш поширеним і базується на табличних даних зміни витрати охолоджувача в залежності від швидкості розливання. При цьому зміна витрат охолоджувача відбувається разом в усіх секціях ЗВО одночасно зі зміною реальної швидкості розливання. Технологічна база табличних даних або керуючих рівнянь складається для всього сортаменту продукції, що розливається, з урахуванням розмірних факторів, хімічного складу і температур стали. Швидкісний режим управління дозволяє досить точно підтримувати необхідний температурний профіль при стаціонарному режимі розливання. Але при неперервному розливанні перехідні режими (зміна швидкості) є невід'ємною частиною технологічного процесу і в таких випадках можуть з'являються переохоложені або перегріті ділянки заготовок, що пов'язане з одночасною зміною витрат охолоджувача в усіх секціях. В кінцевому підсумку це негативно впливає на якість продукції. Динамічний режим управління покликаний звести до мінімуму негативний вплив перехідних процесів на температурний профіль неперервно литої заготовки

і підвищити її якість. Для підтримки оптимальних умов охолодження зливка витрати води по секціях ЗВО необхідно змінювати не миттєво, а протягом певного проміжку часу. Цей проміжок залежить від напрямку та величини зміна швидкості розливання, а також від довжини шляху від меніску металу в кристалізаторі до секції. Існують різні алгоритми динамічної системи управління, але базовим параметром для всіх алгоритмів є контроль за так званою середньою швидкістю різних перетинів заготовки уздовж технологічної осі і монотонна зміна витрат води по кожній із секцій окремо відповідно до значень середньої швидкості. В роботі розглянемо один з можливих алгоритмів визначення середньої швидкості по окремих секціях ЗВО.

### Основна частина

Початкові дані наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Довжина секцій зони вторинного охолодження

ЗОНА	Длина, мм	ЗОНА	Длина, мм
Кристалізатор	$l_{кр}$	№4	$l_4$
№ 1	$l_1$	№5	$l_5$
№2	$l_2$	№6	$l_6$
№3	$l_3$		

#### 1. Розподіл секцій ЗВО на ділянки

Середня швидкість руху металу оцінюється в середині секції ЗВО. Для того, щоб при початку розливання визначити дану швидкість для кожної секції, необхідно відстань від початку секції до її середини поділити на цілу кількість ділянок довжиною  $\Delta l_s$  ( $s$  - номер секції ЗВО), як це наведено на рис. 1.

Виходячи з вищевказаного, розбивку секцій ЗВО можна здійснити за допомогою формули:

$$\Delta l_s = \frac{l_s}{2n_s}, \quad (1)$$

де  $l_s$  – довжина s-ої секції ЗВО;  
 $\Delta l_s$  – довжина ділянки;  
 $n_s$  – ціле число ділянок, яке вибирається для кожної s-ої секції індивідуально.

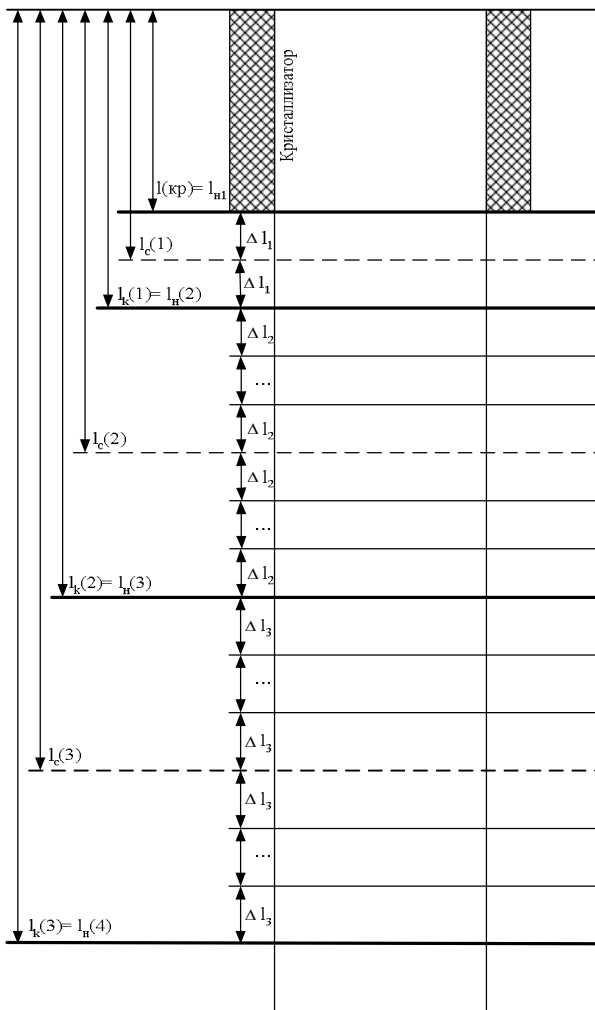


Рис. 1. Схема розміщення ділянок секцій ЗВО

## 2. Розрахунок середньої швидкості розливання для кожної секції ЗВО

### 2.1 Попередні розрахунки

Перед початком розливання задаємося усередненою швидкістю  $v_{cp}$ , відповідно до якої попередньо будуть сформовані витрати води в усіх секціях ЗВО.

### 2.2 Початок розливання.

#### 2.2.1 Перехід з кристалізатора в першу секцію

Після включення механізму витягування зливка починається стеження за переміщенням зливка, тобто розраховується (фіксується) загальна довжина переміщення торця зливка  $L$ . Також фіксується загальний час після початку розливання  $T$  і час проходження зливком ділянок секцій  $\Delta t_s$  (в даному випадку кристалізатора). З цього моменту, на кожному циклі опитування переміщення, перевіряємо виконання умови  $L \geq l(кр)$ . Як тільки переміщення

зливка досягло величини довжини кристалізатора  $L \geq l(кр)$ , починається формування середньої швидкості для першої секції ЗВО. Формування проводиться відповідно до часу проходження зливком  $\Delta t_s$  поточної ділянки секції  $\Delta l_s$ . Час  $\Delta t_s$  при переході з кристалізатора в першу секцію дорівнює часу проходження зливком відстані  $l(кр)$ . З урахуванням дискретизації опитування датчика переміщення (швидкості) розраховуємо час проходження зливком кристалізатора за формулою:

$$t_s = t_{кр} = T - \frac{L - l(кр)}{v_{MT}}, \quad (2.1)$$

де  $v_{MT}$  – миттєве значення швидкості, яке зафіксоване за останній такт до дії.

Для розрахунку усередненої швидкості для першої секції скористаємося формулою:

$$v_{cp}(1) = \frac{l_s}{t_s}, \quad (2.2)$$

де  $l_s = l(кр) = l_n(1)$  – відстань від меніска металу в кристалізаторі до кінця ділянки зони, що пройдена торцем зливка, якщо він не дійшов до середини секції;  $t_s = t_{кр}$  – час переміщення торця зливка від меніска до початку першої зони (виходу з кристалізатора)  $l(кр) = l_n(1)$ , який розрахований з урахуванням дискретизації.

Таким чином, розрахувавши середню швидкість для першої секції  $v_{cp}(1)$  задаємо витрата води в цій секції. Для всіх інших секцій витрата води залишаються поки незмінними.

#### 2.2.2 Розрахунок середньої швидкості з урахуванням переміщення зливка (зливком не дійшов до середини секції ЗВО)

Після того, як зливком досяг початку першої секції, тобто виповнилася умова  $L \geq l(кр)$ , на кожному циклі опитування датчика переміщення починаємо оцінювати становище початку зливка щодо середини першої секції зони вторинного охолодження  $L \geq l_c(1)$ . Якщо умова не виконується, тобто злиток не досяг середини першої секції, то необхідно відстежувати переміщення торця злитка на відстань рівну ділянці першої секції  $\Delta l_1$ . Після того як зливком, за показаннями датчика, переміститься на відстань  $\Delta l_1$ , необхідно також визначати час переміщення зливка по секції на дану відстань. Визначаємо час  $\Delta t_{timer}$  проходження злитком ділянки секції за показниками таймера. Далі, визначаємо помилку в переміщенні, викликану дискретністю опитування датчика переміщення:

$$\Delta L = L - l_s - \Delta l_1, \quad (2.3)$$

де  $l_s$  – відстань від меніска до останнього кінця ділянки зони пройденого торцем злитка;

$L$  – загальна довжина переміщення торця зли-тка;

$\Delta l_1$  – довжина ділянки першої секції,

$$\Delta t_1 = \Delta t_{\text{timer}} - \frac{\Delta L}{v_{\text{MT}}}, \quad (2.4)$$

де  $v_{\text{MT}}$  – миттєве значення швидкості розливання, яке зафіксоване за останній такт до дії;

$\Delta t_{1\_timer}$  – час, за який злиток пройшов від-стань  $\geq \Delta l_1$ ;

$\Delta L$  – відстань на яку злиток перевищив задане значення переміщення.

З урахуванням отриманої величини  $\Delta t_1$  розра-хуємо час від початку розливання до моменту пере-тину торцем зливка відповідної ділянки зони:

$$\Delta t(s) = \Delta t(1) = \Delta t(1) + \Delta t_1. \quad (2.5)$$

Далі розрахуємо усереднену швидкість для першої секції з огляду на зміну часу  $\Delta t(1)$  перемі-щення зливка і відстані  $\Delta l_1$  пройденого ним:

$$v_{\text{cp}}(s) = \frac{l_s}{\Delta t(s)}, \quad (2.6)$$

де  $l_s = l_c + \Delta l_1$  – відстань, яка пройдена торцем злив-ка.

Потім, після коректування швидкості і чергово-го переміщення зливка на відстань  $\Delta l_1$ , повертаємо-ся до перевірки умови досягнення торцем зливка середини першої секції  $L \geq l_c(1)$ . Таким чином, цикл повторюється до тих пір, поки не виконається умова досягнення зливком середини секції.

**2.2.3 Розрахунок середньої швидкості з ураху-ванням переміщення зливка (злиток дійшов до сере-дини секції ЗВО)**

Після того як початок злитка досяг середини секції  $L \geq l_c(s)$ , середню швидкість розрахуємо за формулою:

$$v_{\text{cp}}(1) = \frac{l_s}{\Delta t(s)}, \quad (2.7)$$

де  $l_s = l_c(1)$  – відстань від меніска металу до сере-дини секції;  $\Delta t(s)$  – час проходження торця зливка від меніска до середини відповідної зони.

Розрахунок часу  $\Delta t(s)$  – проводиться за форму-лам 2.3 - 2.5.

**2.2.4 Розрахунок середньої швидкості з ураху-ванням переміщення зливка (злиток пройшов сере-дину секції ЗВО)**

Після перетину торцем злидка середини секції ЗВО  $L > l_c(s)$ , при кожному переміщенні зливка на відстань  $\Delta l_s$  ділянки секції фіксується час прохо-дження цієї ділянки  $\Delta t_{s\_timer}$  та виконується пере-рахунок середньої швидкості.

Так як розрахунок середньої швидкості викону-ється для середини в секції ЗВО, то подальше перемі-щення торця злитка по цій секції не впливає на зна-чення  $l_s$ . Після досягнення зливком середини секції це значення буде розраховуватися таким чином:

$$l_s = l_c(s). \quad (2.8)$$

У свою чергу значення часу  $\Delta t(s)$  проходження зливком від меніска до середини секції, буде зміню-ватися при зміні швидкості розливання. Для коригу-вання часу проходження зливком даної ділянки, визначимо проміжок часу, за який злиток пройде відстань  $\Delta l_s$ , рухаючись зі швидкістю  $v_{\text{cp}}(s)$ :

$$\Delta t^* = \frac{\Delta l_s}{v_{\text{cp}}(s)}, \quad (2.9)$$

де  $v_{\text{cp}}(s)$  – середня швидкість.

Далі, визначимо різницю між фактичним часом  $\Delta t_{s\_timer}$  проходження зливком відстані  $\Delta l_s$  і роз-рахованим за формулою (2.9):

$$\Delta t^{**} = \Delta t_{s\_timer} - \Delta t^*. \quad (2.10)$$

Після зміни значення часу

$$\Delta t(s) = \Delta t(s) + \Delta t^{**}, \quad (2.11)$$

розрахуємо середнє значення швидкості для від-повідної секції ЗВО за виразом:

$$v_{\text{cp}}(s) = \frac{l_c(s)}{\Delta t(s)}.$$

Після коригування усередненої швидкості роз-ливання цикл алгоритму повторюється.

**2.2.4 Вихід переднього торця зливка з остан-ньої секції**

Після того як початок зливка пройде середину останньої секції ЗВО, будуть розраховані середні швидкості для всіх секцій. Таким чином, в подаль-шому, до закінчення розливання, крок переміщення зливка можна прийняти фіксованим, враховуючи зауваження, які наведені в пункті 1. Надалі розраху-нок середньої швидкості зводиться до розрахунку, описаного в пункті 2.2.3.

Результати моделювання процесу наведені на рис. 2, 3.

## Висновки

Запропонований алгоритм формування серед-ньої швидкості по секціях ЗВО забезпечує у перехід-них режимах плавну та монотонну її зміну в зале-жності від віддаленості секції від меніска металу у кристалізаторі. Використання розрахованих за за-пропонованим алгоритмом середніх значень швид-костей по секціях дозволяє сформувати оптимальні значення витрат охолоджувача, особливо у перехід-них режимах, що позитивно відзначається на якіс-них показниках готової продукції.

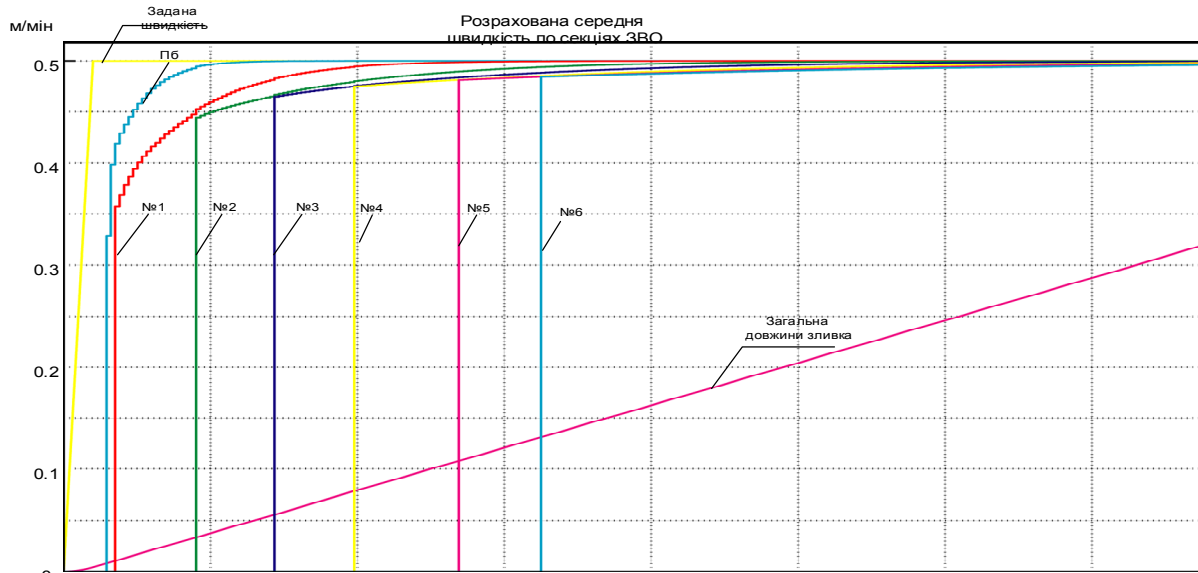


Рис. 2. Результати моделювання розрахунку усередненої швидкості в секціях ЗВО (початок розливання)

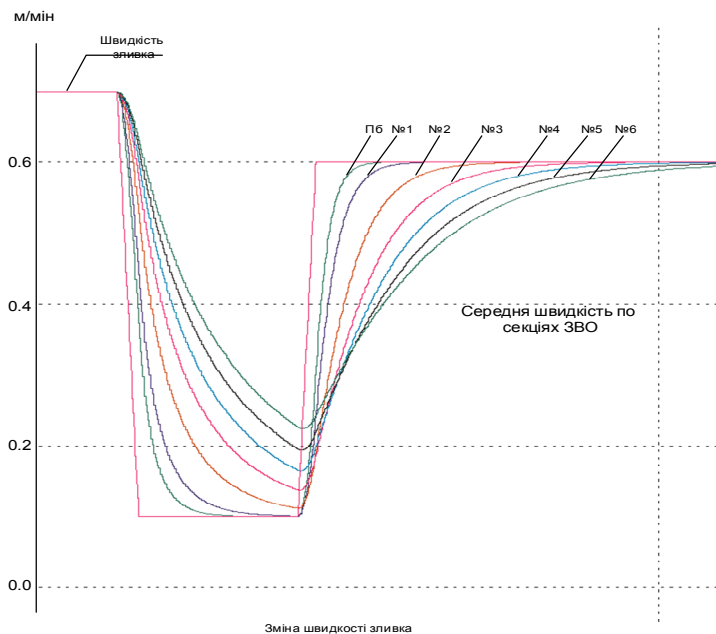


Рис. 3. Результати моделювання розрахунку середньої швидкості по секціях ЗВО (зміна швидкості в процесі розливання)

## Список літератури

1. Целесообразность динамического управления зоной вторичного охлаждения / А. Н. Минтус, А. Ю. Цупрун, Д. А. Денисенко, В. Ю. Мариничев // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – 2007. Вип. № 7(128). – С. 91-94.
2. Некоторые аспекты организации производства в условиях современного микро-завода А. Н. Смирнов, А. Ю. Цупрун, Е. В. Штепан, Е. В. Новикова МЕТАЛЛ И ЛИТЬЕ УКРАИНЫ 1-2'2009). – С. 16-20.

Надійшла до редколегії 20.04.2017

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

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛА ПО СЕКЦИЯМ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗОНОЙ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

А.Н. Минтус

В статье рассматривается алгоритм определения средней скорости движения непрерывно литой заготовки для динамического управления расходами охладителя в зонах вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок. Предложенный алгоритм призван помочь свести к минимуму негативное влияние переходных процессов на температурный профиль непрерывно литой заготовки и повысить ее качество.

**Ключевые слова:** зона вторичного охлаждения, динамическое управление, средняя скорость движения.

## AVERAGE METAL MOVEMENT SPEED THROUGHOUT SECTIONS DETERMINATION ALGORITHM FOR CONTINUOUS CASTING MACHINE SECONDARY COOLING ZONE DYNAMIC CONTROL

A.M. Mintus

The article discusses determining algorithm of continuously cast billets average movement speed for dynamic control of cooler expenditure in continuous casting machines secondary cooling zones. The proposed algorithm is designed to help minimize transient negative impact on continuously cast billets temperature profile and improve its quality.

**Keywords:** secondary cooling zone, dynamic control, average movement speed.

УДК 004.045

А.І. Обод

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ОБРОБКА ДАНИХ ВТОРИННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Наведено порівняльний аналіз якості обробки польотних даних, що передаються за каналом відповіді вторинних систем спостереження повітряного простору. Показано, що використання послідувочої міжперіодної обробки дозволяє підвищити якість обробки даних у порівнянні з попередньою міжперіодною обробкою.

**Ключові слова:** обробка даних, вторинні системи спостереження, повітряний простір, міжперіодна обробка.

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

Розширення можливостей використання повітряного простору для польотів повітряних об'єктів можливо шляхом підвищення ступеня технічної оснащеності сучасними засобами повітряного і наземного зв'язку, спостереження і автоматизації управління повітряним рухом. Підвищення імовірності інформаційного забезпечення користувачів системи контролю повітряного простору немислиме без використання інформаційних технологій в процесі отримання, збору, обробки, зберігання і поширення аеронавігаційних даних. Дійсно, використання інформаційних технологій дозволить підвищити рівень інформаційного забезпечення, що забезпечить безпеку польотів, підвищення економічності та регулярності польотів цивільної і військової авіації. Інформаційні технології, в цій ситуації, припускають автоматизацію процесів отримання, збору, обробки та відображення інформації від різномірних систем спостереження [1-3].

Значну роль в інформаційного забезпечення відіграють польотні дані котрі передаються з повітряних об'єктів за допомогою вторинних систем спостереження. Однак, як показано в [4-5], існуючі вторинні системи спостереження не здатні на належному рівні здійснити інформаційного забезпечення споживачів в тому числі і реалізувати передачу польотних даних з борту повітряних об'єктів на пункти управління. Це обумовлено принципом побудови зазначених систем спостереження та наявності значних внутрішньосистемних завад. Дійсно, використовувані при інформаційному забезпеченні контролю повітряного простору системи ВОРЛ, ADS-B, БСПЗ та системи ідентифікації за ознакою «свій-чужий» IFF працюють на одних і тих же частотах (1030 МГц і 1090 МГц), що призводить до низької імовірності інформаційного забезпечення особи, що приймає рішення, за даними цих систем спостереження.

У зв'язку з цим становить інтерес розгляд питань підвищення якості обробки даних, що передаються з борту повітряних об'єктів за каналом вторинних систем спостереження з використанням інформаційних технологій.

**Мета роботи.** Порівняльний аналіз якості обробки польотних даних вторинних систем спостереження.

### Основна частина

Відомо [5], що формуляр повітряних об'єктів може мати наступний вигляд:

$$\widehat{W}_p, \bar{C}_p^{-1}, PI, \text{свій} - \text{чужий}, T_i,$$

де  $\widehat{W}_p$  – поточний вектор стану повітряного об'єкту,  $\bar{C}_p^{-1}$  – кореляційна матриця похибок вектору стану, PI – польотні дані повітряного об'єкту, знак ідентифікації за ознакою «свій-чужий» та  $T_i$  – час формування формуляру. В склад польотних даних, як правило, можуть входити бортовий номер, висота та інша інформація.

Розглянемо питання якості обробки польотних даних з урахуванням того, що в інформаційному каналі діють як хаотичні імпульсні завади так і флуктуаційні завади, котрі загалом можливо характеризувати щільністю завад, яка є добуток інтенсивності завад  $\lambda$  на тривалість сигналу  $\tau$ . При цьому розрахунки будемо наводити для випадку, коли літаковий відповідач випромінює в кожному періоді N інформаційних сигналів. Це дозволяє розглянути існуючий режим передачі польотних даних, так і перспективний (беззапитний) спосіб, в якому обсяг переданих даних, може бути значно більше.

При цьому слід зазначити, що літаковий відповідач побудований за принципом одноканальної системи масового обслуговування з відмовами і, як наслідок, характеризується коефіцієнтом готовності  $P_0$ , що є ні чим іншим як відносною пропускною спроможністю системи.

При розгляді цього питання будемо вважати, що завади в каналі відповіді діють на окремі дані кодової послідовності незалежно та для даного радіоканалу відомі імовірності  $P_{01}$  – імовірність появи помилкового сигналу, що залежить від виду й інтенсивності завад та  $P_{10}$  – імовірність подавлення завадою імпульсу сигналу, яка залежить від конкретного виду завади та її інтенсивності. При декодуванні польотних даних будемо досліджувати в пристрої обробки даних наступну логіку:

- після декодування любого сигналу координатної відмітки здійснюється паралельне зчитування даних з заданих часових позицій. В якості сигналу координатної відмітки будемо використати сигнал, аналогічний міжнародному режиму.

Розглянемо декодування з попередньою міжперіодною обробкою даних, яка використовується в сучасних системах обробки даних (I варіант). Нехай в  $N$  - розрядному коді передачі даних значення "1" в розрядах передається на  $r$  позиціях і значення "0" - на інших позиціях, а в пристрої міжперіодною обробкою використовується логіка  $k/m$ . В цьому випадку, імовірності правильного прийому та спотворення польотних даних на виході дешифратора можна записати як

$$D_1 = D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_0^{m-i} (1 - P_0)^i \left[ \sum_{l=0}^{m-k-i} C_{m-i}^l (1 - P_{10})^{m-l-i} P_{10}^l \right]^2;$$

$$D_{sp} = \left[ 1 - D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \right] \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_0^{m-i} (1 - P_0)^i \left[ \sum_{l=0}^{m-k-i} C_{m-i}^l (1 - P_{10})^{m-l-i} P_{10}^l \right]^2,$$

де  $D_{k/m}$  и  $F_{k/m}$  – імовірності проходження корисних та хибних даних через пристрій міжперіодною обробкою даних з логікою  $k/m$ , які можуть бути визначені як

$$D_{k/m} = \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i (1 - P_{10})^{m-i} P_{10}^i,$$

$$F_{k/m} = \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_{01}^{m-i} (1 - P_{01})^i,$$

де  $P_{10} = \gamma [1 - \exp(-\lambda\tau)]$ ,  $\lambda_1$  – коефіцієнт інтерференційного подавлення, який визначає імовірність інтерференційного подавлення імпульсу прийнятого сигналу запиту при його збіжності за часом з імпульсом завади, а  $P_{01} = 1 - \exp(-\lambda\tau)$ .

Розглянемо випадок декодування польотних даних з подальшою міжперіодною обробкою прийнятих даних (II варіант). Імовірності правильного прийому та спотворення польотних даних при використанні даної схеми дешифратора можна визначити таким чином.

Імовірність виявлення коду даних координатної відмітки складає

$$P_{2/2} = P_0 (1 - P_{10})^2. \quad (1)$$

Імовірності правильного прийому та спотворення коду польотних даних на виході пристрою міжперіодною обробкою даних можна визначити відповідно як

$$D_2 = D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_{2/2}^{m-i} (1 - P_{2/2})^i; \quad (2)$$

$$D_{sp} = \left[ 1 - D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \right] \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_{2/2}^{m-i} (1 - P_{2/2})^i; \quad (3)$$

Підставляючи (1) в (2) и (3) отримаємо

$$D_2 = D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i \left[ P_0 (1 - P_{10})^2 \right]^{m-i} \left[ 1 - P_0 (1 - P_{10})^2 \right]^i;$$

$$D_{sp} = \left[ 1 - D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \right] \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i \left[ P_0 (1 - P_{10})^2 \right]^{m-i} \left[ 1 - P_0 (1 - P_{10})^2 \right]^i.$$

Вищевикладені вирази одержано для загального випадку, коли  $P_0$  и  $P_{10}$  змінні. При  $P_0 = 1$  має місце приватний випадок, коли враховується тільки вплив завад у каналі відповіді, що характерно для беззапальних систем спостереження.

Імовірності правильного прийому та спотворення польотних даних при  $P_0 = 1$  для обох способів обробки даних можна записати як

$$D_1 = D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_0^{m-i} (1 - P_0)^i \left[ \sum_{l=0}^{m-k-i} C_{m-i}^l (1 - P_{10})^{m-l-i} P_{10}^l \right]^2;$$

$$D_{sp} = \left[ 1 - D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \right] \times \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_0^{m-i} (1 - P_0)^i \left[ \sum_{l=0}^{m-k-i} C_{m-i}^l (1 - P_{10})^{m-l-i} P_{10}^l \right]^2,$$

$$D_2 = D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_{2/2}^{m-i} (1 - P_{2/2})^i;$$

$$D_{sp} = \left[ 1 - D_{k/m}^r (1 - F_{k/m})^{N-r} \right] \sum_{i=0}^{m-k} C_m^i P_{2/2}^{m-i} (1 - P_{2/2})^i.$$

де  $P_{2/2} = (1 - P_{10})^2$ .

Як впливає з представлених залежностей, імовірності  $D_1$  та  $D_2$  відрізняються тільки можливостями проходження координатної відмітки.

На рис.1 представлені імовірності правильного прийому польотних даних при  $N = 12$  для способів обробки даних, що розглядаються, при використанні

логіки обробки  $k/m = 2/3$ . Розрахунки виконані при  $P_0 = 0.9$ . Як впливає з представлених залежностей зменшення коефіцієнта готовності літакового відповідача приводить до різкого зниження імовірності правильного прийому польотних даних.

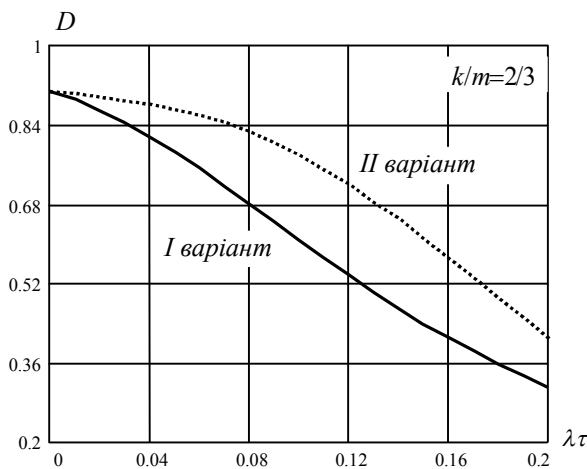


Рис. 1. Оцінка якості обробки ПД

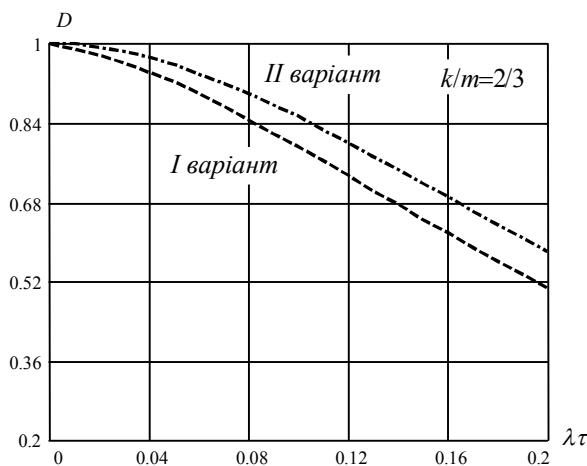


Рис. 2. Оцінка якості обробки ПД

Наведені розрахунки показують зростання імовірності правильного прийому польотних даних з подальшою міжперіодною обробкою (II варіант) у порівнянні з існуючим варіантом обробки даних

(I варіант). Так при  $\lambda\tau=0.08$  імовірність правильного прийому польотних даних складає: для існуючого варіанту обробки даних 0.68, а для обробки даних з подальшою міжперіодною обробкою – 0.84.

На рис. 2 наведено розрахунки імовірності правильного прийому польотних даних при використанні беззапитного способу передачі польотних даних при  $N = 12$  які показують, що:

- імовірність передачі польотних даних значно збільшується;
- подальша міжперіодна обробка польотних даних більш доцільна.

## Висновки

Наведені розрахунки імовірності правильного прийому польотних даних показали, що більш доцільно використати подальшу міжперіодну обробку польотних даних та переходити до беззапитальних методів передачі польотних даних.

## Список літератури

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004.
2. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с.
3. Грачев В.В. Радиотехнические средства управления воздушным движением / В.В. Грачев, В.М. Кейн. – М.: Транспорт, 1975. – 237 с.
4. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. і др.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
5. Обод І.І. Обробка даних систем спостереження повітряного простору: монографія. За заг. ред. І.І. Обод / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – 281 с.

Надійшла до редколегії 4.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ ВТОРИЧНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.И. Обод

Приведен сравнительный анализ качества обработки полетных данных, передаваемых по каналу ответа вторичных систем наблюдения воздушного пространства. Показано, что использование последующей межперіодной обработки позволяет повысить качество обработки данных по сравнению с предыдущей межперіодной обработкой.

**Ключевые слова:** обработка данных, вторичные системы наблюдения, воздушное пространство, межперіодная обработка.

## PROCESSING DATA OF SECONDARY AIRSPACE OBSERVATION SYSTEMS

A.I. Obod

A comparative analysis of the quality of processing of flight data transmitted through the response channel of secondary airspace surveillance systems is given. It is shown that the use of the subsequent interperiod processing allows to improve the quality of data processing in comparison with the previous interperiod treatment.

**Keywords:** Data processing, secondary surveillance systems, airspace, interperiod processing.

УДК 369.013

О.О. Саковець

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА З МЕТОЮ ЗБІЛЬШЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВІТРОВИКОРИСТАННЯ

У статті розглянута робота вітрогенератора та приведена одна з причин малого коефіцієнту вітровикористання. Запропонований спосіб його підвищення методом зміни кута атаки лопаті вітрогенератора

**Ключові слова:** вітрогенератор, коефіцієнт вітровикористання, кут атаки лопаті, автоматичне встановлення кута атаки.

### Вступ

На даний час все більшої актуальності набувають засоби енергозбереження та використання відновлювальних джерел енергії. Одним з таких джерел є використання вітрогенераторів. Середньорічні швидкості вітру в Україні дозволяють ефективно використовувати вітрогенератори у південних та східних областях країни, а також у Карпатах. Але одним з недоліків вітрогенераторів є невеликий коефіцієнт вітровикористання.

### Основна частина

Параметри вітроустановки пов'язані між собою нескладними однозначними фізичними залежностями, головною з яких є потужність вітрогенератора, яка визначається за такою формулою:

$$P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2} \cdot S, \quad (1)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт вітровикористання;  $\rho$  – щільність повітря (стандартне значення 1.225 кг/м<sup>3</sup>);  $V$  – швидкість необуреного вітрового потоку;  $S = \pi D^2/4$  – обтікаюча площа.

Коефіцієнт вітровикористання Принципово відрізняється від ККД тим, що "недоотримана" потужність, в основному, не є втратами, а залишається в потоці. По різних теоріях максимальне значення коефіцієнта вітровикористання ідеального пристрою складає 0.59 – 0.68 [6]. Це легко зрозуміти, представивши крайню ситуацію, коли у потоку відбирається 100% енергії. У такому разі потік повинен повністю зупинитися, що вже суперечить його наявності. Але реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0.4 – 0.55 [6, 7].

Однією з причин низького коефіцієнту вітровикористання є те, що у вітрогенераторах використовуються лопаті зі сталим кутом атаки. Це означає, що максимальний коефіцієнт вітровикористання буде лише при певній швидкості вітру (рис. 1).

Швидкість обертання вітрового колеса напряму залежить від підйомної сили, що створюють лопаті [6]. Кут атаки лопаті залежить від векторної суми

швидкості вітру та швидкості обертання вітрового колеса (2).

$$\vec{V}_{\text{потоку}} = \vec{V}_{\text{вітру}} + \vec{V}_{\text{лопаті}} \quad (2)$$

На рис. 2 представлена залежність підйомної сили від кута атаки [4]. Оскільки при різній швидкості вітру змінюється і кут атаки лопаті, це призводить до зменшення підйомної сили, і як наслідок, зменшення коефіцієнту вітровикористання

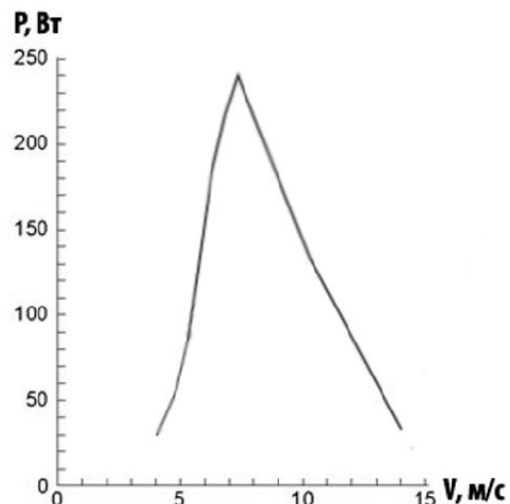


Рис. 1. Залежність потужності вітрогенератора від швидкості вітру

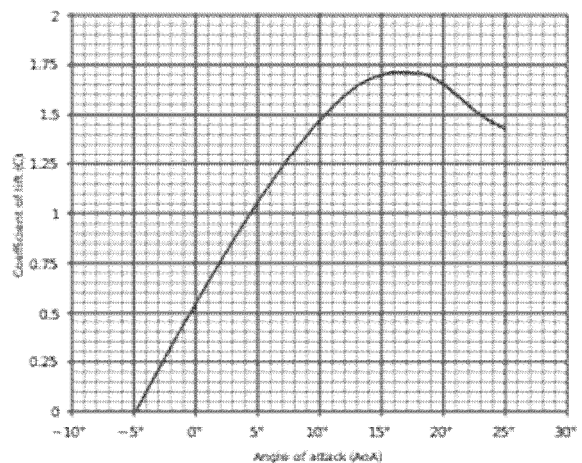


Рис. 2. Залежність підйомної сили від кута атаки лопаті



Точка, яка відповідає  $25^\circ$ , являє собою «зрив потоку», тобто лопать перестає створювати підйомну силу і створює лише аеродинамічний опір [3].

На даний час для збільшення коефіцієнт вітровикористання може застосовуватись аеродинамічна крутка лопаті. Тобто кут атаки лопаті трохи змінюється по її довжині. Але це зменшує ефективну площу вітрового колеса і не призводить до значного збільшення коефіцієнту вітровикористання.

Максимальна швидкість вітру, при якій може експлуатуватись вітряна електростанція, складає 7-9 м/с. Якщо швидкість вітру більша, робота вітряної електростанції повинна обмежуватись [7].

Враховуючи ж, що лопаті при сильному вітрі швидко обертаються, між рамою і вітроколом виникають значні навантаження, які зосереджуються на валу генератора. Відомо багато випадків, коли при відсутності захисту від сильного вітру, і через значні гіроскопічних сил ламалися лопаті та міцні осі генераторів. Крім того, вітрокoleso діаметром 2 м володіє значним аеродинамічним опором, і при сильному вітру буде значно навантажувати щоглу [4].

Використання механічних гальм, для захисту від сильного вітру призводять до зниження ККД вітрогенератора.

Для підвищення коефіцієнту вітровикористання генератора доцільно розробити лопаті зі змінним кутом атаки та системою автоматичного встановлення лопатей у найвигідніший кут для отримання максимального коефіцієнту вітровикористання та захисту від шквального вітру.

Механізми зміни кута атаки давно відомі в авіації, але авіаційні системи зміни кута атаки гвинта не підходять для використання у вітрогенераторах. Тому в даній статті запропонована альтернативна система керування кутом атаки лопаті. Враховуючи попередній авіаційний досвід створення гвинтів зі змінним кутом атаки (кроку гвинта) [5], у вітрогенераторі доцільно використати автомат перекоосу з використанням серводвигуна [2]. Система керування приймає сигнал від датчику швидкості повітряного потоку та датчику швидкості обертання. Відповідно до формули (2) можна знайти швидкість вітрового потоку, що набігає на лопать та за (рис. 2) визначити найбільш оптимальний кут атаки. При збільшенні швидкості вітру більше максимальної, доцільна обернена задача – зменшення кута атаки лопаті, для захисту її від шквального вітру.

Для реалізації даної системи керування запропонована система широтно-імпульсного керування

Для керування серводвигуном зміни кута атаки застосовується імпульсний широтно модульова-

ний сигнал [1]. Імпульсний широтно-модульований сигнал (рис. 3) з виходу системи керування надходить на одновібратор і схему порівняння. Тривалість імпульсів, генеруємих цим одновібратором, регулюється потенціометром R. При повороті вала серводвигуна з одного крайнього положення в інше, тривалість "опорних" імпульсів, які генерує одновібратор, змінюється приблизно від 0.7 мс до 2.3 мс.

У випадку відхилення сигналу керування або повороту вала серводвигуна, тривалість імпульсу керування або "опорного" імпульсів зміниться. Різниця в тривалості двох імпульсів дозволяє здійснити "пропорційність" керування. З виходів "А" й "В" схеми порівняння сигнали надходять на входи двоканального релейного підсилювача (підсилювача-перемикача), до якого підключений серводвигун.

У нормальному стані виходи обох каналів підсилювача "низькі", тобто вони обоє мають потенціал "0". У випадку надходження на будь-якій із входів підсилювача логічної "1" на його відповідному виході встановлюється високий потенціал, який дорівнює напрузі джерела живлення. Серводвигун починає обертатися, здійснюючи поворот лопатей вітрогенератора. В залежності від того – потрібно зменшити чи збільшити кут атаки лопатей – активними стають канал А або канал Б. Для запобігання відмови у роботі серводвигуна необхідно, щоб у будь-який момент часу високий рівень сигналу був тільки на одному з виходів схеми.

При необхідності повороту на 1 градус у той або інший бік тривалість імпульсу керування збільшується (або зменшується) на 0,01 мс (коефіцієнт пропорційності дорівнює 100 град/мс). При здійсненні повороту на кут, наприклад, - на 25 градусів, тривалість імпульсу керування також зміниться, припустимо - зменшиться на 0.26 мс. Це призведе до того, що позитивний фронт імпульсу керування потрапить на вхід схеми порівняння на 0.25 мс раніше позитивного фронту імпульсу одновібратора. На виходах "А" схеми порівняння й підсилювача-перемикача встановляться високі потенціали, а серводвигун почне обертатися, змінюючи положення вала мотора-редуктора й пов'язаного з ним повзунка потенціометра R. Механічний зворотний зв'язок, що

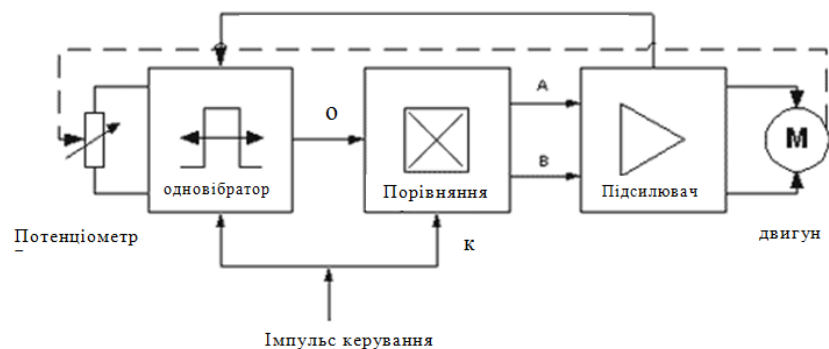


Рис. 3. Схема керування серводвигуном

змінить положення повзунка потенціометра R, відповідно змінить тривалість імпульсу одновібратора у бік зменшення. Через якийсь час повзунок потенціометра R, пов'язаний з вихідним валом мотора-редуктора, повернеться на 26 градусів й установиться в таке положення, при якому тривалість імпульсу одновібратора також зменшиться на 0.26 мс і знову зрівняється із тривалістю імпульсу керування. На виході "А" схеми порівняння встановиться низький рівень, і електродвигун зупиниться.

Якщо ж "розбалансування" імпульсів відбувається не при зміні керуючого сигналу, а від випадкового переміщення лопаті, допустимо під впливом аеродинамічних сил (навантажень), то й у цьому випадку система "автобалансируется", і компенсує зміну положення лопатей, привівши їх у відповідність із керуючим сигналом.

Для реалізації даної блок-схеми доречно застосування мікропроцесорів. Для даної установки вибрано спеціалізований мікропроцесор M51660L (рис. 4).

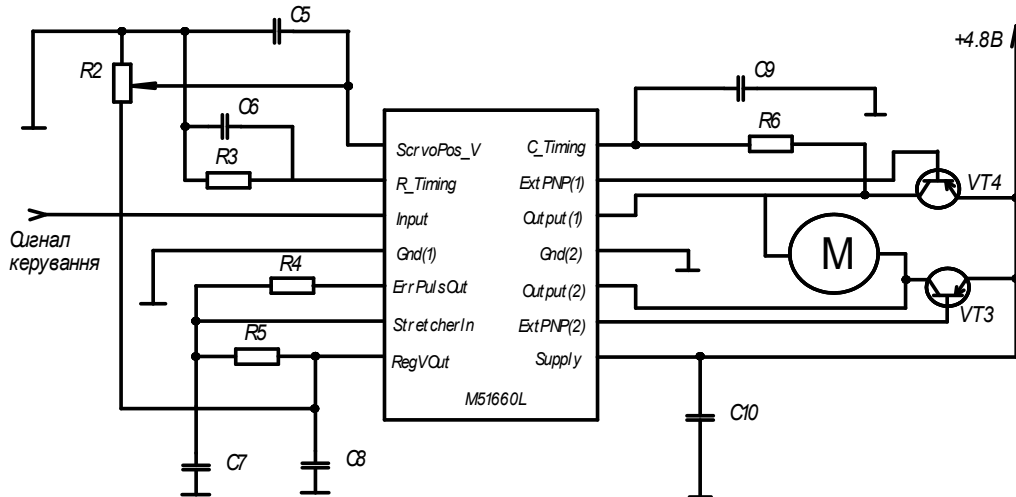


Рис. 4. Схема реалізації системи керування

У якості підсилювача використано схему на двох транзисторах [2]. Один транзистор використовується при русі серводвигуна за годинниковою стрілкою, інший при русі проти годинникової стрілки. Транзистори працюють у ключовому режимі.

### Висновок

При використанні вітрогенераторів можна виділити дві основні проблеми: малий коефіцієнт вітровикористання, та небезпеку сильного вітру [7]. Ці дві проблеми можна вирішити зміною кута атаки лопаті, для вибору оптимального кута атаки під різний вітер та з метою встановлення нульового кута атаки при шквальному вітру. Для вирішення цієї задачі запропонована широтно-імпульсна система керування на базі мікропроцесора M51660L

### Список літератури

1. Васильев Д.В. Системи автоматического управления / Д.В. Васильев, Москва: Высшая шк., 1983. – 320 с.
2. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович. – К., 1994.
3. А. Больнов. «Поляр», © 1999-2007, paraplan.ru.
4. Д. Пеги «Понять небо», © 1999-2007, paraplan.ru.
5. Руденский Е.Г. Полет на планере. Пособие для планеристов. М, ДОСААФ, 1977.
6. П.П. Безруких "Что может дать энергия ветра" Москва 1996. – 57 с.
7. Лабейш В.Г. Самодельная ветроэлектростанция / Лабейш В.Г., СЗТУ, 2003. – 118 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2017

Рецензент: д-р тех. наук, проф. А.М. Сільвестров, НТУ України, «КПІ ім. І. Сікорського, Київ.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЕТРОИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.А. Саковец

В статье рассмотрена работа ветрогенератора и приведена одна из причин малого коэффициента ветроиспользования. Предложен способ его повышения методом изменения угла атаки лопасти ветрогенератора.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, коэффициент ветроиспользования, угол атаки лопасти, автоматическая установка угла атаки.

### AUTOMATION OF THE WIND TURBINE WORK IN ORDER TO INCREASE THE COEFFICIENT OF THE WIND HARNESSING

O.O. Sakovets

The article describes the work of the wind turbine, and shows one of the reasons for the small coefficient of the wind harnessing. The method of its increasing is proposed by changing the attack angle of wind turbine blades.

**Keywords:** wind turbine, coefficient of the wind harnessing, the angle of attack of the blade, automatic setting of the attack angle.

# Математичні моделі та методи

УДК 19.66:519.668

В.Ю. Дубницький<sup>1</sup>, А.М. Кобылин<sup>1</sup>, О.А. Кобылин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харьковський учебно-научний інститут ГВУЗ Университета банківського дела, Харків

<sup>2</sup> Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЦЕНТР-РАДИУС ЗНАЧЕНИЙ ГАММА-ФУНКЦИИ, НЕПОЛНОЙ ГАММА-ФУНКЦИИ, БЕТА-ФУНКЦИИ И ДИГАММА-ФУНКЦИИ

Для гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции предложены алгоритмы вычисления их значений при условии определения их аргументов в виде интервальных чисел, заданных в системе центр-радиус. Результаты численного эксперимента показали, что применение интервальных вычислений позволяет получать значения функций с достаточной для практического применения точностью и одновременно оценивать погрешность получаемых результатов вычислений. Областью применения полученных результатов могут быть вычисления значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции в тех случаях, когда аргументы функций получают в результате экспериментальных наблюдений.

**Ключевые слова:** гамма-функция, неполная гамма-функция, бета-функция дигамма-функция, интервальные вычисления, система центр-радиус.

### Введение

При вычислении энтропии непрерывных случайных величин возникает необходимость вычисления значений гамма-функции, дигамма-функции (пси-функции), бета-функции. Обоснование использования этих специальных функций показано в работах [1, 2]. В том случае, когда параметры законов распределения известны, то никаких проблем, кроме вычислительных, не возникает. Задача усложняется в том случае, когда параметры законов распределения определяют по данным, полученным в результате наблюдений. Пусть непрерывная случайная величина  $X$  имеет, в общем случае, функцию плотности вида  $f(x; \lambda, \mu)$ , где  $\lambda, \mu$  - параметры распределения. Зависимости вида:

$$\begin{cases} \lambda = g_1(m, s) \\ \mu = g_2(m, s) \end{cases} \quad (1)$$

приведены, например, в работе [3, 4]. В том случае, когда математическое ожидание случайной величины  $X$ , равно  $m$ , и её среднеквадратическое отклонение, равно  $s$ , определяют по полученной выборке, то возникает необходимость учёта в результатах последующих вычислений величин доверительных интервалов. Для этого, по мнению авторов данного сообщения, более всего подходят методы интервальных вычислений.

**Анализ литературы.** В работах [5,6] описаны правила действия с интервальными числами, определёнными в системе центр-радиус и калькулятор, реализующий эти правила.

Следуя этим работам рассмотрим множество действительных чисел  $R$ , на котором определим интервальное число  $A$  в виде замкнутого интервала:

$$A = (\underline{a}, \bar{a}) = (a_1, a_2), \quad \underline{a} \leq \bar{a}, \quad a_1 \leq a_2 \quad (2)$$

и представим в виде:

$$A = \langle a, r_a \rangle, \quad (3)$$

где:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}, \quad r_a = \frac{a_2 - a_1}{2}, \quad a, r_a \in R. \quad (4)$$

При применении системы центр-радиус действия сложения и вычитания с интервальными числами выполняют по следующим правилам:

$$A + B = \langle a + b, r_a + r_b \rangle; \quad (5)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a + r_b \rangle. \quad (6)$$

Операцию деления и умножения в системе центр-радиус выполняют по следующим правилам:

$$\langle a, r_a \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab + r_a r_b, ar_b + br_a \rangle; \quad (7)$$

$$\frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \left\langle \frac{ab + r_a r_b}{b^2 - r_b^2}, \frac{ar_b + br_a}{b^2 - r_b^2} \right\rangle \quad (8)$$

Для возведение в целочисленную степень используем условие:

$$A^n = \langle a, r_a \rangle^n = \langle G, R \rangle; \quad (9)$$

при условии, что  $n \in Z$ .

Тогда:

$$G = \sum_{k=0}^n C_n^{2k} r_a^{2k} a^{n-2k}, \quad (10)$$

$$R = \sum_{k=0}^n C_n^{2k+1} r_a^{2k+1} |a|^{n-(2k+1)}.$$

Для программирования процесса вычислений условие (9) представим, с учетом условия (10), в виде:

$$A = \langle a; r_a \rangle^n = -\langle a^2 + r_a^2; 2|a|r_a \rangle \underbrace{\langle (a; r_a) \dots (a; r_a) \rangle}_{n-2}. \quad (11)$$

В системе центр-радиус, используя условия (2) и (3), постоянное число C представим в виде

$$C = \langle c, 0 \rangle. \quad (12)$$

Примем, что  $A = \langle a, r_a \rangle$  и  $B = \langle b, 0 \rangle$ . Тогда операции сложения и вычитания представим в виде:

$$A + B = \langle a + b, r_a \rangle; \quad (13)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a \rangle. \quad (14)$$

Для умножения интервального числа, представленного в системе центр-радиус, на постоянную величину примем, что:

$$AB = \begin{cases} \langle a, 0 \rangle \langle b, r_b \rangle, A = \text{const}, B \neq \text{const}; \\ \langle a, r_a \rangle \langle b, 0 \rangle, A \neq \text{const}, B = \text{const}. \end{cases} \quad (15)$$

При операции деления интервального числа на постоянное число получим, что:

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, 0 \rangle} = \left\langle \frac{ab}{b^2}, \frac{br_a}{b^2} \right\rangle = \left\langle \frac{a}{b}, \frac{r_a}{b} \right\rangle; \quad (16)$$

или:

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, 0 \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \left\langle \frac{ab, ar_b}{b^2 - r_b^2} \right\rangle = \left\langle \frac{ab}{b^2 - r_b^2}, \frac{ar_b}{b^2 - r_b^2} \right\rangle, \quad (17)$$

представим логарифмическую функцию в виде:

$$\ln \langle x, r_x \rangle = \sum_{i=1}^6 \langle a_i, 0 \rangle \left[ \langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle x, r_x \rangle^i} \right] \frac{(\langle x, r_x \rangle - \langle 1; 0 \rangle)^i}{\langle i; 0 \rangle}. \quad (18)$$

Коэффициенты  $a_i$ , необходимые для вычисления величины  $\ln \langle x, r_x \rangle$ , приведены в табл.1.

Таблица 1

Значение коэффициентов для приближения функции $\ln(x)$			
$a_1$	0,500000	$a_4$	0,030303
$a_2$	0,227273	$a_5$	0,007576
$a_3$	0,090909	$a_6$	0,0001082

Произвольную показательную функцию представим в виде:

$$a^x = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x \ln a)^k}{k!}. \quad (19)$$

Тогда, с учетом условия (18), её интервальным расширением будет функция вида:

$$\langle a; r_a \rangle^{\langle x; r_x \rangle} = \sum_{k=0}^6 \frac{\langle \langle x; r_x \rangle \ln \langle a; r_a \rangle \rangle^k}{k!}. \quad (20)$$

Экспоненту с отрицательным показателем, точнее её рациональное приближение, представим в виде

$$e^{-x} = \left[ \sum_{k=0}^6 a_k x^k \right]^{-4}, \quad \text{при } 0 \leq x \leq 16 \quad (21)$$

Значения коэффициентов  $a_k$ , используемых для приближения величины  $e^{-x}$ , приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значение интерполяционных коэффициентов для приближения величины  $e^{-x}$

$a_0$	1	$a_4$	0,0001715620
$a_1$	0,2499986842	$a_5$	0,0000054302
$a_2$	0,0312575832	$a_6$	0,0000006906
$a_3$	0,00259137121		

Интервальное расширение функции (20) примет вид:

$$e^{-\langle x, r_x \rangle} = \left[ \sum_{k=0}^6 \langle a, r_a \rangle_k \langle x, r_x \rangle^k \right]^{-4}, \quad (22)$$

$$0 \leq x \leq 16.$$

Экспоненту с положительным показателем представим в виде:

$$e^{\langle x, r_x \rangle} = 1 / \left[ \sum_{k=0}^6 \langle a, r_a \rangle_k \langle x, r_x \rangle^k \right]^{-4}. \quad (23)$$

В работе [6] приведены удобные для реализации в упомянутом калькуляторе выражения для вычисления таких специальных функций, как: гамма-функция, неполная гамма-функция, бета-функция, дигамма-функция.

Для гамма-функции:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx; \quad (24)$$

известно приближение вида:

$$\Gamma(\alpha) \approx \sqrt{\frac{2\pi}{\alpha}} e^{-\alpha} \alpha^\alpha \times \left( 1 + \frac{1}{12\alpha} + \frac{1}{288\alpha^2} - \frac{139}{51840\alpha^3} - \frac{571}{2488320\alpha^4} \right). \quad (25)$$

Для неполной гамма-функции:

$$\Gamma(\alpha, x) = \int_x^{\infty} e^{-t} t^{\alpha-1} dt; \quad (26)$$

известно приближение вида:

$$\Gamma(\alpha, x) \approx e^{-x} x^{\alpha-1} \left[ 1 + \frac{\alpha-1}{x} + \frac{(\alpha-1)(\alpha-2)}{x^2} \right]. \quad (27)$$

Бета-функция может быть представлена в виде отношения гамма-функций:

$$B(u, v) = \int_0^1 x^{u-1} (1-x)^{v-1} dx = \frac{\Gamma(u)\Gamma(v)}{\Gamma(u+v)}. \quad (28)$$

Для дигамма-функции:

$$\psi(\alpha) = \frac{d}{d\alpha} \ln \Gamma(\alpha); \quad (29)$$

известно приближение вида:

$$\psi(\alpha) \approx \ln \alpha - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{12\alpha^2} + \frac{1}{120\alpha^4} - \frac{1}{252\alpha^6}. \quad (30)$$

Совмещение методов интервальных вычислений с методами вычисления значений специальных функций позволяют найти решение задачи, сформулированной в заголовке данного сообщения.

**Цель работы.** Разработка алгоритмов определения значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции при условии задания аргументов в виде интервальных чисел, определённых в системе центр-радиус.

### Полученные результаты

При описании полученных результатов принято допущение о том, что результат считается полученным, если процесс вычислений сведен к выполнению последовательности действий, реализованных в калькуляторе, описанном в работе [6].

В работе [8] для вычисления значений гамма-функции предложено упрощённое, в сравнении с условием (25) выражение вида:

$$\Gamma(\alpha) \approx \sqrt{\frac{2\pi}{\alpha}} e^{-\alpha} \alpha^\alpha \left( 1 + \frac{1}{12\alpha} + \frac{1}{288\alpha^2} \right). \quad (31)$$

В табл. 3 приведены значения функций  $\Gamma(2)=1$  и  $\Gamma(6)=120$  вычисленные по условиям (25) и (31).

Таблица 3

Значения функций  $\Gamma(2)$  и  $\Gamma(6)$

Точное значение гамма-функции	Приближенное значение, вычисленное по условию (25)	Приближенное значение, вычисленное по условию (31)
$\Gamma(2)=1$	1,0003	0,999
$\Gamma(6)=120$	120,001	119,999

Хотя условие (25) кажется более точным, однако при выполнении вычислений в интервальном виде предпочтительнее оказалось условие (31), дающее меньший радиус интервала так, как количество операций с интервальными числами в нём меньше, чем в условии (25). В интервальном виде множитель  $\sqrt{2\pi/\alpha}$  представим в виде:

$$A_1 = \frac{\langle 2, 5066; 0 \rangle}{\langle \alpha; r_\alpha \rangle^{1/2}} \quad (32)$$

Для определения его интервального значения выполним действия в последовательности, которая определена ниже.

1. Вычислим, используя условие (18), величину:

$$\ln \langle \alpha, r_\alpha \rangle = \sum_{i=1}^6 \left( \langle a_i, 0 \rangle \left[ \langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle \alpha, r_\alpha \rangle^i} \right] \times \frac{(\langle \alpha, r_\alpha \rangle - \langle 1; 0 \rangle)^i}{\langle i; 0 \rangle} \right) = \langle a_1; r_{a1} \rangle. \quad (33)$$

2. Вычислим, используя условие (20) величину:

$$\langle \alpha; r_\alpha \rangle^{1/2} = \langle \alpha; r_\alpha \rangle^{\langle 0,5 \rangle} = \sum_{k=0}^6 \frac{(\langle \alpha; r_\alpha \rangle \langle a_1; r_{a1} \rangle)^k}{k!} = \langle a_2; r_{a2} \rangle. \quad (34)$$

3. Тогда численное значение условия (32), используя условие (17) получим в виде:

$$A_1 = \frac{\langle 2, 5066; 0 \rangle}{\langle \alpha; r_\alpha \rangle^{1/2}} = \left\langle \frac{2, 5066a_2}{a_2^2 - r_a^2}, \frac{2, 5066r_{a2}}{a_2^2 - r_a^2} \right\rangle. \quad (35)$$

4. Вычислим, используя условие (22) величину:

$$A_2 = e^{-\langle \alpha, r_\alpha \rangle} = \left[ \sum_{k=0}^6 \langle a, r_a \rangle_k \langle \alpha, r_\alpha \rangle^k \right]^{-4}. \quad (36)$$

5. Вычислим, используя условия (20) и (33), величину:

$$A_3 = \langle \alpha; r_\alpha \rangle^{\langle \alpha, r_\alpha \rangle} = \sum_{k=0}^6 \frac{(\langle \alpha; r_\alpha \rangle \ln \langle a_1; r_{a1} \rangle)^k}{k!}. \quad (37)$$

Интервальное значение множителя, стоящего в круглых скобках в условии (31) вычислим, используя условия (11) и (17) таким образом:

$$\begin{aligned} A_4 &= \langle 1; 0 \rangle + \frac{\langle 0.0833; 0 \rangle}{\langle a; r_a \rangle} + \frac{\langle 0.00347; 0 \rangle}{\langle a; r_a \rangle^2} = \\ &= \langle 1; 0 \rangle + \frac{\langle 0.0833; 0 \rangle}{\langle a; r_a \rangle} + \frac{\langle 0.00347; 0 \rangle}{\langle a^2 + r_a^2; 2|a|r_a \rangle} = \\ &= \langle 1; 0 \rangle + \left\langle \frac{0.0833a}{a^2 - r_a^2}, \frac{0.0833r_a}{a^2 - r_a^2} \right\rangle + \\ &+ \left\langle \frac{0.00347a}{\left[ (a^2 + r_a^2)^2 - 4a^2r_a^2 \right]} + \frac{0.00347r_a}{\left[ (a^2 + r_a^2)^2 - 4a^2r_a^2 \right]} \right\rangle. \quad (38) \end{aligned}$$

Следовательно, интервальное расширение гамма-функции, вычисленное в системе центр-радиус  $[\Gamma(\alpha)]$  можно определить так:

$$[\Gamma(\alpha)] = \prod_{i=1}^4 A_i = \langle g(\alpha); r_{g(\alpha)} \rangle. \quad (39)$$

Условие (39) получают последовательным выполнением действий по условию (7).

Рассмотрим более подробно процедуру вычисления интервальных значений неполной гамма-функции. Из сравнения условий (25) и (27) следует, что интервальное расширение выражения  $e^{-x}$  получено в условии (36) и равно  $A_5$ . Интервальное расширение выражения  $x^{\alpha-1}$ , используя условия (6), (18), (37) примет следующий вид:

$$A_5 = \langle x-1; r_x \rangle^{\langle \alpha-1; r_\alpha \rangle} = \sum_{k=0}^6 \frac{\langle \alpha-1; r_\alpha \rangle \ln \langle x-1; r_x \rangle^k}{k!}. \quad (40)$$

Далее, используя условия (5), (7), (8) и (11) получим следующее:

$$A_6 = \left\langle 1 + \frac{\alpha-1}{x} + \frac{(\alpha-1)(\alpha-2)}{x^2} \right\rangle = \left[ \langle 1; 0 \rangle + \frac{\langle \alpha-1; r_\alpha \rangle}{\langle x; r_x \rangle} + \frac{\langle \alpha-1; r_\alpha \rangle \langle \alpha-2; r_\alpha \rangle}{\langle x; r_x \rangle} \right] = \left[ \langle 1; 0 \rangle + \left\langle \frac{(\alpha-1)x + r_\alpha r_x}{x^2 - r_x^2}; \frac{(\alpha-1)r_x + x r_\alpha}{x^2 - r_x^2} \right\rangle + \frac{\langle (\alpha-1)^2 - \alpha + 1; r_\alpha (2\alpha - 3) \rangle}{\langle x^2 + r_x^2; 2|x|r_x \rangle} \right]. \quad (41)$$

Следовательно, интервальное расширение неполной гамма-функции, вычисленное в системе центр-радиус  $[\Gamma(\alpha, x)]$  можно определить так:

$$[\Gamma(\alpha, x)] = A_2 A_5 A_6. \quad (42)$$

Рассмотрим более подробно процедуру вычисления интервальных значений бета-функции. Из условия (28) следует, что основной элемент вычислительного процесса – вычисление функции  $[\Gamma(\alpha)]$ , реализуемое условиями (33, ..., 39).

Числитель выражения (28), используя (39) представим в виде:

$$A_7 = [\Gamma(u)] \cdot [\Gamma(v)] = \langle g(u); r_{g(u)} \rangle \langle g(v); r_{g(v)} \rangle = \langle g(u)g(v) + r_{g(u)}r_{g(v)}; g(u)r_{g(v)} + g(v)r_{g(u)} \rangle. \quad (43)$$

Используя условие (5) получим, что:

$$\langle z; r_z \rangle = \langle u; r_u \rangle + \langle v; r_v \rangle = \langle u+v; r_u + r_v \rangle. \quad (44)$$

Следовательно:

$$[B(u, v)] = \frac{A_7}{\langle g(z); r_{g(z)} \rangle}. \quad (45)$$

Интервальное расширение дигамма-функции, используя условия (11), (18), (30) представим в виде:

$$[\psi(\alpha)] = \sum_{i=1}^6 \langle a_i; 0 \rangle \left[ \langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle \alpha; r_\alpha \rangle^i} \right] \times \left[ \frac{\langle \alpha; r_\alpha \rangle - \langle 1; 0 \rangle}{\langle i; 0 \rangle} - \frac{\langle 0, 08333; 0 \rangle}{\langle a^2 + r_a^2; 2|a|r_a \rangle} + \frac{0, 00833}{\langle a^2 + r_a^2; 2|a|r_a \rangle \underbrace{\langle (a; r_a) \dots (a; r_a) \rangle}_2} - \frac{0, 00397}{\langle a^2 + r_a^2; 2|a|r_a \rangle \underbrace{\langle (a; r_a) \dots (a; r_a) \rangle}_4} \right]. \quad (46)$$

В табл. 4 приведены результаты сравнения предложенных методов вычисления значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции с их табличными значениями, приведенными в работах [7, 9].

Таблица 4

Табличные и интервальные значения гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции

Вид функции	Табличное значения	Интервальные расширения	
		Система центр-радиус	Классическое представление
$\Gamma(1,5)$	0,8862	$\langle 0,88685; 9 \cdot 10^{-5} \rangle$	[0,88676; 0,88694]
$\Gamma(2;3)$	0,19914	$\langle 0,19915; 11 \cdot 10^{-3} \rangle$	[0,19904; 0,19926]
$B(1,5;1,2)$	0,51488	$\langle 0,51488; 2988 \cdot 10^{-2} \rangle$	[0,51476; 0,51500]
$\Psi(1;5)$	0,03648	$\langle 0,36380; 155 \cdot 10^{-3} \rangle$	[0,36365; 0,36396]

Сопоставляя табличные значения функций и их интервальные расширения можно сделать вывод о том, что применение интервальных вычислений позволяет получать не только значения функций с достаточной для практического применения точностью, но и одновременно оценивать погрешность получаемых результатов вычислений.

Последнее обстоятельство, по мнению авторов данного сообщения, делает их применение целесообразным в тех случаях, когда аргументы функций получают в результате экспериментальных наблюдений.

## Выводы

1. Для гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции предложены алгоритмы вычисления их значений при условии определения их аргументов в виде интервальных чисел, заданных в системе центр-радиус.

2. Результаты численного эксперимента показали, что применение интервальных вычислений позволяет получать значения функций с достаточной для практического применения точностью и одновременно оценивать погрешность получаемых результатов вычислений.

3. Областью применения полученных результатов могут быть вычисления значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции в тех случаях, когда аргументы функций получают в результате экспериментальных наблюдений.

## Список литературы

1. Заездный А.М. Основы расчётов по статистической радиотехнике. / А.М. Заездный. – Москва: Изд. «СВЯЗЬ», 1969. – 447 с.
2. Michalowicz J.V. Handbook of DIFFERENTIAL ENTROPY / J.V. Michalowicz, J.M.Nichols, F.Bucholtz. – London: A.CHAPMAN@HALL BOOK, 2014. – 220 p.
3. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский.- М.: НАУКА, 2001-295с.
4. Дубницький В.Ю. Решение в явном виде обратной задачи моделирования непрерывной одномерной случайной величины / В.Ю. Дубницький, И.Г. Скорикова // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 1(126). – С. 106-110.
5. Жуковська, О.А. Основи інтервального аналізу: навч. посіб. [Текст] / О.А. Жуковська. – К.: Освіта України, 2009. – 136 с.
6. Дубницький В.Ю. Вычисление значений элементарных функций с интервально заданным аргументом, определённым в системе центр-радиус. / В.Ю. Дубницький, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 7(144). – С. 107-1102.
7. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовица.— М. : Наука, 1979. – 832 с.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для научных работников и инженеров. / А.И. Кобзарь. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
9. Calculates the Incomplete gamma functions of the first and second kind  $\gamma(a, x)$  and  $\Gamma(a, x)$ . [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://keisan.casio.com/exec/system/1180573447>.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р екон. наук, доц. В.П. Машталіп, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ИНТЕРВАЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ В СИСТЕМІ ЦЕНТР - РАДІУС ЗНАЧЕНЬ ГАММА-ФУНКЦІЇ, НЕПОВНОЇ ГАММА-ФУНКЦІЇ, БЕТА-ФУНКЦІЇ І ДІГАММА-ФУНКЦІЇ

В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін, О.А. Кобилін

Для гамма-функції, неповної гамма-функції, бета-функції і дигамма-функції запропоновано алгоритми обчислення їх значень за умови визначення аргументів у вигляді інтервальних чисел, які задано в системі центр-радіус. Результати чисельного експерименту показали, що застосування інтервальних обчислень дозволяє визначати значення функцій з достатньою для практичного застосування точністю і одночасно оцінювати похибку отримуваних результатів. Областю застосування запропонованих методів можуть бути обчислення значень гамма-функції, неповної гамма-функції, бета-функції і дигамма-функції в тих випадках, коли аргументи функцій отримують в результаті експериментальних спостережень.

**Ключові слова:** гамма-функція, неповна гамма-функція, бета-функція, дигамма-функція, інтервальні обчислення, система центр-радіус.

## INTERVAL CALCULATIONS IN CENTER-RADIUS SYSTEM OF GAMMA FUNCTION, INCOMPLETE GAMMA FUNCTION, BETA FUNCTION AND DIGAMMA FUNCTION

V.Yu. Dubnitskiy, A.M. Kobylin, O.A. Kobylin

For gamma function, incomplete gamma function, beta function and digamma function calculation algorithms are proposed of their values under the proviso that their arguments are defined in the form of interval numbers set in center-radius system. The results of numerical experiment showed that application of interval calculations enables to define function values at sufficient for practical usage accuracy and find a unique estimate of the error of obtained results. Field of application for proposed methods may be calculation of gamma function, incomplete gamma function, beta function and digamma function values in cases when function arguments are obtained from experimental observation.

**Keywords:** gamma function, incomplete gamma function, beta function and digamma function, interval calculations, center-radius system

УДК 621.31

О.Б. Одарущенко<sup>1</sup>, О.М. Одарущенко<sup>2</sup>, В.О. Бутенко<sup>3</sup>, В.В. Москалець<sup>2</sup>, О.Ю. Стрюк<sup>2</sup><sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава<sup>2</sup> Науково-виробниче підприємство "Радій", Кропивницький<sup>3</sup> Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського "ХАІ", Харків

## МОДЕЛІ МАТЕМАТИЧНИХ БЛОКІВ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

Моделювання є важливим етапом під час розробки сучасних технічних систем, особливо систем критичних для безпеки, адже дозволяє надати відповіді на велику кількість питань без необхідності проводити додаткові дослідження над коштовним обладнанням. Перевірка коректності роботи базових математичних алгоритмів, що використовуються під час побудови логіки додатків, які виконуються програмованими логічними контролерами (ПЛК), є необхідним завданням етапу їх розробки. У даній статті наведені результати експериментальних досліджень, щодо можливостей використання, у вигляді верифікаційного механізму, потужності одного із найбільш розповсюджених пакетів комп'ютерної математики – Matlab. Даний пакет, а також його компонент Simulink, використовується із метою верифікації роботи математичних алгоритмів розроблених за допомогою мови VHDL, що є базовими блоками при побудові логіки роботи ПЛК, які розробляються із використанням технології FPGA.

**Ключові слова:** програмований логічний контролер, модель, тест-кейс, блок, порт, Simulink, Matlab

### Вступ. Загальні відомості щодо ПЛК та розробки програм керування технологічними процесами

В даний час широкого поширення набули програмовані логічні контролери (ПЛК), які є ядром автоматизованих систем управління технологічних процесів і виробництва. Програмований логічний контролер - це електронний спеціалізований пристрій, що працює в реальному масштабі часу, для автоматизації технологічних процесів. В якості основного режиму роботи ПЛК виступає його тривале автономне використання, часто в несприятливих умовах навколишнього середовища, без серйозного обслуговування і практично без втручання людини. Основними галузями застосування ПЛК є: автоматизація технологічних процесів промислового виробництва; в системах протипожежного захисту та сигналізації (зокрема АЕС); в верстатах з числовим програмованим управлінням; управління дорожнім рухом; в системах життєзабезпечення будівель; в системах охорони; в медичному обладнанні; для керування роботами; в системах зв'язку та багатьох інших.

Типовий ПЛК складається з: процесорного модуля, модулів дискретних і аналогових входів / виходів, та ін. Аналіз сучасного ринку ПЛК дозволяє їх класифікувати наступним чином: за кількістю входів і виходів: наноконтролери - до 15-20 входів / виходів; малі контролери - до 100 входів / виходів; середні - 100-300; великі - 300-2000; надвеликі - більше 2000 входів / виходів.

Крім цього параметра, що характеризує «потужність» ПЛК, при розробці систем управління і виборі ПЛК враховують також його швидкодію, обсяг різних видів пам'яті і кількість мережевих інтерфейсів.

Конфігурація ПЛК визначається номенклатурою модулів в залежності від цілей управління.

Це модулі: дискретного введення; дискретного виводу; релейного виходу; цифроаналогові та аналогоцифрові перетворювачі по струму і напрузі; вводи з термопар; частотні входи та інші.

Для програмування ПЛК використовуються стандартизовані мови МЕК (ІЕС) стандарту ІЕС61131-3 [1]. Найбільш поширеними є наступні:

-LD (Ladder Diagram) - мова релейних схем;

-FBD (Function Block Diagram) - мова функціональних блоків;

-SFC (Sequential Function Chart) - мова діаграм станів - використовується для програмування кінцевих автоматів.

Основні операції ПЛК відповідають комбінаційному управлінню логічними схемами спеціальних агрегатів - механічних, електричних, гідравлічних, пневматичних і електронних. У процесі управління контролери генерують вихідні сигнали (включити або вимкнути) для управління виконавчими механізмами (електродвигунами, клапанами, електромагнітами і вентилями) на підставі результатів обробки сигналів, отриманих від датчиків, або пристроїв верхнього рівня.

Сучасні програмовані контролери виконують також й інші операції, наприклад, поєднують функ-



ції лічильника і таймера, обробляють затримку сигналів. Більшість ПЛК пристосовані для роботи в типових промислових умовах, з урахуванням забрудненої атмосфери, рівнів сигналів, термо- і вологостійкості, ненадійності джерел живлення, а також механічних ударів і вібрацій. З цієї метою апаратна частина розміщується в міцний корпус, здатний мінімізувати негативний вплив ряду виробничих та природних факторів.

Зважаючи на високу відповідальність функціонування ПЛК, міжнародними стандартами висуваються вимоги до процесів їх розробки та тестування [2, 3]

Однією із вимог стандартів до цих процесів (наприклад, процесу верифікації програмного коду) є необхідність виконання альтернативних обчислень основних математичних функцій, які реалізує програмне забезпечення ПЛК.

Метою цієї статті є опис одного із можливих підходів до рішення цієї задачі. З метою верифікації обчислень, які містяться у досліджуваних математичних блоках ПЛК необхідно було створити бібліотеку засобами комп'ютерної математики та виконати тестування розроблених альтернативних блоків.

Сучасний маркет систем комп'ютерної математики представлено такими найбільш розповсюдженими середовищами як Matlab, Maple, Mathematica, MathCad та ін. В рамках проведених експериментальних досліджень використовувалась система Matlab [5] у зв'язку із її певними перевагами, а саме орієнтацією на широке коло технічних задач, перш за все на чисельні розрахунки, візуалізацію і технічні додатки. Додаток Simulink — це інтерактивна система, яка використовується для моделювання об'єктів різної природи. Simulink працює з лінійними, нелінійними, неперервними, дискретними, багатовимірними системами [6].

## 1. Розробка моделі математичного блоку засобами Matlab

В якості функціонального блоку для розробки моделі було обрано обчислювач, який виконує математичні операції додавання, віднімання, множення та ділення.

Механізм роботи базується на міжнародному стандарті "IEEE Standard 754 for Floating-Point Arithmetic" [4], згідно якого було обрано формат представлення чисел з плаваючою комою з одинарною точністю: *Floating Point 32 bits* (FP32b). Також модель дозволяє виконувати обчислення для цілих знакових чисел формату *Signed Integer 32 bits* (SI32b).

Для побудови моделі було використано підсистему типу *Triggered Subsystem*, що знаходиться в бібліотеці *Simulink/ Ports & Subsystems*. Особливістю такої підсистеми є те, що вона спрацьовує тіль-

ки в момент зміни значення триггера ("*i\_start*") з '0' на '1'. Тобто систему легко контролювати за допомогою сигналу типу *"clock"* (тактовий годинник), який широко використовується у роботі сучасних електронно-обчислювальних механізмів, наприклад, в FPGA.

"Black-box" моделі наведена на рис. 1.

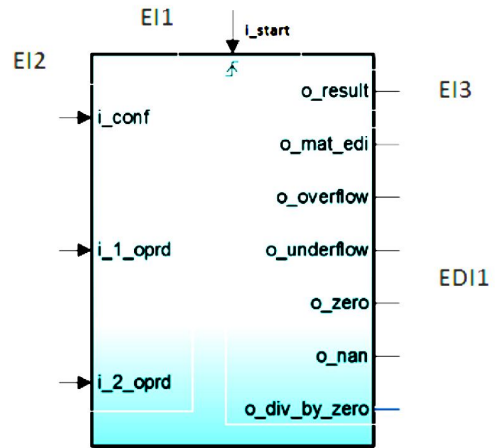


Рис. 1. Зовнішній вигляд моделі МАТ-блока

Модель побудована для того, щоб виконувати одну з заданих операцій (+ - \* /) над операндами "*i\_1\_oprd*" та "*i\_2\_oprd*".

Вибір операції здійснюється за допомогою параметра "*i\_conf*". Для цього на вхід "*i\_conf*" необхідно подати число, що відповідає бажаній операції, а саме:

- 1 – додавання (SI32b);
- 2 – віднімання (SI32b);
- 3 – множення (SI32b);
- 4 – ділення (SI32b);
- 5 – додавання (FP32b);
- 6 – віднімання (FP32b);
- 7 – множення (FP32b);
- 8 – ділення (FP32b).

Результатом виконання операції є числове значення (выводиться на порт "*o\_result*") та прапорці діагностики ("*o\_mat\_edi*", "*o\_overflow*", "*o\_underflow*", "*o\_zero*", "*o\_nan*", "*o\_div\_by\_zero*").

Детальний опис інтерфейсів (рис. 1) блока розглянемо в табл. 1.

Розглянемо структурні схеми кожної операції (рис. 2 – 9).

Дані на вхідні порти блоку потрапляють у вигляді шини даних (набір 0 та 1) і в залежності від обраного формату даних конвертуються в числа (SI32b чи FP32b). Результат обраховується за допомогою окремого блоку, в налаштуваннях якого уже обрана потрібна операція та тип даних.

Особливості формування прапорців діагностики наведені далі:

Таблиця 1

Зовнішні інтерфейси (EI) моделі МАТ-блока

ID	Назва сигналу	I/O	Тип	Опис
EI1	i_start	In	Trigger	Стартовий сигнал
EI2	i_conf[4..0]	In	Data	Параметр конфігурації
	i_1_oprd[31..0]	In	Data	Перший (Лівий) операнд
	i_2_oprd[31..0]	In	Data	Другий (Правий) операнд
EI3	o_result[31..0]	Out	Data	Числовий результат
EDI1	o_mat_edi	Out	Flag	Сигнал діагностики – приймає значення '1', якщо параметр конфігурації заданий некоректно
	o_overflow	Out	Flag	Прапорець переповнення – приймає значення '1', якщо результат обчислень перевищує допустимий діапазон
	o_underflow	Out	Flag	Прапорець спустошення – приймає значення '1', якщо результат обчислень потрапляє в діапазон денормалізованих чисел
	o_zero	Out	Flag	Прапорець отримання нуля – приймає значення '1', якщо результат обчислень набуває значення 0
	o_nan	Out	Flag	Прапорець NaN – приймає значення '1', якщо результат обчислень NaN (Не число)
	o_div_by_zero	Out	Flag	Прапорець ділення на 0 – приймає значення '1', якщо другий операнд (дільник) рівний 0. Актуально тільки для операції '/'.

1) o\_mat\_edi – основний прапорець (якщо параметр конфігурації заданий некоректно, то результат роботи блоку вважається "по-рожнім");

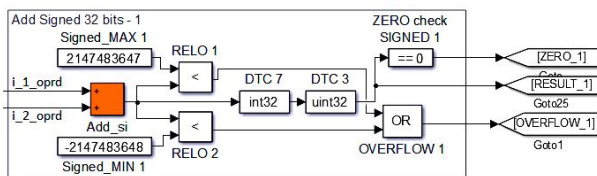


Рис. 2. Структурна схема операції додавання (SI32b)

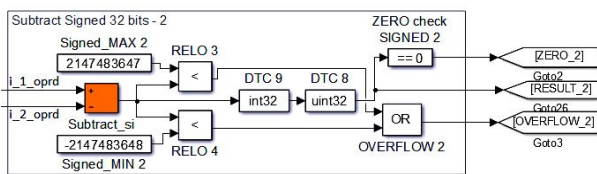


Рис. 3. Структурна схема операції віднімання (SI32b)

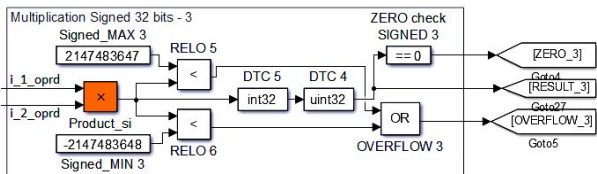


Рис. 4. Структурна схема операції множення (SI32b)

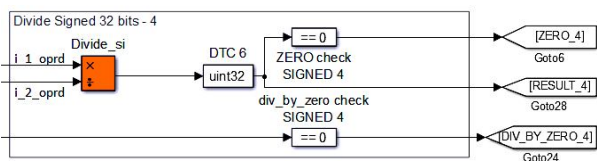


Рис. 5. Структурна схема операції ділення (SI32b)

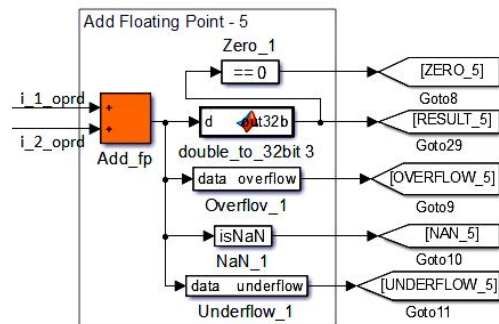


Рис. 6. Структурна схема операції додавання (FP32b)

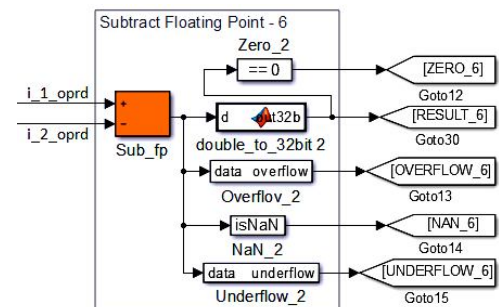


Рис. 7. Структурна схема операції віднімання (FP32b)

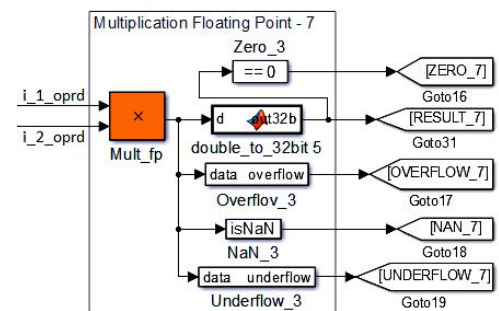


Рис. 8. Структурна схема операції множення (FP32b)

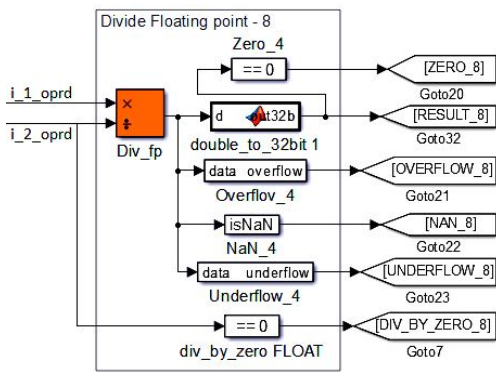


Рис. 9. Структурна схема операції ділення (FP32b)

- 2) *o\_overflow* – перевірка переповнення виконується порівнянням результату з верхньою та нижньою межею діапазону (для SI32b та FP32b межі відрізняються, рис. 2 та рис. 10);
- 3) *o\_underflow* – перевірка спустошення виконується порівнянням результату з верхньою та нижньою межею діапазону спустошення (актуально тільки для FP32b, рис. 11);
- 4) *o\_zero* – визначається прирівнюванням результату обчислень до 0;

- 5) *o\_nan* – якщо вся експонента числа заповнена ‘1’ та хоча б один біт мантиси рівний ‘1’, то результат вважається не числом (актуально тільки для FP32b);
- 6) *o\_div\_by\_zero* – перевіряємо чи не рівний 0 дільник (актуально тільки для операції ділення).

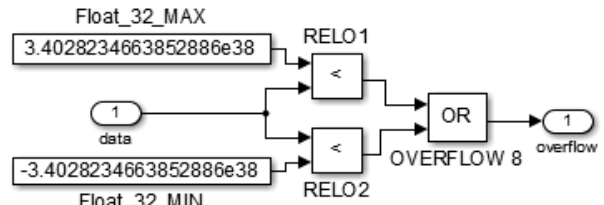


Рис. 10. Структурна схема обчислення Прапорця переповнення (FP32b)

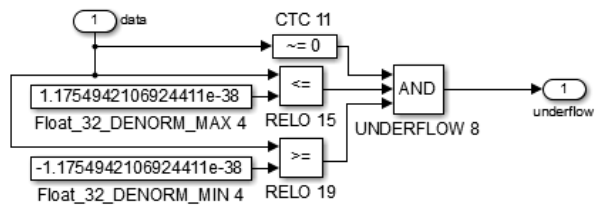


Рис. 11. Структурна схема обчислення Прапорця спустошення (FP32b)

Таблиця 2

Актуальність прапорців діагностики в залежності від типу даних та типу операції

	Overflow	Underflow	Zero	NaN	Div_by_zero
SI32b +	✓		✓		
SI32b -	✓		✓		
SI32b *	✓		✓		
SI32b /			✓		✓
FP32b +	✓	✓	✓	✓	
FP32b -	✓	✓	✓	✓	
FP32b *	✓	✓	✓	✓	
FP32b /	✓	✓	✓	✓	✓

В цілому актуальність прапорців діагностики описана в табл. 2.

Тест-кейс має вигляд, котрий наведений на рис. 12.

## 2. Дослідження результатів роботи моделі математичного блоку

Для перевірки коректності роботи моделі МАТ-блока засобами Simulink було створено унікальний *тест-кейс*: у нашому випадку це додаткова модель, у яку поміщається блок. З її допомогою подаються вхідні дані та виконується порівняння отриманого результату з очікуваним.

Розроблений набір тестових векторів складається з двох частин: *набору вхідних даних* та *очікуваного результату*, які можна детально переглянути в табл. 3.

Кожен тестовий вектор призначений для перевірки унікальної ситуації. Наприклад, подаємо на вхід *i\_conf* значення 10 і таким чином очікуємо, що спрацює діагностика (Прапорець *o\_mat\_eid* буде рівний ‘1’).

Після запуску моделі у спеціальний візуальний блок *Score* заносяться результати відпрацювання тестових векторів (рис. 13).

**Перший графік** відповідає за тактовий годинник, який подається на тригер моделі *i\_start*.

**Другий графік** показує номер тестового вектора.

**Третій графік** відповідає за порівняння отриманого результату з очікуваним. Якщо результати будуть відрізнятися хоча б по одному виходу, то прапорець прийме значення ‘1’, інакше він рівний ‘0’.

Таблиця 3

Набір тестових векторів

№ тест-вектора	Набір вхідних даних			Очікуваний результат						
	i_conf	i_1_oprd	i_2_oprd	o_result	o_mat_edi	o_overflow	o_underflow	o_zero	o_nan	o_div_by_zero
1	0	7	7	0	1	0	0	0	0	0
2	10	7	7	0	1	0	0	0	0	0
3	1	2	2	4	0	0	0	0	0	0
4	1	2E+09	2000000000	2147483647	0	1	0	0	0	0
5	1	-3	3	0	0	0	0	1	0	0
6	2	6	2	4	0	0	0	0	0	0
7	2	-2,13E+09	2106975000	-2147483648	0	1	0	0	0	0
8	2	-2,04E+08	-203789218	0	0	0	0	1	0	0
9	3	2	2	4	0	0	0	0	0	0
10	3	2,118E+09	2097558029	2147483647	0	1	0	0	0	0
11	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0
12	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0
13	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0
14	4	1	0	2147483647	0	0	0	0	0	1
15	5	1,5	3,5	5	0	0	0	0	0	0
16	5	3E+38	3E+38	inf	0	1	0	0	0	0
17	5	-1,1E-37	1,10003E-37	2,993E-42	0	0	1	0	0	0
18	5	-25,6	25,6	0	0	0	0	1	0	0
19	5	nan	25,6	nan	0	0	0	0	1	0
20	6	3,3	1,3	2	0	0	0	0	0	0
21	6	-3,2E+38	3,1E+38	-inf	0	1	0	0	0	0
22	6	-1,11E-37	-1,0098E-37	-1,002E-38	0	0	1	0	0	0
23	6	-2,5	-2,5	0	0	0	0	1	0	0
24	6	nan	1,5	nan	0	0	0	0	1	0
25	7	1,1	2,6	2,86	0	0	0	0	0	0
26	7	2,6E+38	3,1E+38	inf	0	1	0	0	0	0
27	7	-1,11E-37	0,01	-1,11E-39	0	0	1	0	0	0
28	7	0	3,1	0	0	0	0	1	0	0
29	7	nan	2,45	nan	0	0	0	0	1	0
30	8	2,6	2,6	1	0	0	0	0	0	0
31	8	3,4E+37	0,00001	inf	0	1	0	0	0	0
32	8	-1,11E-37	100	-1,11E-39	0	0	1	0	0	0
33	8	0	1,4	0	0	0	0	1	0	0
34	8	nan	3,2	nan	0	0	0	0	1	0
35	8	1,89	0	-inf	0	0	0	0	0	1

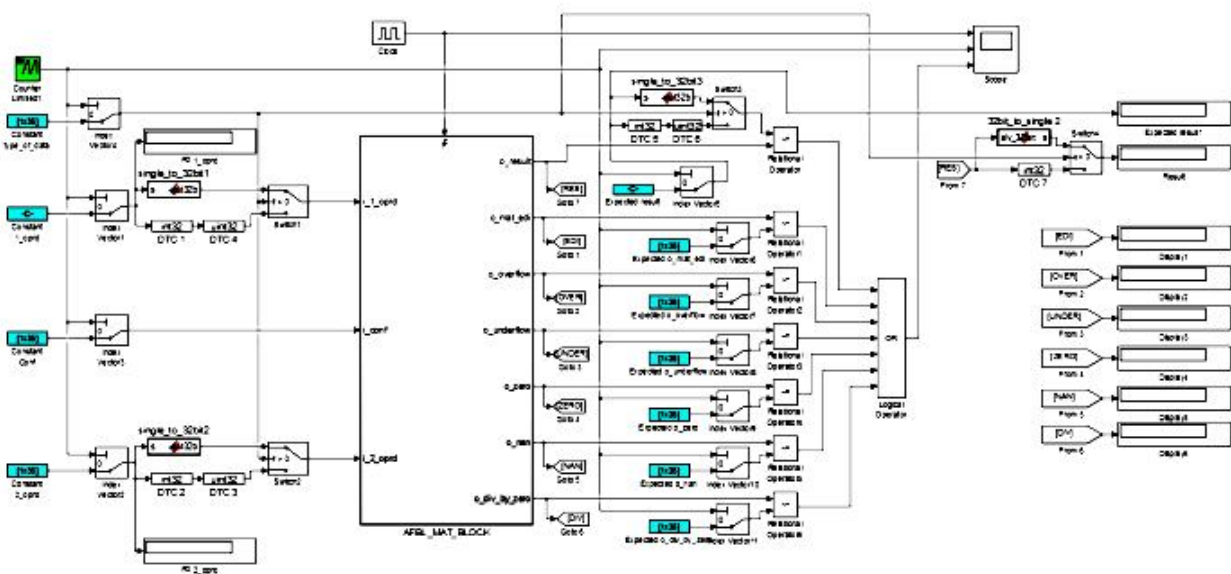


Рис. 12. Модель тест-кейса

Так як прапорець на всьому тест-кейсі залишався рівним '0', робимо висновок, що усі очікувані результати співпадають з обчисленими в МАТ-блоці.

Отже, модель розроблена коректно.

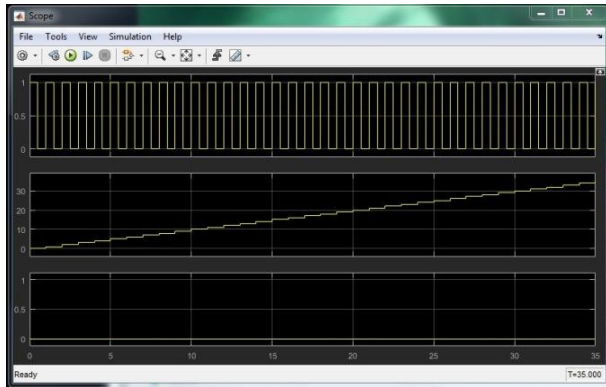


Рис. 13. Результат роботи тест-кейса

## ВИСНОВКИ

Результатом проведених досліджень є розроблена засобами комп'ютерної математики, досліджена та верифікована модель математичного блоку із складу бібліотеки математичних блоків. Ці моделі можуть бути використані для розробки алгоритмів програмних додатків, які обробляють програмовані логічні контролери.

Проведені дослідження відкривають шлях до розробки та впровадження процедури альтернатив-

них обчислень, виконання якої вимагають міжнародні стандарти для складних технічних систем, що розробляються для критичних галузей промисловості.

## Список літератури

1. IEC 61131-3: 2013. Programmable controllers-Part 3: Programming languages.
2. IEC 61508:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
3. ASME NQA-1-2008. Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications, Part 1, Requirement 11, Test Control.
4. IEEE Computer Society IEEE Standard 754 for Floating-Point Arithmetic. — New York : IEEE, 2008. — 70 с. — ISBN 978-0-7381-5752-8.
5. Сивохин А. В., Меццяряков Б. К. Решение задач оптимального управления с использованием математической системы MATLAB и пакета имитационного моделирования SIMULINK. Лабораторный практикум по основам теории управления. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006 – 120с.
6. Терёхин В.В. Моделирование в системе MATLAB: Учебное пособие /Кемеровский государственный университет. — Новокузнецк: Кузбассвузиздат, 2004. -376с.

Надійшла до редакції 24.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.І. Леві, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

## МОДЕЛИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ БЛОКОВ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Е.Б. Одарушченко, О.Н. Одарушченко, В.О. Бутенко, В.В. Москалец, А.Ю. Стрюк

Моделирование является важным этапом при разработке современных технических систем, особенно систем критичных для безопасности, поскольку позволяет дать ответы на множество вопросов без необходимости проводить дополнительные исследования над ценным оборудованием. Проверка корректности работы базовых математических алгоритмов, используемых при построении логики приложений, которые выполняются программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), – необходимая задача этапа их разработки. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований возможностей использования в виде верификационного механизма мощности одного из самых распространенных пакетов компьютерной математики – Matlab. Данный пакет, а также его компонент Simulink, используется с целью верификации работы математических алгоритмов разработанных с помощью языка VHDL, которые являются базовыми блоками при построении логики работы ПЛК, разрабатываемых с использованием технологии FPGA.

**Ключевые слова:** программируемый логический контроллер, модель, тест-кейс, блок, порт, Simulink, Matlab.

## MATHEMATICAL MODEL OF BLOCKS DISCRETE TRANSFORM INFORMATION FOR SOFTWARE VERIFICATION PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS

O.B. Odarushchenko, O.M. Odarushchenko, V.O. Butenko, V.V. Moscalets, O.Yu. Strjuk

Modelling is an important step during the development of advanced technology systems, especially safety-critical systems, as it helps to answer many questions without the need to conduct additional studies on the expensive equipment. Checking the accuracy of the basic mathematical algorithms used in the construction of application logic performed by programmable logic controllers (PLC), is a necessary task stage during their development. This article presents the results of experimental studies on the possibilities of use Matlab as a verification mechanism. This package and its components Simulink were used to verify the mathematical algorithms developed with VHDL language, which are the basic blocks in the PLC logic developed using FPGA technology.

**Keywords:** programmable logic controller, model, test cases, power port, Simulink, Matlab.

# Інформаційні технології

УДК 515.2

О.А. Глібко, О.Г. Сімонова, Л.М. Савченко

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків*

## СОЦІАЛЬНА РЕКЛАМА ЯК ТЕМАТИКА ТВОРЧОЇ РОБОТИ НА ОЛІМПІАДІ З WEB-ТЕХНОЛОГІЙ ТА WEB-ДИЗАЙНУ

*Стаття присвячена аналізу досвіду проведення 1 туру Всеукраїнської олімпіади студентів з web-технології і web-дизайну, створенню промо-сайту про день відкритих дверей НТУ «ХПІ», розкриттю ролі соціальної реклами у підвищенні серед абітурієнтів мотивації до вступу у виш.*

**Ключові слова:** промо-сайт, творчі завдання, веб сайт, олімпіада, дизайн сайту, засоби web-верстки, соціальна реклама.

### Основна частина

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» згідно з наказом Міністерства освіти і науки України у лютому 2017 року провів перший тур Всеукраїнської олімпіади серед студентів з web-технологій і web-дизайну.

Головними задачами олімпіади було розвиток у студентів творчих здібностей та інтересу до предметної та науково-дослідницької діяльності, створення умов для інтелектуального розвитку, поширення та популяризація інформації про ВНЗ серед потенційних абітурієнтів [1], а також виявлення та рекомендація переможців до участі у другому турі.

Необхідно було запропонувати студентам такі завдання, які дозволили би їм добитися якісних результатів за короткий час. Особливу увагу також було приділено розробці його тематики. З цією метою в межах проведення олімпіади студенти за чотири години мали виконати творче завдання [2]: створити віртуальний продукт соціального спрямування, а саме – промо-сайт на тему «День відкритих дверей в НТУ «ХПІ».

Оскільки запропонована тематика сайту не носить комерційний характер, то для створення такого промо-сайту біло доцільно спиратися на принципи організації та розробки соціальної реклами.

На відміну від комерційної реклами, орієнтованої на просування товарів і послуг, соціальна реклама звертає увагу на суспільні проблеми і, в кінцевому підсумку, ставить собі за мету зміну поведінкової моделі соціальних груп суспільства. Важливою відмінною рисою соціальної реклами є і те, що вона, зазвичай, адресована набагато ширшій аудиторії. Крім того, соціальна Інтернет-реклама має такі якості як оперативність, мультимедійність, глобальність, інтерактивність [2]. Цільовою аудиторією соціальної реклами в даному випадку є молодь і

підліткова, яка звикла шукати інформацію в віртуальному середовищі. Саме тому особливу увагу в даний час Вищі навчальні заклади приділяють своїм офіційним сайтам, де намагаються якомога повніше докладніше та привабливо представити свою діяльність. У зв'язку з цим, актуальним завданням при наявності великої кількості ВНЗ є необхідність залучення потенційного абітурієнта саме на «свій» сайт [3]. І тут, на наш, погляд засобом такого залучення уваги може успішно виступати промо-сайт.

Промо-сайт - це невеликий, але яскравий цікавий сайт, що привертає увагу. Основне завдання промо-сайту - вивести на ринок новий бренд / товар / послугу, прорекламувати захід. Часто промо-сайт створюється на час проведення рекламної кампанії, акції. Він містить всю необхідну інформацію щодо цього заходу: умови, терміни, місце проведення, новини, on-line конференції, анонси подій та інші відомості. При створенні промо-сайту важливе значення приділяється формі, в якій інформація представлена на сайті. Головне завдання промо-сайту - справити на користувача візуальний ефект, оригінально і в ненав'язливій формі донести до відвідувачів, що даний товар, послуга або захід - це цікаво, актуально і заслуговує на увагу.

При створенні промо-сайту важливе значення приділяється формі, в якій інформація представлена на сайті. Головне завдання промо-сайту - справити на користувача візуальний ефект, оригінально і в ненав'язливій формі донести до відвідувачів, що даний товар, послуга або захід - це цікаво, актуально і заслуговує на увагу. Для промо-сайтів характерне використання великої кількості графіки та мультимедійних матеріалів.

Створений під певну подію або захід з посиленням, розміщеним в соціальних мережах, такий продукт: по-перше оперативно проінформує про підготовлювану подію; по-друге розмістить відпові-

дне посилання на сайт рекламодавця з більш повною інформацією про організатора (посилання на офіційний сайт ВНЗ); по-третє подібно до ланцюгової реакції може істотно розширити контингент відвідувачів (користувачів Інтернету частіше, ніж читачі і телеглядачі, передають своїм знайомим зміст соціальної реклами, з якою знайомляться на сайтах «дізнався сам - розкажи другу»).

В кінцевому підсумку поставлена вихідна мета - розширення аудиторії, що поінформована про даний ВНЗ, факультет, кафедру, спеціальність, спеціалізацію знаходить свою реалізацію.

Промо-сайти «одноденки» можуть оперативно створюватися з нагоди: проведення олімпіад, пробного тестування, концертів, присвячених певній події, спортивних змагань (університетських і не тільки), організації різноманітних виставок, слухань, читань, екскурсій і, нарешті, днів відкритих дверей, де представники ВНЗ і зможуть особисто поспілкуватися з потенційними абітурієнтами.

Крім заданої тематики студентам було висунуто ряд вимог з точки зору організації дизайну сайту і використовуваних технологій розробки.

Творче завдання виконувалося на комп'ютері під керуванням операційної системи Windows без можливості виходу в мережу Internet. Конфігурація комп'ютера передбачала можливість використання такого програмного забезпечення:

браузері Internet Explorer 7+, Mozilla Firefox 20+, Google Chrome 29;  
Notepad++;  
Microsoft Office Word;  
Microsoft Office Power Point;  
AdobePhotoshop,  
HTML5,  
CSS,  
JavaScript,  
PHP,  
MySQL.

Процес розробки складався з двох завдань.

**Завдання 1:** Розробити дизайн промо-сайту теми «День відкритих дверей в НТУ «ХПІ»» (50 балів).

*Профіль замовника* - Центральна приймальня комісія НТУ «ХПІ». Сфера діяльності - освіта.

*Мета сайту* - інформаційне уявлення про день відкритих дверей НТУ «ХПІ» для школярів та їх батьків, можливість багаторазового використання та модифікації.

*Вимоги замовника.* Сайт повинен:

- містити інформацію про час і місце проведення дня відкритих дверей НТУ «ХПІ»;
- мати розроблену символіку до дня відкритих дверей (знак + логотип);
- містити слоган до дня відкритих дверей (у вигляді рядка, що біжить);

- надати коротку інформацію про місцезнаходження вузу, історію розвитку, досягнення перелік факультетів і кафедр;

- містити невеликі інформаційні тексти і фотографії;

- мати однаковість дизайну сторінок другого рівня;

- наявність карти сайту на одній з веб-сторінок;

- дозволяти оперативно змінювати інформацію;

- містити анімовані елементи;

- містити форму реєстрації для потенційного абітурієнта (з обов'язковим полем для контактного телефону).

*Вихідні дані.*

Дизайн домашньої сторінки (макет) з навігаційними елементами, створений в середовищі Adobe Photoshop (копія файлу в форматі .jpeg).

Дизайн сторінок другого рівня (макет), створений в середовищі Adobe Photoshop (копія файлу в форматі .jpeg).

Матеріал повинен бути збережений в одну папку, ім'я папки - це прізвище учасника.

**Завдання 2:** Створити промо-сайт на тему «День відкритих дверей в НТУ «ХПІ»» (50 балів).

Потрібно розробити «домашню сторінку» сайту з усіма необхідними навігаційними елементами, а також сторінки другого рівня, розмістивши на них інформаційні та презентаційні матеріали, створити карту сайту. Наповнити сайт конкретними матеріалами [4].

*Вихідні дані.*

Сайт (матеріал повинен бути збережений в одну папку, ім'я папки - це прізвище учасника) + текстовий файл з скріншотами усіх створених сторінок і їх короткими анотаціями (файл: звіт\_ПІБ).

Для розробки учасникам було запропоновано комплекс текстових та графічних матеріалів про НТУ «ХПІ» та подію, що рекламується.

Інформація про ВНЗ містила повне його найменування; адресу, номер і термін дії ліцензії та акредитації; прізвище, ім'я, по батькові ректора; наявність військової кафедри; наявність гуртожитку; короткий опис навчального закладу; історію його створення та розвитку; перелік факультетів і кафедр. Графічний матеріал складався з фірмової символіки університету, фотографій корпусів та історичних фото. Унікальність і якість створеного учасником продукту оцінювало журі за такими критеріями:

- дизайн сайту (максимум 50 балів);
- технологія створення сайту (максимум 50 балів).

Докладні критерії оцінки наведені в табл. 1.

Зразки оформлення найкращих робіт, виконаних учасниками олімпіади, наведено на рис. 1.

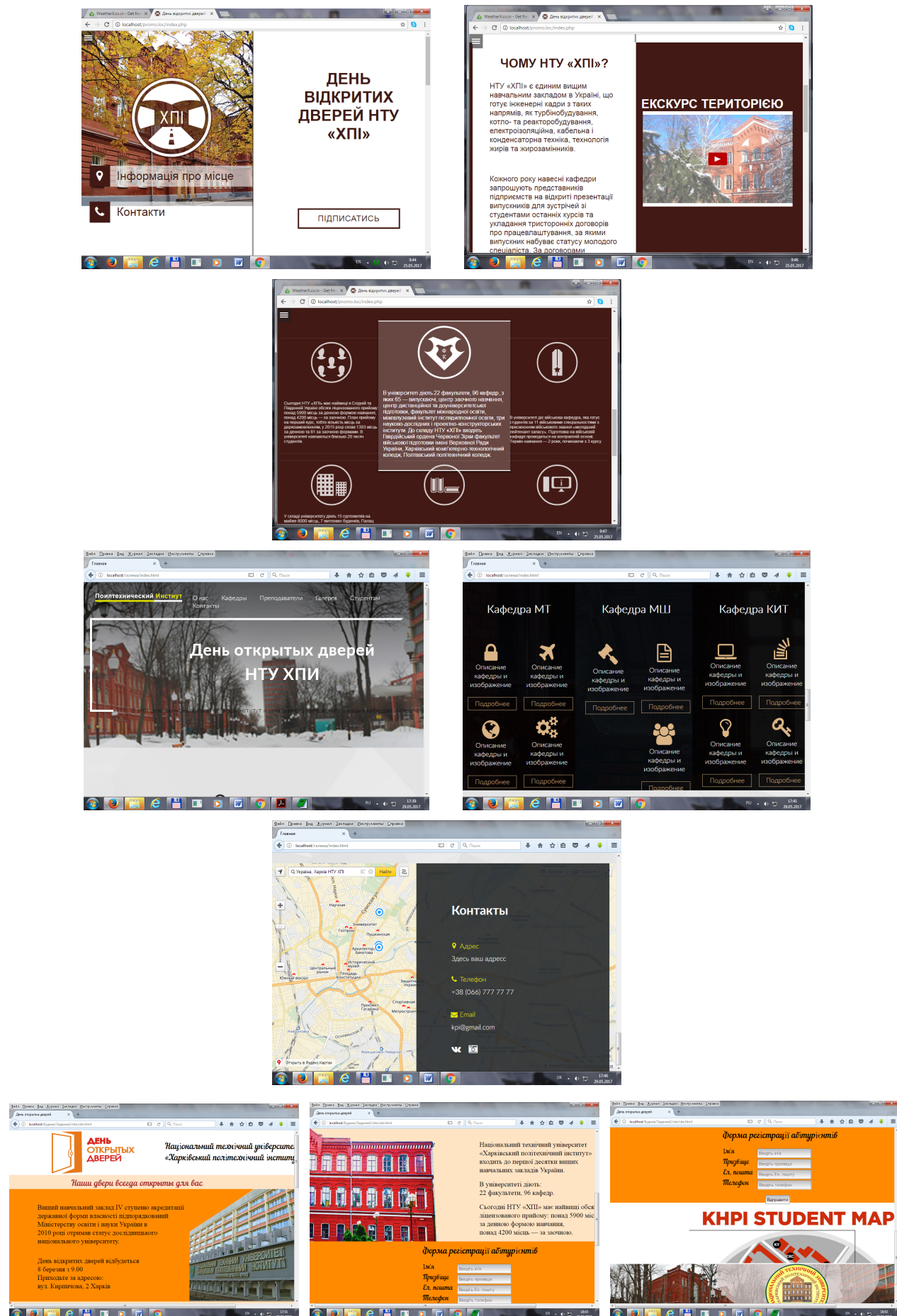


Рис. 1. Зразки оформлення найкращих робіт



Критерії оцінювання творчої роботи

Дизайн сайту	Макс. кількість балів	Технологія створення сайту	Макс. кількість балів
Функціональність (відповідність вимогам замовника)	4	Володіння інструментами розробки	7
Цілісність структури сайту (склад і назви розділів)	4	Працездатність продукту	5
Презентаційна спрямованість сайту (виражене звернення до його аудиторії, відповідність цілям «замовника»)	4	Файлова структура, назви файлів, їх розташування по папках	4
Рекламний слоган	4	Робота з графікою і розумний обсяг на одній сторінці	4
Фірмова символіка	6	Зрозумілість і достатність	4
Навігаційні елементи	6	Відсутність візуальних помилок в загальній композиції	4
Іконки	4	Грамотна верстка сторінок і робота з текстом	5
Стильність дизайнерського рішення	4	Наявність карти сайту	3
Загальне враження від дизайну домашньої сторінки	7	Кросбраузерність	4
Загальне враження від дизайну сторінок другого рівня	7	Застосування технологій (HTML 5, JavaScript, анімаційні GIF, Java Applets, CSS, PHP і т.інш.)	10
Разом за дизайн	50	Разом за технологію	50

## Висновки

Таким чином, обрана тематика творчих робіт для проведення першого туру олімпіади з web-технологій та web-дизайну є актуальною та цікавою як для студентської аудиторії так і для майбутніх абітурієнтів та їх батьків.

А розробка та розміщення в соціальних мережах промо-сайтів в період вступної приймальної кампанії може бути розглянуто як дієвий засіб, що створює сприятливі умови для залучення потенційних абітурієнтів до вступу у виш.

## Список літератури

1. Глібо О.А. Дизайн - аспекти підготовки фахівців у галузі програмування / Глібо О.А., Максимова М.О. // *Теорія та практика дизайну: Збірник наукових праць*. – Вип.1. – К.: «Комп'ютерпрес», 2012. – С.15-19

2. Ковина Т.П. Разработка творческих заданий для вузовской олимпиады школьников по информатике // *Вестник ПГГПУ. Серия №1: Психологические и педагогические науки*. – Пермь, ПГГПУ, 2014. – С. 257-262.

3. Глібо О.А. Створення візуального іміджу спеціальності в межах підготовки та проведення абітурієнтської приймальної кампанії / Глібо О.А., Горбатенко Д.В., Максимова М.О. // *Матеріали II-ї Всеукраїнської НПК студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених»*. – Випуск 5. – К.: ДІА, 2013. – С.106-108

4. Остріжній М. М. Розробка web-додатків з використанням *tv\** фреймворка *backbone.js* та технології *node.js* / Остріжній М. М., Симонова О. Г. – Харків: НТУ «ХПИ», 2016. – С. 359.

Надійшла до редколегії 22.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## СОЦИАЛЬНАЯ РЕКЛАМА КАК ТЕМАТИКА ТВОРЧЕСКОЙ РАБОТЫ НА ОЛИМПИАДЕ ПО WEB-ТЕХНОЛОГИЯМ И WEB-ДИЗАЙНУ

О.А. Глибко, О.Г. Симонова, Л.М. Савченко

*Статья посвящена анализу опыта проведения 1 тура Всеукраинской олимпиады студентов по web-технологиям и web-дизайну, созданию промо-сайта о дне открытых дверей НТУ «ХПИ», раскрытию роли социальной рекламы в повышении среди абитуриентов мотивации к поступлению в ВУЗ.*

**Ключевые слова:** промо-сайт, творческие задания; веб-сайт; олимпиада; дизайн сайта, средства web-верстки, социальная реклама.

## SOCIAL ADVERTISING AS A THEMATIC OF CREATIVE WORK ON OLYMPIAD WITH WEB TECHNOLOGIES AND WEB DESIGN

O.A. Glebko, O.G. Simonova, L.M. Savchenko

*The article is devoted to the analysis of the experience of conducting the 1st round of the All-Ukrainian Olympiad of students on web-technology and web-design, creation of a promo-site about the day of the open doors of NTU "KhPI" to reveal the role of social advertising in raising among the entrants of motivation to enter higher education institutions.*

**Keywords:** promo-site, creative tasks; website; Olympiad; Design of the site, means of web-layout, social advertising.

УДК 004.89

Е.А. Дружинин, И.В. Шостак, А.А. Лысенко

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ВЕРОЯТНОСТНО-ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ КАМПУСНОЙ СЕТИ

Рассмотрен базис вероятностных моделей выбора документов пользователями информационных систем. Приведены предположения о характере поведения пользователя информационной системы. Представлена интеграция модели задача-ориентированного выбора документов в рамках университетской кампусной сети. Рассмотрено применение вероятностно-поведенческой модели на примере класса пользователя – инженера конструкторского бюро.

**Ключевые слова:** вероятностная модель выбора, модель задача-ориентированного выбора, университетские кампусные сети, анализ поведения пользователя, информационный поиск.

### Введение

История выбранных документов поисковой системы является источником информации о предпочтениях пользователя. Эта проанализированная информация используется при реализации и поддержке процессов, связанных с поиском данных, например: ранжирование результатов поиска [8], прогнозирование показателя выбора некоторого документа [6], прогнозирование степени удовлетворенности пользователя результатам поиска [9]. При анализе истории выбранных документов выделяют такую проблему, как построение модели – *модели выбора*, которая позволит определять релевантные пары запрос-документ, в случае когда на запрос была выдана огромная выборка результатов. Применение модели пользовательского выбора в поисковых системах в состоянии упростить прогнозирование поведения поиска документов пользователем в поисковой системе. Существует достаточное количество реализаций модели выбора, основанных на пользовательском просмотре и выборе документов информационного запроса:

- модель динамической байесовской сети [1];
- модель пользовательского просмотра [3];
- модель цепочки выбранных документов [4];
- модель релевантности [10].

Однако редко когда информационная потребность пользователя удовлетворяется единичным запросом к системе. Наиболее частым случаем является цепочка запросов и результирующая выборка документов на каждый из них, выполняющие по сути единственную задачу – поиска.

### 1. Анализ моделей выбора документов

*1.1. Основной сценарий поведения пользователя при поиске информации*

1. Произвести отправку информационного запроса поисковой системе.
2. Просмотреть результирующую выборку.

3. Выбрать некоторые документы для детального просмотра.

*Результаты не удовлетворяют информационную потребность пользователя.*

4. Построить уточненный информационный запрос.

5. Повторить действия, начиная с пункта 1.

Стоит отметить, что этот сценарий будет продолжаться до тех пор, пока пользователь не найдет желаемую информацию, либо же не завершит поиск. Другими словами, процесс поиска представляет собой множество пар запрос-выбор, которые составляют общую картину взаимодействия пользователя с поисковой системой.

Множество пар запрос-выбор для конкретных промежутков времени взаимодействия пользователя с системой представляют собой сессии — *сессии пользователя* [11]. Принято разделять сессии на две категории:

- сессии запроса (содержит информацию о конкретном информационном запросе);
- сессии поиска (охватывает все запросы и историю взаимодействия пользователя с результатами).

Принимая во внимание указанное обстоятельство, следует отметить, что реализованные модели выбора, приведенные выше, рассматривают только сессию единичного запроса и игнорируют значительный кластер информации сессии поиска. Таким образом, эти модели теряют точность в большинстве случаев, например: модель динамической байесовской сети предполагает, что пользователь всегда удовлетворен последним выбранным документом по некоторому запросу.

*1.2. Основы вероятностных моделей выбора документов*

Первичной проблемой моделирования выбора документов было предположение о позиции в результирующей выборке [12], утверждающее, что документ, находящийся на высоких позициях, явля-

ється найбільш привлекательним для вибору користувачами вне зависимости от того релевантний он, либо нет. После этого, было предложено понятие релевантности [6], которое позволяло документы, соответствующие запросу пользователя, перемещать на высокие позиции в результирующей выборке запроса. Рассматривая предложенное понятие, были предложены гипотезы поведения пользователей в поисковых системах [2], которые стало возможным формализовать при помощи теории вероятностей.

1.3. Гипотеза просмотра

Одной из гипотез поведения является гипотеза просмотра документа, которая предполагает, что пользователь осуществляет выбор документа только после просмотра его краткого описания:

$$P(C_i = 1 | E_i = 0) = 0 ; \tag{1.1}$$

$$P(C_i = 1 | E_i = 1, q, \phi(i)) = a_{\phi(i)} , \tag{1.2}$$

где обозначены вероятностные модели выбора:  $C_i$  – выбор документа, находящегося на позиции  $i$  результирующей выборки запроса;  $E_i$  – просмотр описания документа на позиции  $i$ ;  $q$  – запрос, для которого была сформирована результирующая выборка;  $\phi(i)$  – документ, находящийся на позиции  $i$  результирующей выборки;  $a_{\phi(i)}$  – релевантность документа на позиции  $i$ .

Одним из расширений гипотезы просмотра является модель пользовательского просмотра, которая предполагает, что просмотр документа зависит не только от позиции в результирующей выборке, но и от предшествующего выбранного документа:

$$I_i = \max \{j \in \{1, \dots, i-1\} | C_j = 1\} , \tag{1.3}$$

$$P(E_i = 1 | C_{I_i} = 1, C_{I_i+1:i-1} = 0) = \beta_{I_i, i} ; \tag{1.4}$$

$$C_{i:j} = 0 \rightarrow C_i = C_{i+1} = \dots = C_j = 0 , \tag{1.5}$$

где обозначены такие модели пользовательского просмотра:  $I_i$  – позиция предыдущего выбранного документа;  $\beta_{I_i, i}$  – вероятность перехода с позиции  $I_i$  на позицию  $i$  (рис. 1.1).

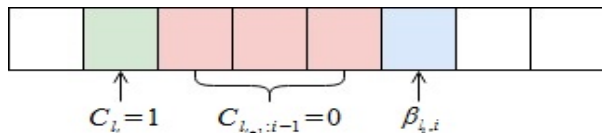


Рис. 1.1. Графическое представление  $\beta_{I_i, i}$

Следующее расширение – каскадная модель, предполагающая, что пользователь постепенно просматривает каждый документ и выбор одного из них завершает процесс поиска информации. Указанное обстоятельство является ограничением данной модели, что способствовало её переработке, выразившейся в двух моделях - модель цепочки выбранных

документов [4] и модель динамической байесовской сети [1].

Обе модели подчеркивают, что вероятность просмотра документа зависит от предшествующих выбранных документов и их релевантности. В модели динамической байесовской сети было введено понятие пертинентности, предписывающее, что пользователь не будет просматривать следующий документ, если его информационные нужды были удовлетворены текущим:

$$P(S_i = 1 | C_i = 1) = s_{\phi(i)} , \tag{1.6}$$

$$P(E_{i+1} = 1 | S_i = 1) = 0 , \tag{1.7}$$

$$P(E_{i+1} = 1 | E_i = 1, S_i = 0) = \gamma , \tag{1.8}$$

где обозначены такие модели динамической байесовской сети:  $S_i$  – пертинентность документа, находящимся на позиции  $i$ ;  $\gamma$  – вероятность продолжения поиска информации.

Рассмотренные модели выбора различаются по предположениям и подходам относительно поведения пользователей, но ни в одной не анализируется сессия поиска.

1.4. Предположения о поведении пользователей поисковой системы

Принимая во внимание эволюцию как поисковых систем, так и моделей выбора (в частности, модель задача-ориентированного выбора), выделяют два предположения о поведении пользователя [7]:

1) пользователь стремится постепенно отражать свои информационные потребности и уточнять их путем просмотра результатов запросов;

2) пользователь стремится выбирать актуальные документы, которые не были включены в результирующую выборку предшествующих запросов.

Вышеуказанные предположения основываются на соответствующих им сценариях [7].

Сценарий поведения пользователя 1 предположения

1. Отправить информационный запрос поисковой системе.

В большинстве случаев результаты по первому запросу не удовлетворяют нужды пользователя.

2. Просмотреть результирующую выборку.

Анализируя результирующую выборку путем просмотра краткого описания документов без выбора одного из них, пользователь подчеркивает для себя как ему перефразировать, либо уточнить, запрос.

3. Построить уточненный информзапрос.

4. Повторить действия, начиная с пункта 1.

Сценарий поведения пользователя 2 предположения

1. Отправить информационный запрос поисковой системе.

2. Просмотреть результирующую выборку.

Выборка может содержать как документы, которые пользователь прежде не видел, так и те, для которых он прежде определял полезность.

3. Поиск документов, которые прежде выдавались на запрос.

Маловероятно то, что пользователь несколько раз будет просматривать документы, которые он видел в предшествующих запросах.

4. Просмотр фильтрованной выборки.

5. Выбор документов.

Пользователь идентифицирует полезность документа путем его выбора из результирующей выборки.

При рассмотрении сценариев поведения пользователя отражается тот факт, что формирование запроса и выбор документов в информационной системе имеет тенденцию к достижению нескольких итераций. Обработка и использование данных сессии поиска способствуют минимизации количества таких итераций. Таким образом, с целью повышения точности определения пертинентных документов поисковой системы и в то же время решения задачи прогнозирования поведения поиска была предложена модель задача-ориентированного выбора [7].

1.5. Модель задача-ориентированного выбора документов

Данная модель основана на двух предположениях поведения пользователя и ориентирована на работу непосредственно с сессией поиска. Структура модели состоит из двух слоев [7]: макро- и микро-модели. Макромодель характеризует первое предположение о поведении, тогда как микро- – второе.

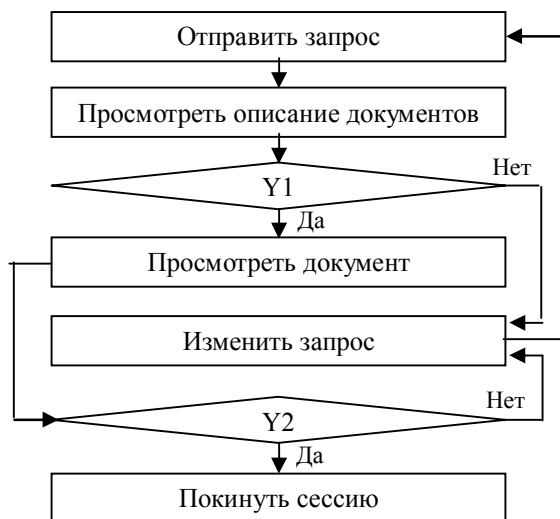


Рис. 1.2. Графическое представление сценария поведения пользователя 1-го предположения (Y1 – соответствует ли запрос нуждам пользователя; Y2 – завершить поиск)

В момент отправки запроса пользователем модель использует случайную величину для определения логического вывода условия Y1 (соответствует ли запрос нуждам пользователей) на рис. 1.2 (Y2 – завершить поиск). Стоит отметить, что значение величины Y1 влияет на интерпретацию моделью поведе-

ния пользователя для текущего запроса. Значение этой величины зависит от того, просмотрит ли пользователь хотя бы один из документов результирующей выборки, либо нет. Процесс просмотра документов пользователем представлен в микро-модели; и свое графическое представление получил на рис. 1.3.

На вероятность просмотра документа влияют такие факторы как релевантность и степень свежести (времени, прошедшего с момента появления документа в сети до занесения его в индексную базу). На рис. 1.3 эти факторы представимы в виде величин Y3 и Y4 соответственно. Значение свежести документа определяет, просмотрит ли его пользователь в следующий раз, либо пропустит.

Формально слою модели задача-ориентированного выбора документов представимы в виде формул (1.9) – (1.13) [7] (обозначения – в табл. 1.1).

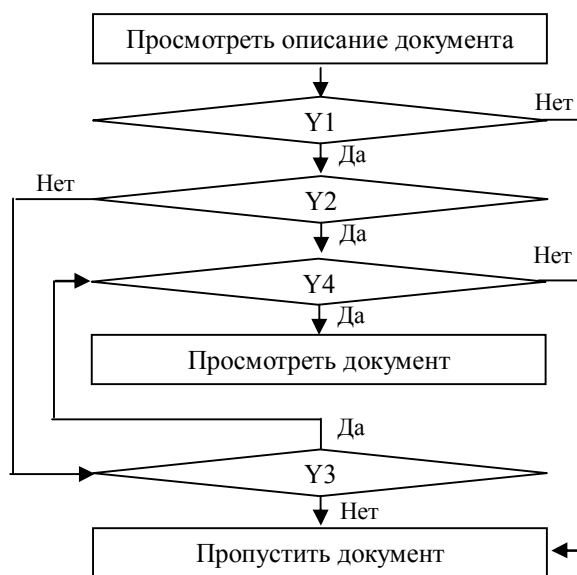


Рис. 1.3. Графическое представление сценария поведения пользователя 2-го предположения (Y1 – соответствует ли запрос нуждам пользователя; Y2 – просматривался ли ранее документ, Y3 – просмотреть ли повторно документ, Y4 – просмотреть ли документ)

Таблица 1.1

Обозначения модели задача-ориентированного выбора документов

Символ	Назначение
$M_i$	Соответствует ли i-й запрос нуждам пользователя
$N_i$	Продолжит ли пользователь поиск информации после успешного предшествующего запроса
$E_{ij}$	Просмотр описания документа i-го запроса на позиции j
$H_{ij}$	Предшествующий просмотр документа i-го запроса на позиции j
$F_{ij}$	Свежесть документа i-го запроса на позиции j
$R_{ij}$	Релевантность документа i-го запроса на позиции j
$C_i$	Выбор документа i-го запроса на позиции j
$S_{ij}$	Пертинентность документа i-го запроса на позиции j

$$P(M_i = 1) = \alpha_1, \quad (1.9)$$

$$P(N_i = 1 | M_i = 1) = \alpha_2, \quad (1.10)$$

$$P(F_{i,j} = 1 | H_{i,j} = 1) = \alpha_3, \quad (1.11)$$

$$P(E_{i,j} = 1) = \beta_j, \quad (1.12)$$

$$P(R_{i,j} = 1) = r_d, \quad (1.13)$$

Следует отметить, что микромодель предполагает интеграцию с существующими моделями выбора, что обеспечивает масштабируемость модели задача-ориентированного выбора. Таким образом, если расширить модель моделью пользовательского просмотра, то (1.12) преобразуется в следующий вид:

$$P(E_{i,j} = 1 | C_{1j} = 1, C_{1+j:1+j-1} = 0) = \beta_{1,j}. \quad (1.14)$$

Интегрируя динамическую байесовскую сеть в модель, вводится величина пертинентности документа, формально представляемая в виде:

$$P(C_{i,j} = 1 | M_i = 1, E_{i,j} = 1, R_{i,j} = 1, F_{i,j} = 1) = c_d, \quad (1.15)$$

$$P(S_{i,j} = 1 | C_{i,j} = 1) = s_d. \quad (1.16)$$

## 2. Вероятностно-поведенческая модель пользователя университетской кампусной сети

Интегрируя модель задача-ориентированного выбора документов в рамки университетской кампусной сети, возникает возможность повышения точности определения пертинентных документов за счёт наличия специализированной информации о пользователе. Специализированную информацию составляют данные, зависящие от класса пользователя университетской кампусной сети. Классифицировать пользователей возможно по принципу выполняемых работ: студент, преподаватель, инженер конструкторского бюро и прочие. Рассматривая модель задача-ориентированного выбора документов, было установлено, что от значения случайной величины  $YI$  будет зависеть вероятность просмотра до-

кументов результирующей выборки для запроса. Таким образом, используя данные класса пользователя можно повысить вероятность просмотра документов запроса пользователем.

Принимая во внимание вышеуказанное обстоятельство, модель задача-ориентированного выбора документов получает модификацию относительно двух слоёв. На рис. 2.1 представлен пример модификации макромодели.

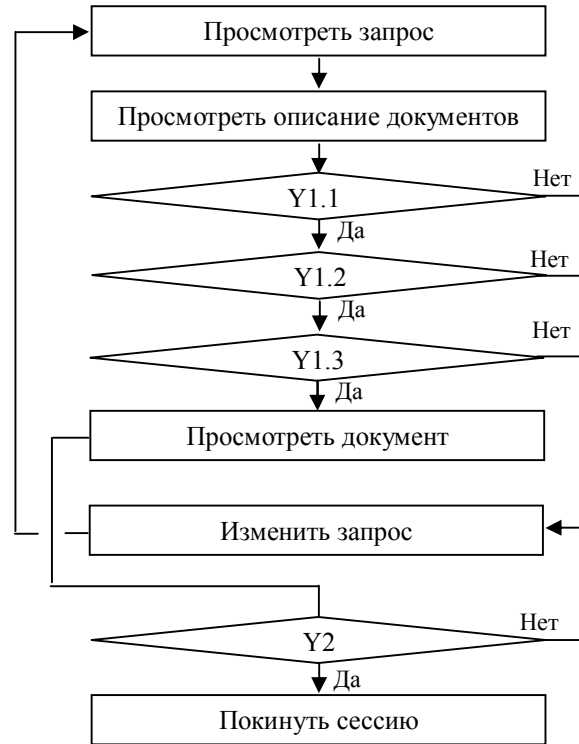


Рис. 2.1. Графическое представление уточненного сценария поведения пользователя 1-го предположения

Данной модификации присуща абстрактность в плане целевого класса пользователя, т.е. различные число условий и их значений быть применены, учитывая специфику пользователя университетской кампусной сети. В табл.2.1 приведены обозначения случайных величин  $Yx.x$  для некоторых классов пользователей.

Таблица 2.1

Обозначения модифицированного слоя модели выбора документов относительно классов пользователей

	<i>Студент</i>	<i>Преподаватель</i>	<i>Инженер конструкторского бюро</i>
Y1.1	Относится ли тематика документа к успешно обучаемой, либо обученной, дисциплине?	Относится ли тематика документа к направлению подготовки студентов?	Относится ли тематика документа к специальности инженера?
Y1.2	Относится ли тематика документа к дисциплине, связанной с $Y1.1$ ?	Относится ли тематика документа к направлению научной деятельности?	Относится ли тематика документа к решаемым задачам?
Y1.3	Соответствует ли запрос потребностям пользователя?		

Следует отметить, что вне зависимости от класса пользователя, последнее условие таблицы (в данном случае У1.3) всегда должно присутствовать в силу неопределенности потребностей конкретного

пользователя и преследуемых им конечных целей в момент поиска информации.

Формализация слоев модели задача-ориентированного выбора примет вид табл. 2.

Таблица 2.2

Обозначения модифицированной модели задача-ориентированного выбора

	<i>Студент</i>	<i>Инженер конструкторского бюро</i>
$M_{T_i,j}$	Соответствует ли тематика документа $i$ -го запроса на позиции $j$ успешно обучаемой, либо обученной, дисциплине	Соответствует ли тематика документа $i$ -го запроса на позиции $j$ специальности инженера и решаемой им задаче
$D$	множество дисциплин	-
$sp$	-	Специализация
$T$	-	Множество решаемых задач
$\tau_d$	$P(M_{T_i,j} = 1   D)$ (2.1)	$P(M_{T_i,j} = 1   sp, T)$ (2.2)

Принимая во внимание случайные величины  $Y1.1$  и  $Y1.2$ , формулы вероятностей преобразуются к следующим формам:

$$P(M_i = 1 | \tau_d) = \alpha_1, \quad (2.3)$$

$$P(N_i = 1 | \alpha_1) = \alpha_2, \quad (2.4)$$

$$P(F_{i,j} = 1 | H_{i,j} = 1, l_{ind}) = \alpha_3, \quad (2.5)$$

где случайная величина  $\tau_d$  дополняет  $M_i$ . Также при анализе документов на степень их свежести вводится величина  $l_{ind}$  – ограничение времени последнего обновления документа в системе. Таким образом, дополненные вероятности преобразуют собой составные:

$$P(E_{i,j} = 1 | C_{1j} = 1, C_{1j+1:j-1} = 0, \alpha_1, \alpha_3) = \beta_{1,j}, \quad (2.6)$$

$$P(C_{i,j} = 1 | \alpha_1, \alpha_3, \beta_{i,j}, \tau_d) = c_d, \quad (2.7)$$

$$P(S_{i,j} = 1 | c_d) = s_d. \quad (2.8)$$

Проведенная модификация способна повысить вероятность просмотра документов университетской кампусной сети, тематика которых соответствует нуждам пользователя.

### 3. Пример использования вероятностно-поведенческой модели инженера конструкторского бюро

Допустим, существует некоторое множество документов  $DC$ , выданных для пользовательского запроса. Элементы множества  $DC$  представляют собой следующую структуру:

$$dc = \{TP', t_{cur} - t_{ind} \leq l_{ind}\}, \quad (3.1)$$

определяя множество тематик  $TP'$ , экспертно установленных администратором УКС, и логический вывод относительно степени свежести документа. Логический вывод составляют величины:

$t_{cur}$  – время отправки  $i$ -го запроса пользователем;  $t_{ind}$  – время последнего индексирования (обновления) документа  $i$ -го запроса на позиции  $j$  в хранилище университетской кампусной сети;  $l_{ind}$  – ограничение времени последнего обновления документа  $i$ -го запроса на позиции  $j$  в университетской кампусной сети. Класс пользователя в данном случае является инженером конструкторского бюро, который ответственен за выполнение ряда задач, привязанных к нему. Формально сущность инженера представлена в следующем виде:

$$e \in E, e = \{sp\}, \quad (3.2)$$

$$sp = \{TP'\}, \quad (3.3)$$

$$t \in T, t = \{TP', e\}, \quad (3.4)$$

где  $E$  – множество инженеров конструкторского бюро;  $sp$  – специальность инженера  $e$  конструкторского бюро;  $T$  – множество задач конструкторского бюро, исполняющих их инженерам.

Тогда для множества  $DC$  возможно провести ранжирование документов относительно их тематике к специализации инженера и решаемых им задач, обеспечив (2.2):

$$T' = \{t \in T | t.e = e, t.TP' \in e.sp.TP'\}, \quad (3.5)$$

$$DC' = \{dc \in DC | dc.TP' \in e.sp.TP', dc.TP' \subset T'.TP'\}. \quad (3.6)$$

Получив ранжированное множество документов  $DC'$  необходимо также фильтровать документы относительно  $l_{ind}$  с целью выполнения условия 2-го предположения о поведении пользователя (в данном случае, инженера) в университетской кампусной сети (2.5).

$$DC'' = \{dc \in DC' | dc.(t_{cur} - t_{ind} \leq l_{ind}) = true\}. \quad (3.7)$$

В конечном итоге, применяя методы определения параметров (2.3), (2.6), (2.7) модели, а также принимая во внимание неопределенность потребностей конкретного инженера, формируется конеч-

ная вероятностно-поведенческая модель инженера конструкторского бюро. Таким образом, появляется возможность проектирования программного агента, позволяющего ранжировать и предлагать пользователю (в данном случае, инженеру конструкторского бюро) университетской кампусной сети документы, позволяя ему не затрачивать время на поиск информации во время выполняемых им работ.

### Заключение

Анализ моделей выбора документов информационных систем определил необходимость использования значительного кластера информации сессии поиска с целью проектирования эффективных моделей выбора. Группой ученых была предложена модель задача-ориентированного выбора документов, основанной на двух предположениях о поведении пользователей информационной системы, целью которой является повышение точности определения пертинентных документов поисковой системы и в то же время решение задачи прогнозирования поведения поиска. Модель обладает определенной степенью абстрактности и масштабируемости, что обеспечивает легкость её расширения.

Интегрируя модель задача-ориентированного выбора документов в рамки университетской кампусной сети была сформирована расширенная версия этой модели, позволяющая определить пертинентные документы для конкретного класса пользователя, работающих с университетской кампусной сетью. Помимо этого, была предложена идея о проектировании программного агента, позволяющего предлагать пользователю информацию с целью минимизации времени на поиск информации пользователем.

### Список литературы

1. O. Chapelle. *A dynamic bayesian network click model for web search ranking* / O. Chapelle, Y. Zhang. In *Proc. of the 18th Int. World Wide Web Conference*, 2009, pages 1–10.
2. N. Craswell. *An experimental comparison of click position-bias models* / N. Craswell, O. Zoeter, M. Taylor, B. Ramsey. In *Proceedings of the 1st ACM Int Conference on Web Search and Data Mining*, 2008, pages 87–94.

3. G. Dupret. *A user browsing model to predict search engine click data from past observations* / G. Dupret, B. Piwowarski. In *Proceedings of the 31st Annual ACM SIGIR Conference*, 2008, pages 331–338.

4. F. Guo. *Click chain model in web search* / F. Guo, C. Liu, A. Kannan, T. Minka, M. Taylor, Y. Wang, C. Faloutsos. In *Proceedings of the 18th International World Wide Web Conference*, 2009, pages 11–20.

5. B. Hu. *Characterize search intent diversity into click models* / B. Hu, Y. Zhang, W. Chen, G. Wang, and Q. Yang. In *Proceedings of the 20th International World Wide Web Conference*, 2011, pages 17–26.

6. M. Richardson. *Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads* / M. Richardson, E. Dominowska, R. Ragno. In *Proceedings of the 16th International World Wide Web Conference*, pages 521–530, 2007.

7. Y. Zhang. *User-click Modeling for Understanding and Predicting Search-behavior* / Y. Zhang, W. Chen, D. Wang, Q. Yang. In *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2011, Pages 1388–1396

8. C. Burges. *Learning to rank using gradient descent* / C. Burges, T. Shaked, E. Renshaw, A. Lazier, M. Deeds, N. Hamilton, G. Hullender. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning*, 2005, pages 89–96.

9. G. Dupret. *A model to estimate intrinsic document relevance from the clickthrough logs of a web search engine* / G. Dupret, C. Liao. In *Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 2010, pages 181–190.

10. R. Srikant. *User browsing models: relevance versus examination* / R. Srikant, S. Basu, N. Wang, D. Pregibon. In *Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2010, pages 223–232.

11. B. Piwowarski. *Mining user web search activity with layered bayesian networks or how to capture a click in its context* / B. Piwowarski, G. Dupret, R. Jones. In *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 2009, pages 162–171.

12. L.A. Granka. *Eye-tracking analysis of user behavior in WWW search* / L.A. Granka, T. Joachims, G. Gay. In *Proceedings of the 27th Annual ACM SIGIR Conference*, 2004, pages 478–479.

Надійшла до редколегії 8.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Шабанов-Кушнарченко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

### ІМОВІРНОСНО-ПОВЕДІНКОВА МОДЕЛЬ КОРИСТУВАЧА УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ КАМПУСНОЇ МЕРЕЖІ

Є.А. Дружинін, І.В. Шостак, О.О. Лисенко

Розглянуто базис ймовірнісних моделей вибору документів інформаційних систем. Приведені припущення щодо характеру поведінки користувача інформаційної системи. Проведено інтеграцію моделі завдання-орієнтованого вибору документів у рамках університетської кампусової мережі. Розглянуто використання ймовірнісно-поведінкової моделі на прикладі класу користувача — інженера конструкторського бюро.

**Ключові слова:** ймовірна модель вибору, модель завдання-орієнтованого вибору, університетські кампусні мережі, аналіз поведінки користувача, інформаційний пошук.

### PROBABILISTIC AND BEHAVIORAL MODEL OF CAMPUS NETWORK'S USER

E.A. Druzhinin, I.V. Shostak, A.A. Lysenko

The basis of user-click models are considered. Assumptions of the user search-behavior are given. The task-centric click model integration to campus network are made. The usage of probabilistic and behavioral model, which rely on design-engineer class, are considered.

**Keywords:** user-click model, task-centric click model (TCM), campus networks, user search-behavior analysis, data browsing.

УДК 658.62.018.012

Н.И. Ким<sup>1</sup>, А.Н. Денисенко<sup>2</sup>, А.Р. Трищ<sup>1</sup><sup>1</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, Харків<sup>2</sup> ТОВ «ПРОМСТАНДАРТ», Київ

## КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Рассмотрен квалиметрический подход к оцениванию объектов различной природы с применением статистических методов. Под объектами различной природы понимается продукция, услуга, изделие, вещество, процесс и все, что подлежит оцениванию с целью управления его качеством. Перечислены существующие математические зависимости, позволяющие переводить разноразмерные показатели качества разнородных объектов в безразмерную величину. Предложен пошаговый алгоритм процесса определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале, который в себя включает два направления, в зависимости от количества и вида существующей информации о случайной величине. Показана методика определения закона распределения случайной величины с использованием кривых Пирсона.*

**Ключевые слова:** объект различной природы; функция желательности; безразмерная шкала; кривые Пирсона.

### Введение

Оценкой качества объектов различной природы занимается наука – квалиметрия, которая изучает их оценивание в количественном выражении с целью получения информации, необходимой для принятия решения о дальнейшем управлении их качеством.

Под объектами различной природы (объект) будем понимать продукцию, услугу, изделие, вещество, процесс или все, что подлежит оцениванию с целью управления его качеством. В квалиметрии, при оценке качества объектов важное место занимает вид зависимости между измеренным показателем качества и его оценкой на безразмерной шкале, так как показатели качества не всегда распределены равномерно и не всегда имеют линейную математическую зависимость с их оценкой. Для управления качеством объекта часто приходится применять статистические методы оценивания и управления, где, в качестве основной информации необходимо знать не закон распределения показателя качества в его единицах измерения, а знать закон распределения его оценок на безразмерной шкале. Еще одним важным источником информации при применении статистических методов являются эффективные оценки параметров законов распределения показателей качества, что требует проведения исследований различными методами и определения наиболее подходящих для каждого отдельного случая.

**Обзор литературы.** В квалиметрии, для оценивания объектов, наиболее широко используются такие виды математических зависимостей между измеренными показателями качества и их оценкой – линейная, нелинейная, и зависимость, не выражена в явном виде. В рамках данной статьи остановимся на нелинейных зависимостях, так как они соответствуют идеологии процесса оценки качества и могут быть

универсальными для оценки объектов. В большинстве существующих методиках оценки качества объектов с применением нелинейных математических зависимостей, используются приближенные формулы, которые применимы для каждого отдельного объекта и не являются универсальными [1, 3]. В работах [4 – 6] в качестве математических зависимостей использовали двойное экспоненциальное распределение, известное как функция желательности Харрингтона и, используя принцип ее симметрии, получали пять зависимостей, что давало возможность выбора, сделать оценку жесткой, или ослабить ее, то есть пытались сделать ее более универсальной. Авторами [7, 8] для оценки систем управления качеством предприятий и ее процессов был применен такой вид зависимостей, который учитывал только действительное (измеренное значение показателя качества объекта) и его предельно-допустимые значение и параметр формы, изменение которого позволяло сделать оценку жесткой, или ослабить ее. Они применялись для оценивания объектов из за их простоты, но недостатком является неопределенность выбора параметра формы.

В работе [9] предложена универсальная математическая зависимость между измеренным показателем качества объектов и его оценкой на безразмерной шкале, которая учитывает только максимально допустимое и минимально допустимое значение показателя качества объекта. Построены гистограммы, вид которых позволяет выдвинуть гипотезы, что при моделировании показателей качества за нормальным законом распределения, закон распределения их оценок на безразмерной шкале близок к закону равной вероятности, а при моделировании показателей качества за законом равной вероятности, близок к закону арксинуса.



Поэтому *задачей данной статьи* является предложение алгоритма оценивания закономерностей распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале, как случайной величины, с целью дальнейшего решения практических задач по управлению их качеством.

### Основной материал

Для определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале существует несколько подходов. Первый основан на математическом анализе, в основе которого лежит подбор подходящей математической функции для описания эмпирического распределения. Для определения того, насколько правильно эта функция описывает эмпирическое распределение, используются различные критерии согласия (Пирсона, Колмогорова, Мизеса и др.). Второй подход основан на том, что каждому теоретическому закону распределения показателей качества объектов, как случайных величин соответствуют определенное физическое объяснение характера данного рассеивания. Зная эти условия, можно найти соответствующие им законы распределения. И первый, и второй подход не всегда возможно применить, так как

для первого подхода необходимо большие объемы статистической информации, и согласие эмпирических распределений с теоретическими не гарантирует адекватности закона. Второй подход требует полной априорной определенности, что практически всегда отсутствует, так как характер рассеивания постоянно меняется, а процесс изменения - нестационарен.

Для решения этой задачи – определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале необходимо применить комплекс различных методов на разных этапах ее решения в зависимости от количества существующей статистической информации. Необходимо максимально эффективно использовать существующую информацию за счет применения комплекса методов и методик, дополняющих друг друга информацией и сужая поле неопределенности при решении поставленной задачи. На рис. 1 представлен алгоритм определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале. Из алгоритма (рис. 1) видно, что для определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале необходимо иметь определенность в части знания физической сущности

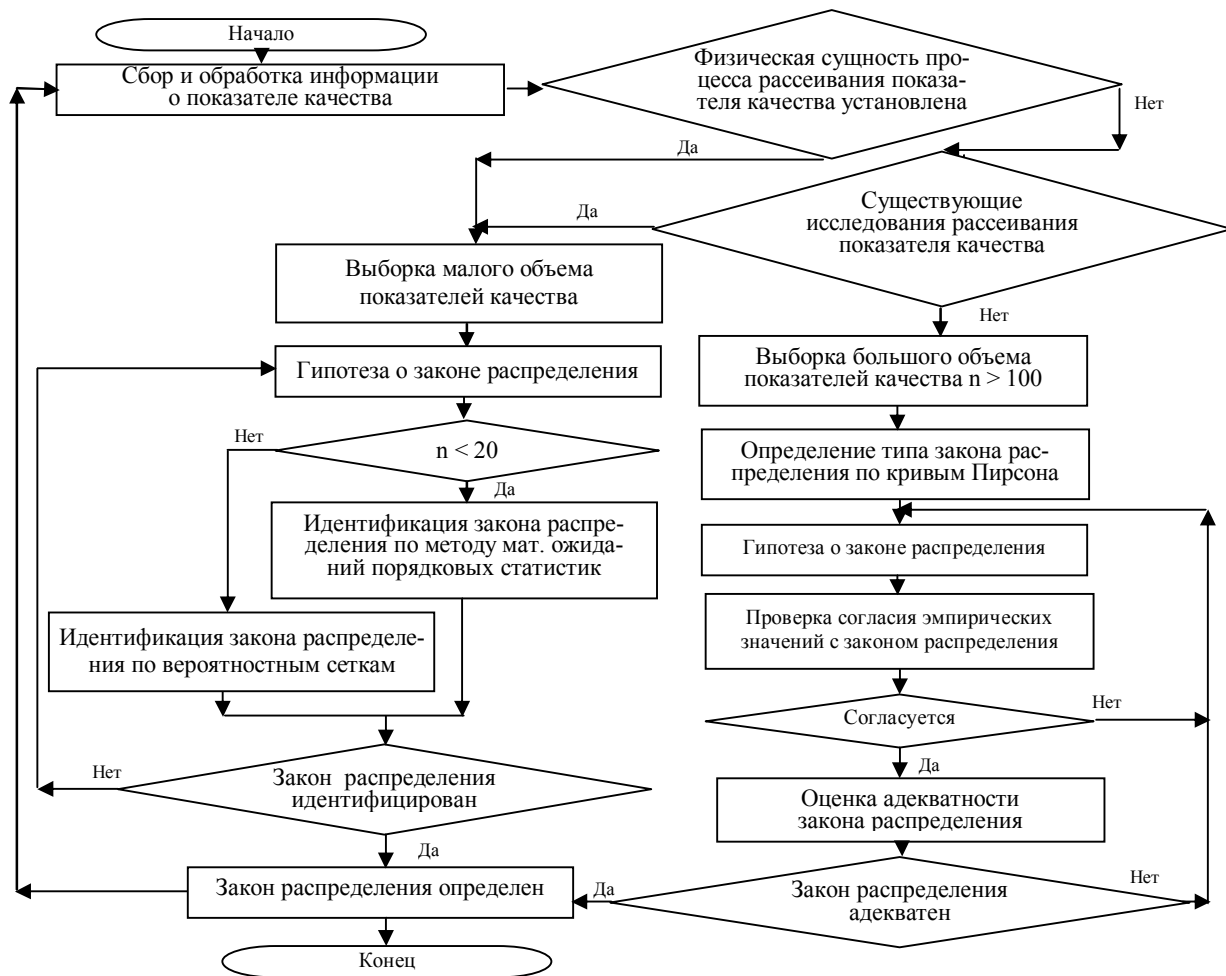


Рис. 1. Алгоритм процесса определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале

процесса распределения показателей качества, или существующих исследований, проведенных ранее на массовых экспериментах. В случае отсутствия такой информации, задачу необходимо решать другим путем, и начинать ее решение нужно из определения типа кривой Пирсона, к которым относится распределение таких величин.

Известно, что распределения Пирсона полностью определяется первыми четырьмя моментами, поэтому достаточно найти коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса, чтобы определить тип кривой. Таким образом, если вдоль осей декартовой системы координат откладывать отрезки, отвечающие величинам  $b_1$  и  $b_2$ , то в плоскости различным типам кривых Пирсона будут соответствовать области, кривые и точки. На рис. 2 представлена область плоскости ( $b_1$  и  $b_2$ ), где  $b_1$  - квадрат коэффициента асимметрии,  $b_2$  - коэффициент эксцесса.

$$\sqrt{b_1} = \mu_3^* / (\mu_2^*)^{3/2} ; \quad b_2 = \mu_4^* / (\mu_2^*)^2 ,$$

$\mu_k^*$  - оценка центрального момента случайной величины  $k$  - го порядка, которая имеет вид:

$$\mu_k^* = \frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^k ,$$

где  $n$  - объём выборки и  $\bar{x}$  - выборочное среднее значение величины оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале. Нахождение по эмпирическим значениям оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале  $b_1$  и  $b_2$  позволит выдвинуть гипотезу о предполагаемом законе распределения. Для проверки гипотезы можно применить такие математические методы, как критерий Колмогорова,  $\chi^2$ -Пирсона, и др. Использование классических критериев согласия, позволяет решить только задачу - противоречит или нет та или иная гипотеза экспериментальной функции распределения показателей качества, как случайной величины. Недостатком такого подхода является то, что непроворочие не значит адекватность, поэтому для выяснения адекватности модели распределения целесообразно использовать

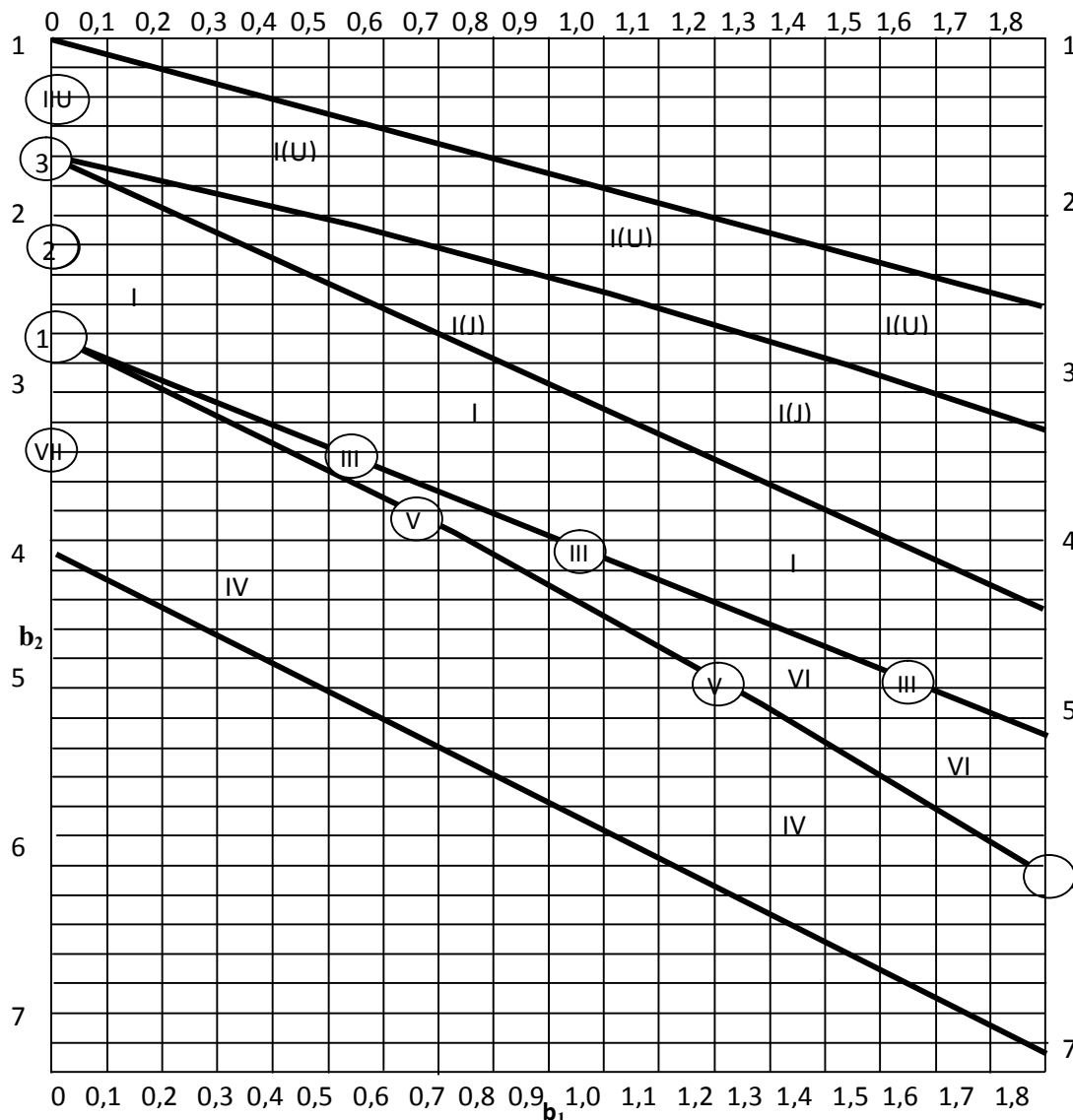


Рис. 2. Области в плоскости ( $b_1$  и  $b_2$ ) для различных законов распределений

специальные эмпирические характеристики, чувствительные к краям функции распределения случайной величины. Такими характеристиками могут быть  $\lambda$  – характеристика и  $\mu$  – характеристика. Форма таких кривых как « $\lambda$  - характеристика» и « $\mu$  - характеристика», установленная по опытным данным, является одним из существенных оснований для выбора того или иного аналитического типа функции распределения. Сущность методики применения чувствительных характеристик заключается в том, что существуют их теоретические кривые для различных законов распределения. Необходимо построить эмпирические кривые и совместить их с теоретическими. Если они похожи за своим характером и достаточно близки, то закон распределения можно считать адекватным. Методика применения чувствительных характеристик для определения закона распределения представлена в работе [10] и может быть использована для проверки адекватности закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале.

## Выводы

Рассмотрен квалиметрический подход к оцениванию объектов различной природы с применением статистических методов. Перечислены существующие математические зависимости, позволяющие переводить разноразмерные показатели качества разнородных объектов в безразмерную величину и изучены их достоинства и недостатки. Предложен пошаговый алгоритм процесса определения закона распределения оценок показателей качества объектов на безразмерной шкале, который в себя включает два направления, в зависимости от количества и вида существующей информации о случайной величине. Показана методика определения закона рас-

пределения случайной величины с использованием кривых Пирсона.

## Список літератури

1. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии / А. А. Азгальдов, Э. П. Паїхман. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.
2. Томашевский А. Попытка количественной оценки критериев качеств измерительных приборов / А. Томашевский // *Pomary, automatyko, kontrolia*. – 1966. - №12. - С. 8-9.
3. Harrington E.C.Jr. The desirability Function. / E.C.Jr. Harrington // *Industrial Quality Control*, 1965 – April. - P. 494-498.
4. Трищ Р. М. Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – №1. – С. 63–67.
5. Трищ Р. М. Точечная и интервальная оценки качества изделий / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк. // *Вісник НТУ „ХПИ”*, 2006. – Вип. 27. – С. 96–102.
6. Трищ Г. М. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Трищ Г. М. – Харків, 2014. – 162 с.
7. Горбенко Н. А. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Горбенко Н. А. – Харків, 2014. – 165 с.
8. Катрич О. О. Розвиток кваліметричних методів оцінювання процесів систем управління якістю підприємств відповідно до вимог міжнародних стандартів : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02 / Катрич О. О. – Х., 2014. – 166 с.
9. Н.И. Ким. Закономерности рассеивания безразмерных показателей качества объектов различной природы. / Н.И. Ким, Р.М. Трищ. // *Системы управління навігації та зв'язку*. – 2016. - №4(40). – С. 143 – 145.
10. Трищ Р.М. Развитие научных основ управления качеством в машиностроении в условиях ограниченного количества информации: Дисс. ... д-ра техн. наук. / Р.М. Трищ. - Х. : УИПА, 2007. - 323 с.

Надійшла до редколегії 15.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків.

## КВАЛІМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИРОДИ СТАТИСТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Н.І. Кім, А.М. Денисенко, А.Р. Трищ

*У статті розглянуто кваліметричний підхід до оцінювання об'єктів різної природи із застосуванням статистичних методів. Під об'єктами різної природи розуміється продукція, послуга, виріб, речовина, процес і все, що підлягає оцінюванню з метою управління його якістю. Перераховано існуючі математичні залежності, що дозволяють переводити різнорозмірні показники якості різнорідних об'єктів в безрозмірну величину і вивчені їх переваги і недоліки. Запропоновано покроковий алгоритм процесу визначення закону розподілу оцінок показників якості об'єктів на безрозмірну шкалою, який в себе включає два напрямки, в залежності від кількості та виду існуючої інформації про випадковій величині. Показана методика визначення закону розподілу випадкової величини з використанням кривих Пирсона.*

**Ключові слова:** об'єкт різної природи; функція бажаності; безрозмірна шкала; криві Пирсона.

## QUALIMETRIC APPROACH TO ESTIMATE THE QUALITY OF OBJECTS OF VARIOUS NATURE BY STATISTICAL METHODS

N.I. Kim, A.M. Denisenko, A.R. Trishch

*The article considers a qualimetric approach to the estimation of objects of different nature using statistical methods. Objects of a different nature are products, services, products, substances, processes and all that are subject to evaluation in order to manage its quality. The existing mathematical dependencies are listed, which allow to translate different-sized indicators of the quality of heterogeneous objects into a dimensionless quantity and study their advantages and disadvantages. A step-by-step algorithm is proposed for determining the law of distribution of estimates of object quality indicators on a dimensionless scale, which includes two directions, depending on the number and type of existing information about the random variable. The technique for determining the distribution law of a random variable using the Pearson curves is shown.*

**Keywords:** object of different nature; Desirability function; Dimensionless scale; Pearson curves.

УДК 004.9 : 621.39

В.В. Косенко<sup>1</sup>, Р.В. Артюх<sup>2</sup>, А.И. Роговой<sup>3</sup><sup>1</sup> ГП "Харьковский НИИ технологии машиностроения", Харьков<sup>2</sup> ГП "Южный государственный ПКНИИ авиационной промышленности", Харьков<sup>3</sup> Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ВАРИАНТНЫЙ СИНТЕЗ ИЕРАРХИИ СТРУКТУР ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Разработана схема метода вариантного синтеза иерархии структурных моделей инфокоммуникационной сети (ИКС) согласно отображению графовых структур. Формализовано представлена задача выбора оптимальных структур ИКС. Определен комплексный критерий эффективности для решения задачи оптимизации вариантного синтеза иерархии структур. Сформулирована задача оптимального синтеза структуры заданного уровня с учетом ресурсных ограничений.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационная сеть, синтез структуры.

### Введение

Несмотря на стремительное развитие технологической физической и канальной уровня, в полном объеме реализовать потенциал инфокоммуникационных сетей ИКС возможно только за счет эффективного управления имеющимися сетевыми ресурсами в условиях растущих требований к оперативности обмена информацией. Это определяет необходимость поиска новых подходов к определению физической и функциональной структур сети.

**Анализ проблемы и постановка задачи.** При построении распределенных и локальных инфокоммуникационных сетей существует ряд нерешенных вопросов, которые представляют собой сложную научно-техническую задачу. Эти вопросы можно разбить на две группы: на базе имеющихся аппаратно-программных средств, состоящих в настоящее время из разрозненных и неравнозначных компонент, создать надежную ИКС; осуществить постепенный переход к перспективным техническим и программным средствам.

Вопросам анализа и синтеза ИКС посвящено множество публикаций [1 - 4]. Математические модели, основанные на использовании результатов теории графов и теории массового обслуживания [5], не учитывают зависимость характеристик структуры сети от параметров прикладных задач, которые решаются в сетевой среде, что приводит к потере точности результатов моделирования.

Анализ литературы показал, что большинство математических моделей, предполагающих функционирование программных комплексов в среде мультисервисной сети, не учитывают гетерогенность базовых аппаратно-программных средств поддержки ИКС [6 - 8].

Поэтому целью данной статьи является разработка формализованной модели и метода синтеза

структур ИКС, позволяющей сформировать оптимальный вариант распределения функциональных задач СКИ и процессов ИКС по узлам базового фрагмента сети.

### Решение задачи

Большое число элементов подсистем СКИ и выполняемых ими функций, высокая степень взаимосвязи элементов, сложность алгоритмов выбора управляющих воздействий на процессы, протекающие в реальном времени, большие объемы информации определяют ИКС, обеспечивающую функционирование СКИ как сложную систему [5]. Синтез структуры сложной системы требует построения таких формализованных моделей;

а) модель структуры управляемой системы для определения оптимального состава и взаимосвязей элементов системы, оптимального разбиения множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками связей;

б) модель структуры управляющей системы для решения задач вариантного выбора: числа уровней и подсистем, организационной иерархии; определения принципов организации управления и оптимального распределения выполняемых функций между различными системными компонентами;

в) модель структуры систем передачи и обработки информации с учетом состава аппаратно-программных средств телекоммуникационной сети.

При разработке модели структуры аппаратно-программных средств необходимо решить следующие вопросы [3, 7, 8]: определение множества узлов ИКС и связей между ними; распределение задач, возлагаемых на технические средства ИКС, по уровням и узлам системы; выбор технических средств ИКС, обеспечивающих эффективное решение выполняемых задач СКИ.

Для формализации данных задач выбора предлагается использовать графовое и теоретико-множественное представление. Таким образом, альтернативно-графовая модель процесса обработки информации является основой для описания процесса синтеза структуры и программного обеспечения ИКС.

Пусть граф  $G_S = (S, \Gamma_S)$  задает множество взаимосвязанных функциональных задач распределенной СКИ, где  $S$  – множество вершин графа, соответствующих отдельным задачам,  $\Gamma_S$  – множество дуг, отображающих взаимосвязи между ними. Для  $s_i \in S, i = \overline{1, n}$  строится граф реализации задач информационно-коммуникационного обеспечения  $G_I = (I, \Gamma_I)$ . Таким образом, получаем отображение множества вершин графа  $s_i \in S, i = \overline{1, n}$  в множество вершин  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$ ,  $G_S \rightarrow G_I$ . Данное отображение реализует функциональную структуру (FS) комплекса СКИ и ИКС.

Задачи информационно-коммуникационного обеспечения решаются с помощью набора системного и прикладного программного обеспечения. Соответственно, на следующем уровне для каждого элемента  $i \in I$  имеем граф  $G_P = (P, \Gamma_P)$  множества элементов используемого программного обеспечения (ПО)  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$ ,  $\Gamma_P$  – множество дуг, отображающих взаимосвязи между ними. Получаем отображение множества вершин графа  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$  в множество вершин  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$ ,  $G_I \rightarrow G_P$ .

Граф множества элементов информационного обеспечения (специализированных и локальных баз данных) обозначим  $G_B = (B, \Gamma_B)$ , где  $B$  – множество вершин графа, соответствующих элементам информационного обеспечения,  $\Gamma_B$  – множество дуг, отображающих взаимосвязь данных. Получаем отображение множества вершин графа  $p_k \in P, k = \overline{1, l}$  в множество вершин  $b_m \in B, m = \overline{1, f}$ ,  $G_P \rightarrow G_B$  функциональной структуры в информационную структуру ИКС. Указанное отображение реализует информационную структуру (IS) ИКС.

Таким образом, в виде многоуровневой цепочки отображения графов формализовано представление отображение

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow (G_P \rightarrow G_B)_{IS}$$

Для реализации информационно-коммуникационного задач необходимо сформировать техническую структуру ИКС. Определим графы  $G_U = (U, \Gamma_U)$  – варианты реализации структуры локальных сетей в виде узлов ИКС, где  $U$  – множе-

ство вершин графа, соответствующих узлам сети,  $\Gamma_U$  – множество дуг, отображающих систему коммутации узлов. Получаем отображение множества вершин графа  $i_j \in I, j = \overline{1, m}$  во множество вершин  $u_c \in U, c = \overline{1, d}$ ,  $G_I \rightarrow G_U$ .

Для множества вариантов технической структуры ИТС следует определить множество вариантов передачи данных, то есть организации графика [12]. Определим граф  $G_T = (T, \Gamma_T)$  – варианты реализации потоков передачи данных в виде информационных связей, где  $T$  – множество вершин графа, соответствующих узлам сети, причем  $T \subset U$ ;  $\Gamma_U$  – множество дуг, отображающих систему коммутации узлов,  $\Gamma_T \subset \Gamma_U$ . Получаем отображение множества вершин графа  $u_c \in U, c = \overline{1, d}$  в множество вершин  $t_h \in T, h = \overline{1, z}$ ,  $G_U \rightarrow G_T$ . Указанное отображение реализует техническую структуру (TS) ИКС.

Отображение функциональной структуры ИКС в информационную и техническую представлено в виде многоуровневой цепочки графов

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} (G_P \rightarrow G_B)_{IS} \\ (G_U \rightarrow G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle$$

После синтеза вариантов технической структуры ИКС необходимо произвести закрепление программного и информационного обеспечения за узлами сети с учетом каналов информационного взаимодействия. Результат можно представить в виде взаимного отображения следующих множеств:

$G_P \leftrightarrow G_U$  – варианты закрепления прикладных программ за узлами сети для решения конкретных функциональных задач;

$G_B \leftrightarrow G_T$  – определение потоков данных на множестве вариантов информационных взаимосвязей.

С учетом указанных отображений, которые в общем виде могут быть представлены функциями  $\varphi_1 \dots \varphi_6$ , графовая модель синтеза структур ИТС выглядит следующим образом:

$$(G_S \xrightarrow{\varphi_1} G_I)_{FS} \xrightarrow{\varphi_2} \left\langle \begin{array}{l} (G_P \xrightarrow{\varphi_3} G_B)_{IS} \\ \varphi_5 \updownarrow \quad \updownarrow \varphi_6 \\ (G_U \xrightarrow{\varphi_4} G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle$$

В соответствии с системным подходом схема метода вариантного синтеза структурных моделей ИТС согласно отображению графовых структур (рис. 2.1) схематично представлена на рис. 1.

Заметим, что при формализации взаимосвязей между задачами или этапами учитываются те связи, которые отражают порядок следования, объемы или потоки передаваемой информации.

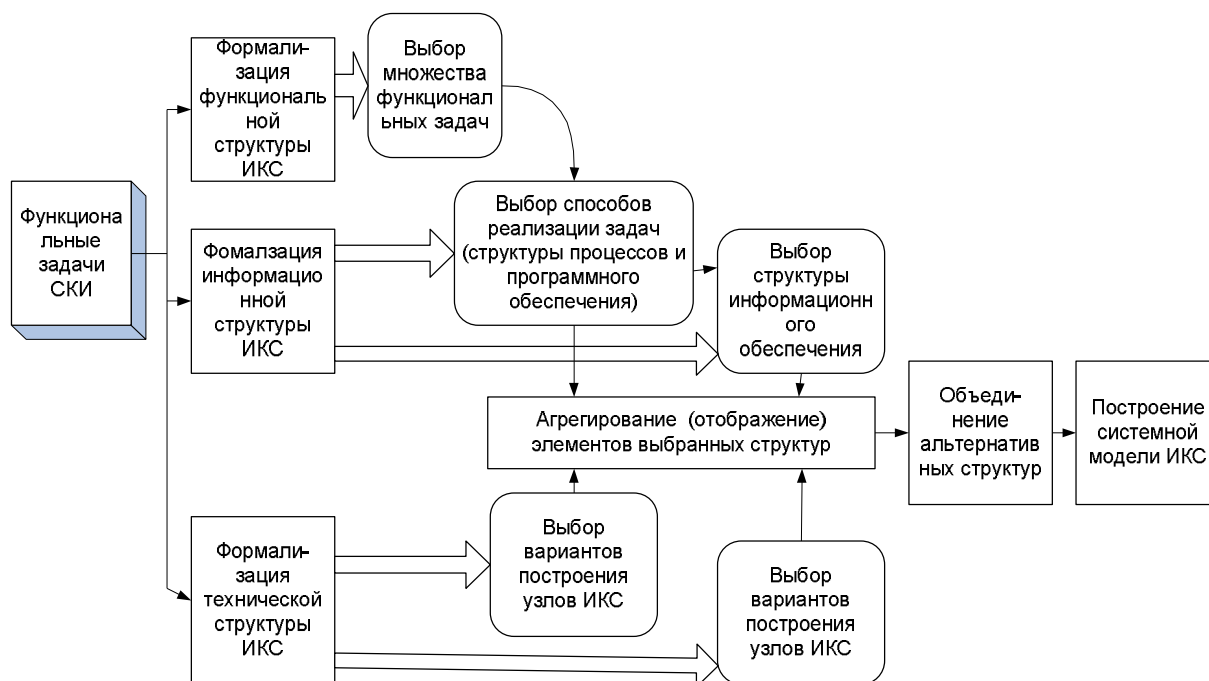


Рис. 1. Схема метода вариантного синтеза структурных моделей ИТС

Системный подход предполагает при переходе от формализации процесса обработки информации в сложной системе к модели ее функционирования обязательное выполнение следующих этапов:

- моделирование всех допустимых вариантов размещения исходных данных;
- моделирование вариантов размещения задач по узлам системы;
- выделение и анализ частично изолированных компонент системы и построение соответствующих моделей.

Согласно приведенной выше схеме метода, в указанных моделях исходные множества представлены элементами графовых структур  $S, I, P, B, U, T$ , а отображения, определяющие взаимосвязи структур

$$\begin{aligned} \varphi_1 &: G_S \rightarrow G_I; \\ \varphi_2 &: G_I \rightarrow (G_P, G_U); \\ \varphi_3 &: G_P \rightarrow G_B; \\ \varphi_4 &: G_U \rightarrow G_T; \\ \varphi_5 &: G_P \leftrightarrow G_U; \\ \varphi_6 &: G_B \leftrightarrow G_T. \end{aligned}$$

С учетом указанных отображений представим формализовано задачу выбора оптимальных структур ИКС.

Рассмотренные множества элементы графовых структур  $I, J, L, M, P$  имеют большую размерность и включают задачи, программные средства, данные, технические объекты, средства связи и т.д. Однако предложенный выше граф альтернативных структур предполагает такую иерархическую упорядоченность элементов структур, где на одном уровне иерархии выделяются подмножества однородных объектов.

При этом между ними должно быть установлено соответствие, являющееся важным для синтеза структур, в одной из двух форм;

- зная набор требуемых свойств структуры, выделить среди множества допустимых такой вариант, который обеспечит достижение этих свойств с точки зрения заданных критериев оптимальности;
- зная характеристики структуры, проанализировать возможность достижения требуемых свойств ИКС.

Учитывая вышесказанное, формализуем задачу выбора оптимальной структуры распределенной КСИ, в среде которой функционирует ИКС. Обозначим множество вариантов представления ИКС

$$S = (S^0, S^1), S^1 = \{s_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

где  $S^0$  – исходное состояние модели, которое определяется функциональными задачами всей системы;  $s_{ik}$  – состояние модели структуры ИКС на  $k$ -ом уровне иерархии после решения  $i$ -й задачи выбора.

Обозначим множество шагов моделирования

$$H = (H^0, H^1), H^1 = \{h_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

где  $H^0$  – действие, необходимое для перехода от решения задач всей СКИ к задачам функционирования КСИ;  $h_{ik}$  – множество шагов моделирования решения  $i$ -й задачи на  $k$ -м уровне, представляющих такую совокупность действий, в результате которой произойдет переход на  $(k+1)$ -й уровень иерархии моделируемой структуры объекта.

Для выбора шага  $h_{ik}$  необходимо построить все состояния модели комплекса  $\{s_{ik}\}$ .

Обозначим процедуру выбора шага на  $k$ -м уровне через  $V_k$ . Тогда  $s_k \xrightarrow{V_k} h_k$ , где  $s_k \in S$  – множество допустимых состояний модели на уровне  $k$ . Если выполнение шага  $h_k$  нецелесообразно, то необходима процедура переопределения выбора. Обозначим ее  $V_k^*$ . Тогда  $s_k \xrightarrow{V_k^*} h_j$ , где  $j = \overline{1, k}$ ,  $k \leq m$ . Совмещая полученные выражения, можем выразить процесс выбора шага выражением

$$h_j = \begin{cases} V_j(s_j), & \text{если } V_k^*(s_k) = j, j < k; \\ V_k(s_k), & \text{если } V_k^*(s_k) = k. \end{cases}$$

Тогда вариантный синтез структур заключается в последовательном переходе от решения задачи  $Z_0$  к решению некоторой задачи  $Z_m$ , при котором модель переходит в состояние  $S^m \in S^n$ . При этом, если  $S^m \in S^+_n$ , то выполнение последовательности состояний  $S^0, S^1, \dots, S^m$  является глобальной задачей синтеза структур рассматриваемой сети.

Пусть  $Z'_n$  – ее решение, тогда множество всех таких решений

$$Z' = \{Z'_n\}, n = \overline{1, m}.$$

Указанное множество должно оцениваться по комплексному критерию эффективности ИКС. Тогда формальную модель задачи оптимизации вариантного синтеза структур представим кортежем

$$\Psi = \langle Z_0, Z, Z', F \rangle,$$

здесь  $F$  – комплексный критерий эффективности.

Выполненная формализация выбора оптимальной структуры многоуровневой ИКС, обеспечивающей функционирование СКИ, позволяет построить соответствующие модели ИКС и провести синтеза иерархии структурных моделей.

## Выводы

Для формализации процесса обработки информации в СКИ обосновано применение системного подхода. Данный подход позволил построить

иерархический граф альтернативной формализации, учитывающий основные связи, отражающие порядок следования, объемы и потоки обрабатываемой информации между различными уровнями структур. Построение данного графа является базой при разработке метода формирования оптимальной структуры ИКС. Разработан новый метод формирования оптимальной структуры ИКС, который в отличие от существующих предполагает вариантный синтез иерархии структур и формализацию задач выбора на основе теоретико-множественных моделей, что позволяет обеспечить эффективность использования информационных и технических ресурсов сети.

## Список литературы

1. Gelenbe E., Pujolle G *Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition)* [Text] // *Advances in Computer Science and Engineering: Texts – Vol.4 – 2010 – 309p.*
2. RFC 1122 — Требования к хостам Internet — Коммуникационные уровни [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rfc2.ru/1122.rfc>.
3. Кучук, Г.А. Управление ресурсами инфокоммуникаций [Текст] / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паишев. — М.: Физматлит, 2006. — 220 с.
4. Pepelnjak, I. *EIGRP Network Design Solutions: The Definitive Resource for EIGRP Design, Deployment, and Operation* [Text] / Pepelnjak I. — CiscoPress. — 2000. — 384 p.
5. Paulsen, S. *Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management* / Paulsen S., Boens J. — 2012. — 21 p.
6. Кучук Г.А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І. В. Рубан, Г. А. Кучук, О. П. Давікоза // Системи обробки інформації. — 2013. — № 7. — С. 106-112.
7. Косенко, В.В. Моделирование технической структуры информационно-телекоммуникационной сети на основе конкретной реализации информационной структуры / В.В. Косенко, Н.Г. Кучук // Системи обробки інформації. — Х.: ХУПС, 2016. — №9(146). — С. 167-171.
8. Косенко, В.В. Взаємодія технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіка / В.В. Косенко, Н.Г. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. Випуск 3(47) — 2016. — С. 72-75.

Надійшла до редколегії 2.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ВАРИАНТНИЙ СИНТЕЗУ ІЄРАХІЇ СТРУКТУР ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В.В. Косенко, Р.В. Артюх, А.І. Роговий

*Розроблено схему методу варіантного синтезу структурних моделей ІКМ згідно відображенню графових структур. Формалізовано представлено завдання вибору оптимальних структур ІКМ. Визначено комплексний критерій ефективності для вирішення завдання оптимізації варіантного синтезу структур. Сформульоване завдання оптимального синтезу структури заданого рівня з урахуванням ресурсних обмежень.*

**Ключові слова:** інфокомунікаційна мережа, синтез структури.

## VARIANT STRUCTURE HIERARCHY SYNTHESIS INFOCOMMUNICATION NETWORK

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh, A.I. Rogovoi

*The scheme of the method of variant synthesis of structural models of ICS according to the mapping of graph structures is developed. The problem of the choice of optimal structures of ICS is formally presented. A complex efficiency criterion for solving the problem of optimization of variant synthesis of structures is determined. The problem of optimal synthesis of the structure of a given level is formulated with allowance for resource constraints.*

**Keywords:** infocommunication network, synthesis structure.

УДК 004.8

Г.А. Кучук<sup>1</sup>, Б.Г. Саатсазов<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*<sup>2</sup> *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

## РАСПОЗНАВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЭМОЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Проведен анализ существующих методов распознавания изображений и описано распознавание мимики человека как математическая задача. Большое внимание уделяется нейросетевым методам распознавания мимики, особенно многослойному перцептрону и глубинной сверточной нейронной сети (ГСНС). Разработан программный продукт, реализующий алгоритм распознавания человеческой мимики с использованием архитектуры ГСНС. Продукт создан на языке Python с использованием современных библиотек компьютерного зрения *dlib*, *open cv*, и библиотеки машинного обучения *tensor flow* от Google.*

**Ключевые слова:** *нейронная сеть, мимика лица человека, компьютерное зрение, Python, эмоции.*

### 1. Актуальность

На сегодняшний день еще не существует программного продукта, который мог бы идентифицировать мимику и эмоции человека со 100% точностью. Решение задачи распознавания несет в себе необходимость в обработке больших массивов данных. Целесообразно использовать для этого нейросетевые алгоритмы, так как они наиболее быстро и эффективно справляются с обработкой больших массивов данных. Такие алгоритмы могут выполнять широкий спектр задач коммерческого и некоммерческого характера. Примером применения таких алгоритмов может служить мониторинг выражений лица для проверки реакции человека на различные объявления, рекламные анонсы кинофильмов, книг, телешоу.

### 2. Анализ литературы

Для разработки системы, которая будет способна распознавать эмоции по выражению лица, были проведены предварительные исследования того как люди проявляют эмоции и была рассмотрена теория автоматической классификации изображений.

#### 2.1. Человеческие эмоции

Ключевым аспектом в человеческом взаимодействии является универсальность выражения эмоций и языка человеческого тела. В 19 веке Чарльз Дарвин опубликовал общепроявляемые выражения лиц, которые играют важную роль в невербальной коммуникации.

В 1971 году Экман и Фризен заявил, что выражения лиц людей по всему миру универсальны и связаны с определенными эмоциями.

Люди развивают похожие мышечные движения, принадлежащие к определенному психическому состоянию, несмотря на их место рождения, расы, образование и т.д. Следовательно, если правильно смоделировать, эта универсальность может быть

очень удобной особенностью в человеко-машинных взаимодействиях: хорошо обученная система может понимать эмоции, независимо от того, кем является субъект.

Следует иметь в виду, что выражение лица не обязательно непосредственно переводится в эмоции, и наоборот. Выражение лица дополнительно является функцией, например, психического состояния, в то время как эмоции выражаются также языком тела и голосом. Таким образом, новые системы распознавания эмоций должны также включать эти последние два параметра. Однако это выходит за рамки этих исследований и останется рекомендацией для будущих исследований.

#### 2.2. Методы классификации изображений

Рост доступной вычислительной мощности на компьютерах-компиляторах в начале XXI века дал толчок развитию алгоритмов, используемых для интерпретации изображений. В классической классификации изображений можно указать две стартовые точки. С одной стороны, предварительно запрограммированные экстракторы функций могут использоваться для аналитического разбиения нескольких элементов изображения, чтобы классифицировать отображаемый объект. Непосредственно против этого подхода, самообучающиеся нейронные сети предоставляют форму техники «черного ящика». В последней концепции сама система разрабатывает правила классификации объектов путем обучения по помеченным образцам данных.

Широкий обзор экстрактов аналитических признаков и подходов нейронной сети для распознавания лицевой экспрессии дается Фазелем и Луэттином. Можно сделать вывод, что к моменту написания, в начале двадцатого века, оба подхода работают одинаково хорошо. Однако, учитывая текущую доступность данных обучения и вычислительной мощности, ожидается, что эффективность моделей



на основе нейронной сети может быть значительно улучшена к настоящему времени. Некоторые недавние достижения будут перечислены ниже.

I. Прорывная публикация об автоматической классификации изображений в целом дается Крижевским и Хинтоном. Эта работа показывает глубинную нейронную сеть, которая напоминает функциональность зрительной коры человека. Используя саморазвитую коллекцию из 60000 изображений более 10 классов, называемую набором данных CIFAR-10, получена модель для категоризации объектов из изображений. Другим важным результатом исследования является визуализация изображений в сети, так что можно оценить, как модель разбивает фотографии.

II. В другой работе, в которой используется набор данных CIFAR-10, разработана очень широкая и глубокая сетевая архитектура в сочетании с поддержкой GPU для сокращения времени обучения. На популярных наборах данных, таких как MNIST, рукописные данные, китайские иероглифы, а также эмоции CIFAR-10, достигается почти человеческая производительность. Чрезвычайно низкие частоты ошибок значительно превзошли предыдущие современные результаты. Однако следует отметить, что сеть, используемая для набора данных CIFAR-10, состоит из 4 сверточных слоев с 300 картами каждый, 3 максимальных слоев объединения и 3 полностью связанных выходных уровней. В результате, хотя использовался графический процессор, время обучения составляло несколько дней.

III. В 2010 году введение ежегодного конкурса "Imagenet" способствовало проведению исследований по классификации изображений, а созданный в рамках этих исследований набор данных часто используется в публикациях с тех пор. В более поздней работе Крижевского, сеть с 5 сверточными, 3 максимальными слоями и 3 полностью связанными слоями обучена с 1,2 миллионами изображений с высоким разрешением на конкурсе ImageNet SVRC-2010. После внедрения технологий для сокращения переобучения, результаты являются многообещающими по сравнению с предыдущими моделями состояния. Кроме того, эксперименты проводятся с уменьшением размера сети, заявляя, что количество слоев может быть значительно уменьшено, а производительность падает лишь незначительно.

IV. Что касается распознавания лиц, это представляет собой глубокую сеть доверия (ГСД), специально предназначенную для использования с японскими женскими выражениями лиц (JAFPE) и расширенными базами данных Cohn-Kanade (CK+). Наибольшей особенностью сети является иерархическая концепция синтаксического анализа лица, то есть изображение передается через сеть несколько раз, прежде чем обнаруживать лицо, после этого

глаза, нос и рот, и наследует принадлежащую им эмоцию. Результаты сопоставимы с точностью, полученной другими методами в одной базе данных, такой как метод опорных векторов (SVM) и квантование вектора обучения (LVQ).

V. В другой работе по базе данных Кона-Канаде используется фильтрация Габора для обработки изображений и метод опорных векторов (SVM) для классификации. Фильтр Габора особенно подходит для распознавания образов в изображениях и, как утверждается, имитирует функцию визуальной системы человека. Точность распознавания эмоций высока, варьируя от 88% (гнев) до 100% (удивление). Однако большой недостаток подхода заключается в том, что требуется очень точная предварительная обработка данных, так что каждое изображение должно соответствовать строгому формату, прежде чем подавать его в кластер.

VI. Одно из последних исследований по распознаванию эмоций описывает нейронную сеть, способную распознавать расу, возраст, пол и эмоции из изображению лиц. Набор данных, используемый для последней категории, происходит от вызова распознавания выражения лица (FERC-2013). Четко организованная глубокая сеть, состоящая из 3 свернутых слоев, 1 полностью связанного слоя и некоторых небольших слоев между ними, получила среднее значение 67% от класса эмоций, что соответствует предыдущему состоянию дел Публикации по одному и тому же набору данных. Кроме того, в этом тезисе содержится ценный анализ эффективности рекламы, объединения и отсева.

Подчеркнутая другой литературой, наиболее перспективной концепцией анализа выражения лица является использование глубинных сверточных нейронных сетей. Однако сеть из пункта 2 считается слишком большой для нашего ограниченного количества доступных ресурсов обработки. Исходная сеть из пункта 3 также велика, но, как утверждается, в равной степени подходят меньшие версии. Кроме того, из-за их несколько аналитических и нетрадиционных подходов мы не будем оценивать методы из пункта 4 и 5. Следовательно, в следующем разделе три глубокие архитектуры в целом будут подвергнуты задаче классификации эмоций. Эти архитектуры получены, но не обязательно равны сетям, описанным в пунктах 1,3 и 6.

### **3. Подготовка к началу эксперимента**

Для оценки трех подходов, упомянутых ранее на их способности распознавания эмоций, было разработано три сети на основе понятий из [7], [9] и [20]. В этом разделе описываются данные, используемые для обучения и тестирования, объясняются подробности каждой сети, и оцениваются результаты, полученные с помощью всех трех моделей.

### 3.1. Набори даних

Нейронні мережі та глибокі мережі, в частині, відомі їх потребою в великих кількостях навчальних даних. Крім того, вибір зображень, використовуваних для навчання є ключовим для більшості продуктивності остаточної моделі. Це влечет за собою необхідність в великому і високоякісному наборі даних. Для рас-

познавання емоцій, декілька наборів даних доступні для досліджень, коливаються від декількох сотень фотографій високої роздільності до десятків тисяч малих зображень. Будуть розглянуті 3 набори даних: Дослідження розпізнавання людських обличчя (FERC-2013) [8], розширена база Cohn-Kanade (CK+) [12] і база даних обличчя Radboud (RaFD) [11] показані на рис. 1.

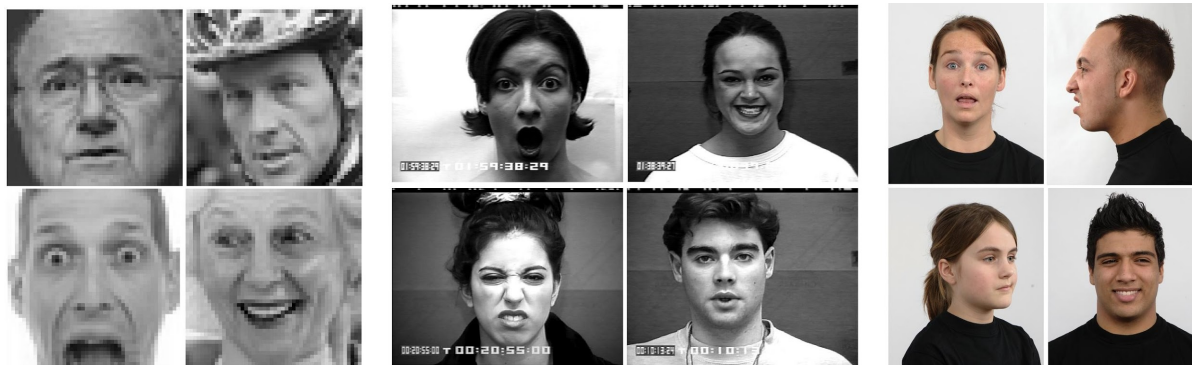


Рис. 1: Образці з наборів даних FERC-2013 (ліва), CK+ (в центрі) і RaFD (справа)

Набори даних відрізняються, в основному, кількістю, якістю і «чистотою» зображень. Набор даних FERC-2013, наприклад, містить 32000 зображень низької роздільності, в той час як RaFD містить 8000 зображень високої роздільності. Крім того, варто відзначити, що вираження обличчя в CK+ і RaFD є «чистими», в той час як в наборі FERC-2013 емоції на зображеннях є «брудними», тобто зашумленими. Це робить знімки з набору FERC-2013 більш складними для декодування, але, враховуючи великий розмір набору даних, можна сказати, що цей набір даних є більш вигідним для надійності моделі.

Можно утверждать, что после того, как было произведено обучение на наборе данных FERC-2013, кадры из «чистых» наборов данных могут быть легко классифицированы, но не наоборот. Следовательно, для трех рассматриваемых сетей, обучение будет сделано с использованием 9000 образцов из набора данных FER-2013 (рис. 2) с 1000 новыми образцами для проверки. В дальнейшем тестирование будет осуществляться с помощью 1000 изображений из набора RaFD, чтобы получить оценку превосходства над «чистыми» данными высокого разрешения. Этот набор имеет равномерное распределение по всем эмоциям.

### 3.2 Нейронные сети

Сети запрограммированы с использованием библиотеки TF Learn из набора Tensor Flow, работает на Python. Эта среда снижает сложность кода, так как должны быть созданы только нейронные слои, вместо того, чтобы создавать каждый нейрон отдельно. Программа также обратную связь в режиме

реального времени о ходе обучения и точности, и позволяет легко сохранять и повторно использовать модель после обучения. Более подробную информацию об этой структуре можно найти в работе [16].

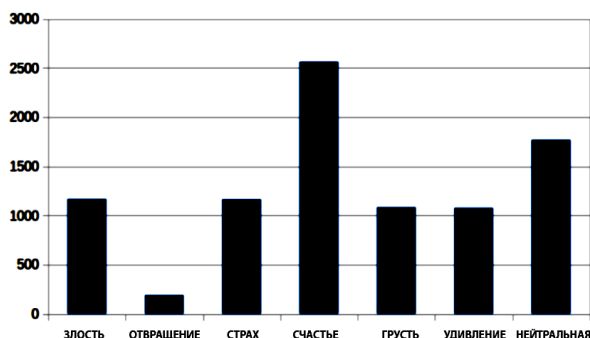


Рис. 2: Кількість зображень різних емоцій в вибірці

(А) Перва досліджуєма мережа заснована на раніше описаному дослідженні Крижевського і Хінтона [9]. Це найменша мережа з трьох, що означає, що вона має найнижчі вимоги до обчислювальних ресурсів. Так як одне з майбутніх застосувань може бути в форматі розпізнавання в режимі реального часу в вбудованій системі, швидко працюючі алгоритми будуть більш переважними. Мережа складається з трьох сверточних шарів і двох повністю з'єднаних шарів, в поєднанні з максимально об'єднаними шарами для зменшення розміру зображень і отсеивания шарів, щоб зменшити ймовірність переобучення. Гіперпараметри вибрані таким чином, що кількість обчислень в кожному сверточному шарі залишалось приблизно таким же. Це гарантує, що інформація зберігається в усій

сети. Обучение проводится с использованием различного числа сверточных фильтров для оценки их эффективности на производительность.

(В) В 2012 году сверточная сеть AlexNet была разработана для классификации изображений в более чем 1000 различных классов, используя 1,2 миллиона снимков из Image Net набора образцов. В связи с тем, что в данном исследовании модель должна различать только семь эмоций, и из-за наших ограниченных вычислительных ресурсов, размер исходной сети считаются слишком большими.

Следовательно, вместо 5 сверточных слоев мы применили 3, и в последующем 3 полностью подключенных слоя, число точек каждого из которых было уменьшено в 4096 до 1024. В то время как первоначальная сеть была разделена для параллельного обучения. Было замечено, что не было необходимости для меньшей версии. Сеть также использует локальную нормализацию для ускорения обучения и отсеивания слоев для уменьшения вероятности переобучения.

(С) Последний эксперимент выполняется на основе работы Гуди [7]. Поскольку это исследование также направлено на распознавание 7 эмоции с помощью набора данных FEREC-2013, архитектура должна быть хорошей отправной точкой для нашего исследования.

Первоначальная сеть начинается с входного слоя размером 48 на 48 нейронов, что соответствует размеру входных данных. Этот слой представлен одним сверточным слоем, слоем локальной нормализации контраста, и полносвязным слоем соответственно. Сеть завершает свою работу еще с двумя сверточными слоями и одним полносвязным слоем, соединенным с выходным слоем. Отсеивание было применено к полносвязному слою.

Для нашего исследования, второй полносвязный слой наносят, чтобы уменьшить число параметров. Это снижает вычислительную интенсивность сети, в то время как снижение производительности, как утверждают, всего 1-2%. Кроме того, скорость обучения регулируется. Вместо того, чтобы линейно уменьшать скорость обучения, как это сделано у Гуди [7], мы полагаем, что скорость обучения, предполагающее использование функции активации будет сходиться быстрее, так как функция активации увеличивает скорость обучения, когда градиент продолжает идти в в том же направлении.

### 3.3 Оценка результатов

Все сети обучаются 60 эпох с данными, указанными в разделе 3.1. На рис. 3 и в табл. 1 показаны различные детали тренировочного процесса и конечная модель. Для сети А, финальная точность по данным проверки составляет около 63%. Уже через 10 эпох, точность вырастает выше 60%, что указывает на быструю способность к обучению. Кроме

того, примечательно что корректировка размерности фильтра не имеет большого влияния на точность.

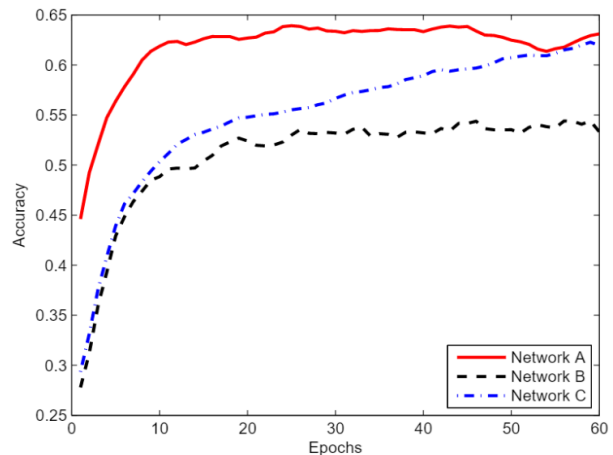


Рис. 3. Точность в проверяемом наборе данных во время обучения

Таблица 1  
Детали процесса обучения сетей

Сеть	Точность		Размер
	Проверка	RaFD	
А	63%	50%	Маленький
В	53%	46%	Большой
С	63%	60%	Средний

Удивительно, что вторая, самая большая сеть, обучалась так же быстро, но при этом с точностью около 54%. По-видимому, уменьшение размера сети ломает многообещающую производительность исходной сети больше, чем ожидалось. Вместе с гораздо более высокой вычислительной интенсивностью и, следовательно, более медленной производительностью, эта модель не является достойным конкурентом двум другим архитектурам. Сеть С показывает несколько более медленную кривую обучения, но конечная точность в наборе валидации аналогична сети А. Требования к обработке находятся в зависимости от требований других сетей, поэтому на основе этого факта сеть А, по-видимому, является самой перспективной в подходе к нашей задаче распознавания эмоций.

Однако производительность сети С на дополнительном наборе тестов RaFD значительно лучше (60%), чем в сети А (50%). Это указывает на лучшие обобщающие возможности, что очень важно для будущих приложений. Следовательно, в следующем разделе статьи модель из сети С будет дополнительно исследована и протестирована.

## 4. Окончательная модель

Было выявлено, что последняя описанная сеть из подраздела 3.2 имеет наиболее перспективные показатели для практического применения. Обзор ее архитектуры показан на рис. 4.

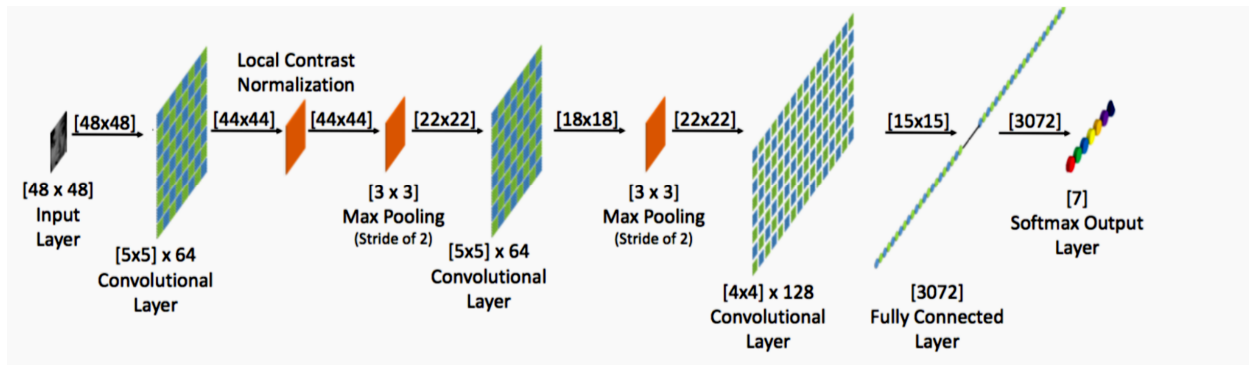


Рис. 4: Обзор сетевой архитектуры конечной модели

В попытке улучшить итоговую модель еще больше, сеть будет обучаться на более широком множестве, чем описанное ранее. Вместо 9000 снимков, обучение будет сделано с 20000 фотографий из набора данных FERC-2013. Соотношение эмоций, присутствующих в этом наборе приведено на рис. 5. Вновь составленный набор данных для обучения (2000 изображений) и тестовые наборы (1000 изображений). Новый тестовый набор состоит из данных FERC-и RaFD.

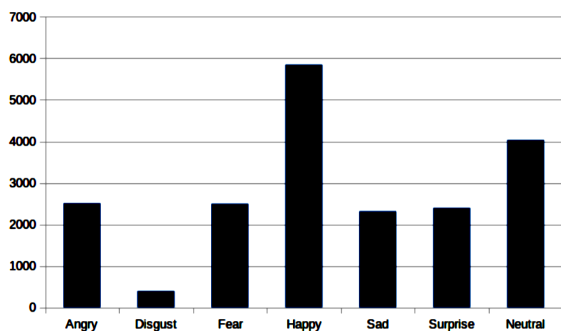


Рис. 5. Количество изображений каждой эмоции в финальном наборе данных для обучения

#### 4.1. Результаты теста

Уровень точности конечной модели приведен в табл. 2. Во время всех проверок и испытаний точность была выше, чем во время предыдущих запусков. Это подтверждает, что большая размерность обучающей выборки и более длительное обучение могут улучшить производительность сети.

Таблица 2

Сеть	Точность сетей FERC-2013		RaFD
	Проверка	Тест	
А	63%		50%
В	53%		46%
С	63%		60%
Итоговая	66%	63%	71%

Учитывая, что уровень развития сетей из предыдущих исследований получен на около 67% обучающей выборки, и имея в виду наши ограниченные, результаты являются достаточно хорошими.

Примечательной является точность на тестовом наборе RaFD, который содержит полностью отличные фотографии нежели в обучающей выборке. Это иллюстрирует мощные генерализационные способности конечной модели.

Чтобы увидеть, как эта модель работает для каждой, отдельно взятой эмоции, создана таблица, (рис. 6). Очень высокие показатели распознавания получены на изображениях с выражением «счастливый» (90%), «нейтральный» (80%), и «удивлен» (77%). Это на самом деле наиболее различимые выражения лиц. «Грустно», «страшно» и «гнев» часто были неправильно классифицированы и приняты за «нейтральное» выражение лица. Видимо, эти эмоции очень похожи друг на друга. Самая низкая производительность была получена на «грустный» (28%) и «страх» (37%). Наконец, следует отметить, что даже несмотря на то процент данных с выражением лица «отвращение» в обучающем наборе низка, уровень классификации является достаточно высоким.

РЕАЛЬНАЯ ЭМОЦИЯ	РАСПОЗНАННАЯ ЭМОЦИЯ						
	ЗЛОСТЬ	ОТВРАЩЕНИЕ	СТРАХ	СЧАСТЬЕ	ГРУСТЬ	УДИВЛЕНИЕ	НЕЙТРАЛЬНАЯ
НЕЙТРАЛЬНАЯ	0.04	0.01	0.03	0.07	0.04	0.02	0.80
УДИВЛЕНИЕ	0.03	0.00	0.07	0.06	0.02	0.77	0.06
ГРУСТЬ	0.12	0.03	0.10	0.08	0.28	0.00	0.39
СЧАСТЬЕ	0.01	0.00	0.00	0.90	0.00	0.02	0.07
СТРАХ	0.14	0.04	0.37	0.05	0.07	0.11	0.22
ОТВРАЩЕНИЕ	0.14	0.62	0.05	0.11	0.00	0.00	0.07
ЗЛОСТЬ	0.50	0.06	0.09	0.05	0.07	0.03	0.21

Рис. 6: Матрица производительности конечной модели (вертикально – вход, в горизонтальном – направлении на выходе)

### Выводы

С использованием современных технологий машинного обучения и компьютерного зрения был разработан алгоритм для распознавания мимики лица человека. Было рассмотрено несколько вариантов распознавания мимики, а именно два, первый из которых оказался неудачным, что было обнаружено уже после создания и обучения сети.

Начальний алгоритм включав в себе рішення задачі класифікації з допомогою многослойного перцептрона із ста тридцяти шести входними нейронами, які приймали шістьдесят вісім точок антропометричної моделі обличчя. Експеримент виявився невдалим через те, що нейронна мережа не змогла знайти закономірностей.

На цьому етапі алгоритм був змінений на використання глибокої сверточної нейронної мережі, яка зараз вважається однією з найкращих мереж для розпізнавання і класифікації графічних зображень. Слабким місцем ГСНС може бути висока чутливість до різних перетворень зображень, наприклад афінних, тому було прийнято стандартизувати входні зображення афінного перетворення.

Таким чином, реалізацією алгоритму є програма на мові програмування Python з використанням сучасних бібліотек комп'ютерного зору `dlib`, `open cv`, і бібліотеки машинного навчання `tensor flow` від Google. Нейронна мережа навчена з використанням маркованого набору даних розміром 20000 зображень. Мережа здатна розпізнавати 7 базових мимічних проявів, серед яких злість, радість, печаль, здивування, нейтральність, страх і огоршення.

Точність у розпізнаванні становить в середньому близько 80%. Розпізнавання страху має високу ймовірність помилки, на відміну від розпізнавання посмішки, яку можна розпізнати майже з 99%-ною точністю.

## Список літератури

1. T. Ahsan, T. Jabid and U.-P. Chong. Facial expression recognition using local transitional pattern on gaborfiltered facial images. *IETE Technical Review*, 30(1):47{52, 2013.
2. D. Ciresan, U. Meier and J. Schmidhuber. Multicolumn deep neural networks for image classification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on*, pages 3642{3649. IEEE, 2012.
3. C. R. Darwin. *The expression of the emotions in man and animals*. John Murray, London, 1872.
4. J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li and L. Fei-Fei. *Image net: A large-scale hierarchical image database*. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conf. on*, pages 248{255. IEEE, 2009.
5. P. Ekman and W. V. Friesen. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2):124, 1971.
6. B. Fasel and J. Luetthi. Automatic facial expression analysis: a survey. *Pattern recognition*, 36(1):259{275, 2003.
7. A. Gudi. *Recognizing semantic features in faces using deep learning*. arXiv preprint arXiv:1512.00743, 2015.
8. Kaggle. *Challenges in representation learning: Facial expression recognition challenge*, 2013.
9. A. Krizhevsky and G. Hinton. *Learning multiple layers of features from tiny images*, 2009.
10. A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton. Image net classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1097{1105, 2012.
11. O. Langner, R. Dotsch, G. Bijlstra, D. H. Wigboldus, S. T. Hawk and A. van Knippenberg. Presentation and validation of the radboud faces database. *Cognition and emotion*, 24(8):1377{1388, 2010.
12. P. Lucey, J. F. Cohn, T. Kanade, J. Saragih, Z. Ambadar and I. Matthews. The extended cohnkanade dataset (ck+): A complete dataset for action unit and emotion specified expression. In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society Conference on*, pages 94{101. IEEE, 2010.
13. Y. Lv, Z. Feng and C. Xu. Facial expression recognition via deep learning. In *Smart Computing (SMARTCOMP), 2014 International Conference on*, pages 303{308. IEEE, 2014.
14. J. Nicholson, K. Takahashi and R. Nakatsu. Emotion recognition in speech using neural networks. *Neural computing & applications*, 9(4): 290{296, 2000.
15. Open Source Computer Vision. *Face detection using haar cascades*. URL [http://docs.opencv.org/master/d7/d8b/tutorial\\_py\\_face\\_detection.html](http://docs.opencv.org/master/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html).
16. TFLearn. *Tearn: Deep learning library featuring a higher-level API for tensorflow*. URL <http://tflearn.org/>.

Надійшла до редакції 11.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## РОЗПІЗНАВАННЯ ЛЮДСЬКИХ ЕМОЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Г.А. Кучук, Б.Г. Саатсазов

Проведено аналіз існуючих методів розпізнавання зображень та описано розпізнавання міміки людини як математичну задачу. Велика увага приділяється нейромережевим методам розпізнавання міміки, особливо багатоваріовому перцептрону та глибокій згортковій нейронній мережі (ГЗНМ). В результаті проведення науково-дослідницької роботи було створено програмний продукт, який реалізує алгоритм розпізнавання людської міміки з використанням архітектури ГЗНМ. Продукт було створено на мові комп'ютерного програмування Python з використанням сучасних бібліотек комп'ютерного зору `dlib`, `open cv`, та бібліотеки машинного навчання `tensor flow` від Google.

**Ключові слова:** нейронна мережа, міміка обличчя людини, комп'ютерний zip, python, емоції.

## RECOGNITION OF HUMAN EMOTIONS USING NEURAL NETWORKS TECHNOLOGIES

H.A. Kuchuk, B.G. Saatsazov

The analysis of existing methods of image recognition is conducted and the recognition of human mimicry as a mathematical problem is described. Much attention is given to neural network methods of facial recognition, especially the multilayer perceptron and deep convolutional neural network (DCNN). As a result of this work, a software product was created that implements the algorithm for recognizing human facial expressions using the DCNN architecture. The product is created in the language of computer programming Python using modern libraries of computer vision `dlib`, `open cv`, and the library of machine learning `tensor flow` from Google.

**Keywords:** neural network, people facial mimics, computer vision, python, emotions.

УДК 658.012+651.9

Д.Э. Лысенко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Статья посвящена исследованию моделей принятия решений на прединвестиционном этапе при формировании программ развития организационно-технической системы с целью освоения производства конкурентной продукции. Принятие решения о выборе предпочтительных бизнес-процессов производится с помощью модели оценивания, которая предполагает построение скалярных оценок на основе многофакторного оценивания вариантов и оптимизации многокритериальной функции. Рассмотрены различные ситуации определения экспертами значений весовых коэффициентов критериев с учетом специфики исследуемого объекта и характера информации на прединвестиционном этапе. Полезности альтернатив для дальнейшего анализа представлены в виде ранжированного ряда с соответствующими направлениями доминирования.*

**Ключевые слова:** бизнес-процессы, многокритериальные модели, функция полезности, весовые коэффициенты.

### Введение

Планирование выпуска инновационной продукции основывается на стратегической цели развития организационно-технической системы (ОТС) и координации задач функциональных подсистем. Одной из таких задач является выбор бизнес-процессов, обеспечивающих конкурентоспособные показатели производства в рамках требований программы развития.

Определение способов организации функционирования ОТС связано с системным решением задач планирования процессов производства [1]. Статья посвящена разработке моделей, необходимых для оценивания и выбора организационного обеспечения процессов инновационного производства. На основе указанных оценок принимаются решения по модернизации бизнес-процессов ОТС и организационной подсистемы.

### Постановка задачи

Для ОТС возможность инновационного развития определяется уровнем совершенства бизнес-процессов [2,3]. Поскольку функционирование системы, как правило, производится в рамках существующей ее специализации и на базе предшествующего опыта, то модернизация бизнес-процессов будет касаться той части деятельности, которые относятся к инновационной части.

Таким образом, определение и выбор наиболее эффективных БП является важной задачей инновационного планирования. Выбор должен быть основан на детальном анализе и сравнительной оценке альтернативных предложений, на оценке их реализуемости, на обосновании и определении наиболее

предпочтительного из них с точки зрения экономической эффективности.

Одно из центральных мест в автоматизации интеллектуальной деятельности занимает задача формализации процессов принятия решений как основной процедуре целенаправленной деятельности по управлению ОТС. В силу этого создание формальной математической модели принятия решений представляет значительный теоретический и прикладной интерес. Содержание процедуры принятия решения определяется четырьмя этапами: формирование цели; определение множества путей её достижения; разработка метода оценки варианта; выбор лучшего решения. Реализация этапа оценки вариантов связана с необходимостью формирования некоторой метрики в виде заданного набора частных критериев вариантов.

В настоящей статье исследуются модели принятия решений на прединвестиционном этапе при оценке реализуемости планов развития ОТС в направлении обеспечения конкурентоспособности. Задача оценивания и выбора предпочтительного варианта бизнес-процессов является частью общей проблемы принятия решений, которая в свою очередь является частью системного анализа и теории систем.

Основная трудность решения задачи оценивания и принятия решения выбора определяется многокритериальностью оценки каждого варианта. Поэтому для получения количественных оценок возникает необходимость в выполнении следующих процедур:

- формирование перечня частных критериев оценки характеристик, определяющих достижение поставленной цели;

– выбор на множестве частных критериев метрики, позволяющей установить на множестве критериев отношение порядка.

Сформированный набор вариантов необходимо ранжировать, создать информационную основу для лица, принимающего решение (ЛПР) о выборе предпочтительного варианта. Совокупность заданных критериев характеризует функциональное качество целенаправленной системы каждого рассматриваемого варианта. Каждый вариант построения системы БП обладает своим набором функциональных характеристик. Реализация указанных характеристик связана с соответствующими затратами ресурсов, которые рассматриваются как определенные частные критерии.

Выбор БП производится по ряду разнородных, зачастую противоречивых критериев. Поэтому предлагается использование аппарата теории полезности для формирования обобщенного критерия выбора.

Часто возникают ситуации, когда один частный критерий не может быть улучшен без ухудшения хотя бы одного другого критерия. Тогда необходимо формировать область компромиссов (область Парето). В общем случае решение компромиссных задач может осуществляться введением некоторого дополнительного правила, принципа оптимальности, позволяющего принять решение о выборе единственного наилучшего варианта.

Принятие решения по выбору варианта может осуществляться на основе одного из двух подходов [4]:

- эвристического (неформального), когда ранжированный ряд формирует ЛПР на основе интуитивных соображений;
- конструктивного (формального), когда формируется некоторый принцип оптимальности (компромисса) на множестве противоречивых частных критериев.

Теоретической основой формирования многокритериальных скалярных оценок является теория полезности, которая предполагает существование количественной оценки предпочтительности решений [5].

Общий подход к решению этой проблемы заключается в трансформации многокритериальной задачи в однокритериальную со скалярным критерием. Это обусловлено тем, что все методы поиска экстремума ориентированы на скалярную функцию.

Существует несколько способов трансформации многокритериальных оптимизационных задач в однокритериальные.

Принцип главного критерия базируется на выделении главного критерия и переводе всех других в ограничение [6]. Для этого проводится анализ конкретных особенностей многокритериальной задачи,

из множества частных критериев выбирается один – наиболее важный, который считается в дальнейшем единственным критерием оптимизации.

При функционально-стоимостном анализе исходное множественное критериев, которое достаточно полно характеризует эффективность допустимых решений, разбивается на два подмножества [7]. Первая группа критериев характеризует функциональное качество решения, то есть степень достижения цели системы, которая анализируется, а вторая группа критериев – расходы, необходимые для реализации решения.

Принцип последовательной оптимизации (или лексикографического упорядочивания) заключается в трансформации многокритериальной оптимизационной задачи в упорядоченную последовательность однокритериальных [8]. Для этого все частные критерии упорядочиваются в последовательности убывания важности.

Формирование обобщенного скалярного критерия, который учитывает все разнородные частные критерии – наиболее общий и универсальный подход к решению задачи многокритериальной оптимизации, известный как проблема многофакторного оценивания.

### Решение поставленной задачи

Многокритериальность БП определяется различными факторами обеспечения их реализуемости и эффективности. Эти факторы можно условно разделить на группы по степени влияния на конечный результат, определяемой целью и параметрами исследуемого процесса. К таким группам факторов можно отнести следующие:

- технические, определяющие оснащенность ОТС;
- экономические, влияющие на себестоимость и окупаемость инвестиций;
- кадровые – объем и качество кадровых ресурсов для реализации планируемых БП.

Приведенные критерии оценки вариантов БП призваны характеризовать различные свойства варианта (альтернативы) с точки зрения их влияния на реализацию основной задачи ОТС – обеспечить выполнение функциональных задач в плановые сроки и с минимальными затратами. Критерии оценки вариантов БП тесно связаны между собой, направлены на достижение общей цели и могут быть выражены как техническими характеристиками, так и стоимостными.

Каждое решение характеризуется набором критериев, которые определяют некоторые частные аспекты решения, а их совокупность достаточно полно характеризует реализуемость решения в целом. Приведем примеры критериев, определяющих характеристики БП:

- степень автоматизации передачи данных;
- отсутствие зон пересечения ответственности;
- степень доступности знаний по предыдущим разработкам;
- уровень контроля ресурсов, затрачиваемых при создании продукции;
- уровень планирования работ;
- степень унификации специализированного программного обеспечения и др.

Такие критерии принято называть частными или локальными [4]. Они имеют различный смысл, размерность и измеряются в различных шкалах.

Рассмотрим способ построения функции полезности на обобщенном основе скалярного критерия. Будем называть каждый из возможных вариантов БП решением, и обозначать  $x$ , а множество возможных решений -  $X^B$ .

Не все решения  $x \in X^B$  являются допустимыми (реализуемыми) по экономическим или технологическим соображениям. Исходя из этого, из множества  $X^B$  следует выделить множество допустимых решений  $X$ :

$$X \subset X^B.$$

Множество допустимых решений  $X$  может быть задано как перечислением, так и с помощью характеристических функций в виде ограничивающих неравенств или равенств. Конечной целью синтеза эффективного решения является выбор из множества допустимых решений оптимального (с максимальной реализуемостью эффективностью)  $x^\circ \in X$ .

Решение задачи выбора наилучшего решения  $x^\circ$  связано с задачей определения метрики, в которой можно количественно оценить эффективность допустимых решений.

Таким образом, решение  $x$  в общем случае характеризуется множеством частных критериев

$$K(x) = \{k_i(x)\}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Нахождение оптимального решения  $x^\circ$  в общем случае связано с решением задачи

$$x^\circ = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} K(x) \equiv \arg \operatorname{extr} \{k_i(x)\}, \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Разрешимость задачи (1) обусловлена структурой множества допустимых решений  $X$ . Это множество состоит из двух подмножеств: согласованных  $X^S$  и противоречивых  $X^C$  решений

$$X = X^S \cup X^C; \quad X^S \cap X^C = \emptyset. \quad (2)$$

Отметим, что множество противоречивых решений образуют такие решения, у которых улучшение любого частного критерия приводит к ухудшению хотя бы одного или другого частного критерия.

Задача (2) имеет однозначное решение только на множестве согласованных решений.

В соответствии с принципом главного критерия из исходного множества частных критериев  $K(x) = \{k_i(x)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  выделяется один, наиболее важный  $k_B(x)$ . Задача многокритериальной оптимизации трансформируется в задачу скалярной оптимизации вида

$$x^\circ = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} k_B(x) \setminus k_i(x) (\leq) (\geq) (=) k_i^*, \quad \forall i = \overline{1, n}.$$

где  $k_i^*$  - допустимое значение  $i$ -го частного критерия.

Для любого многокритериального решения существует обобщенная скалярная оценка (функция полезности) вида:

$$P_i(x) = F[k_i(x), A],$$

где  $A$  - кортеж параметров модели, для которой выполняется следующее условие:

$$x_1, x_2 \in X \text{ и если } x_1 \succ x_2, \text{ то } P(x_1) > P(x_2).$$

Знак « $\succ$ » означает отношение порядка.

Таким образом, функция полезности является количественной мерой относительной предпочтительности решений.

Реализация решения задачи многокритериальной оптимизации предполагает, что для решения  $x_j \in X$  известен кортеж значений частных критериев:

$$K(x_j) = \langle k_i(x_j) \rangle, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Это означает, что известны виды функций, определяющих зависимость между управляемыми переменными (решениями  $x$ ) и значениями частных критериев, т.е.

$$k_{ij}(x) = f_i(x_j), \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Таким образом, задача поиска оптимального варианта БП может быть представлена математической моделью в терминах теории полезности в виде:

$$\Phi(x) = P[Z(a_j)K_i(x)], \quad i = \overline{1, n},$$

где  $K_i(x)$ ,  $i = \overline{1, n}$  - частные критерии;

$Z(a_j)$  - субъективная информация о предпочтительности частных критериев у ЛПР.

Главным в построении модели такого типа является определение вида оператора  $P$ , для чего необходимо иметь информацию о значимости и форме представления частных критериев.

Используя понятие функции полезности частных критериев, математическую модель формирования многофакторной оценки альтернативы  $x \in X$  можно представить в виде:



$$\Phi(x) = P[Z(a_i)', m_i[K_i(x)]], \quad i = \overline{1, n},$$

где  $m_i[K_i(x)]$  - функция полезности частных критериев;

$Z(a_i)'$  - информация об относительной важности функции полезности частных критериев.

Каждая альтернатива  $x \in X$  характеризуется набором частных критериев, которые имеют свой интервал измерения и разную размерность. Исходя из этого, конкретная альтернатива может описываться нелинейностями различного типа. Этот факт необходимо учитывать при выборе функции полезности частных критериев.

Перечисленным выше требованием отвечает функция полезности вида:

$$m_i[K_i(x)] = \left( \frac{K_i(x) - K_{iHX}}{K_{iHL} - K_{iHX}} \right)^{\alpha_i},$$

где  $K_i(x)$  - значение частного критерия;

$K_{iHL}, K_{iHX}$  - соответственно наилучшее и наихудшее значение частного критерия, которое он принимает на области допустимых решений  $x \in X$ ;

$\alpha_i$  - параметр, определяющий вид зависимости: при  $0 < \alpha_i < 1$  - выпуклая вверх; при  $\alpha_i = 1$  - линейная; при  $\alpha_i > 1$  - выпуклая вниз.

Основным источником информации о взаимной важности частных критериев является ЛППР или эксперты. Эта информация представляется в виде безразмерных коэффициентов  $a_i, i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n a_i = 1$ ,

где  $n$  - число частных критериев с ограниченным интервалом изменения  $a_i \in [0, 1]$  - учитывающих относительную значимость частных критериев.

Далее определим процедуры формирования информации об относительной важности функций полезности частных критериев и форме их представления, учитывая конкретные особенности и специфику области применения.

Значения коэффициентов важности частных критериев определяются экспертами и ЛППР на основе собственного опыта, конкретной задачи и существующих ограничений различной природы. Чаще всего информация о значении коэффициентов важности частных критериев может быть представлена в детерминированном или вероятностном виде. Различия в формах представления информации о коэффициентах важности определяют различия в методике оценки альтернативных решений.

Опыт анализа бизнес-процессов и практики применения методов оценки позволяет сделать несколько выводов:

1) в процессе оценки вариантов бизнес-процессов целесообразно рассматривать все вариан-

ты (не только наилучший) и предоставлять в распоряжение ЛППР ранжированный ряд оценок вариантов для выбора приемлемого;

2) информация о значениях коэффициентов важности в основном представляется в детерминированном виде по классам (группам) однородных частных критериев (технические, экологические, экономические и др.);

3) оценки коэффициентов важности выставляются в интервале  $[0, 1]$  и их значения взаимно независимы.

Детерминированная форма представления коэффициентов важности во многом определяется особенностями функционального содержания частных критериев оценки альтернатив бизнес-процессов. Эти обстоятельства позволяют экспертам на основе сложившегося опыта более обоснованно определять значения коэффициентов важности частных критериев в различных ситуациях.

Для ситуации, когда известны точные количественные значения коэффициентов  $a_i$  для частных критериев  $K_i(x)$  и их функции полезности  $m_i[K_i(x)]$ , математическая модель задачи формирования многофакторной оценки альтернативы  $x \in X$  будет иметь вид:

$$\Phi(x) = \sum a_i m_i[K_i(x)],$$

а принцип оптимальности

$$x^\circ = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n a_i m_i[K_i(x)], \quad i = \overline{1, n},$$

или

$$x^\circ = \arg \min_{x \in X} \sum_{i=1}^n a_i \bar{m}_i[K_i(x)], \quad i = \overline{1, n},$$

где  $\bar{m}_i[K_i(x)] = 1 - m_i[K_i(x)]$  - функция потери полезности.

Распространенной ситуацией при оценке вариантов бизнес-процессов является задача, при которой эксперты не могут определить точных количественных значений весовых коэффициентов  $a_i$ , но способны предоставить качественную информацию относительно взаимной важности оцениваемых критериев:

$$K_1(x) \succ K_2(x) \succ \dots \succ K_n(x).$$

В такой ситуации используется следующий метод определения наилучшего решения.

1. Из исходного множества вариантов  $X$  выделяется подмножество  $x^\circ_1$  решений, эквивалентных по наиболее важному критерию. Для этого решается следующая однокритериальная оптимизационная задача:

$$x^\circ_1 = \arg \max_{x \in X} m_1[K_1(x)];$$

или

$$x^{\circ}_1 = \arg \min_{x \in X} \overline{m}_i[K_i(x)],$$

где  $\overline{m}_i[K_i(x)]$  - функция потери полезности.

2. В случае если  $x^{\circ}_1$  состоит более чем из одного БП, переходим к следующему этапу, т.е. решаем задачу выбора эквивалентных решений из множества  $x^{\circ}_1$  по второму по важности критерию. В общем случае, оптимизационная задача будет иметь вид:

$$x^{\circ}_1 = \arg \max_{x \in x^{\circ}_{i-1}} m_i[K_i(x)]; \quad i = \overline{1, n}$$

$$x^{\circ}_1 = \arg \min_{x \in x^{\circ}_{i-1}} \overline{m}_i[K_i(x)]; \quad i = \overline{1, n}.$$

3. Оптимизация продолжается, пока не будет получено единственное решение (предпочтительный вариант БП) или не закончатся критерии. Полученное решение принимается в качестве оптимального.

4. Если для оценки требуется произвести ранжирование всего набора вариантов, то полученное наилучшее решение исключается из  $X$  и на оставшихся решениях повторяется описанная выше процедура.

Для случая, когда ЛПР не располагает ни качественной, ни количественной информацией о коэффициентах  $a_i$ , можно принять условие равенства или квазиравенства важности критериев  $a_i = \frac{1}{n}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , и модель оценки обобщенной полезности альтернативы  $x \in X$  будет иметь вид:

$$\Phi(x) = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n m_i[K_i(x)] \right\}, \quad i = \overline{1, n},$$

а принцип оптимальности будет:

$$x^{\circ} = \arg \max_{x \in X} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n m_i[K_i(x)] \right\}, \quad i = \overline{1, n},$$

или

$$x^{\circ} = \arg \min_{x \in X} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n \overline{m}_i[K_i(x)] \right\}, \quad i = \overline{1, n}.$$

В случае, когда при оценке вариантов для некоторых критериев  $K_i(x), i = \overline{1, n}$  весовые коэффициенты известны, а для остальных оценка предпочтительности отсутствует, рассматривается два множества критериев: множество критериев  $R$  с известными весовыми коэффициентами  $a_i$  и множество  $Q$  критериев, для которых  $a_i$  не известно.

Мощности множеств равны соответственно значениям  $r$  и  $q$ . Тогда эффективное решение

$x^{\circ} \in X$  можно определить математической моделью следующего вида:

$$x^{\circ} = \arg \max_{x \in X} = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1, K_i(x) \in R}^r a_i m_i[K_i(x)] + \\ + \frac{1}{q} \left[ 1 - \sum_{i=1}^r a_i \right] \sum_{j=1, K_j(x) \in Q}^q m_j[K_j(x)] \end{array} \right\}.$$

Экспертам, участвующим в проведении оценивания, проще выражать свое мнение относительно важности того или иного критерия не в виде точечной оценки, а в виде интервалов [5]  $[a_{i \min}, a_{i \max}]$ ,

при этом  $\sum_{i=1}^n a_{i \min} \neq 1, \sum_{i=1}^n a_{i \max} \neq 1$ .

В этом случае для решения задачи выполняется двухуровневая процедура выбора компромиссного решения. Вначале решается  $n$  задач оптимизации вида:

$$x^{\circ} = \arg \max_{x \in X} \left[ a_{i \max} m_i[K_i(x)] + \sum_{j=1}^n a_j m_j[K_j(x)] \right],$$

$$\sum_{j=1}^n a_j = 1 - a_{i \max},$$

$$a_j \in [a_{j \min}, a_{j \max}], \quad j \neq i, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Затем по значениям  $x_i^{\circ}$  вычисляем:

$$K'_{iНЛ} = \max_i K_i(x_i^{\circ});$$

$$K'_{iНХ} = \min_j K_i(x_j^{\circ}), \quad j \neq i, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Таким образом, устанавливаются границы области, в которой определяется компромиссное решение.

Полученные значения функции полезности частных критериев позволяют провести процедуру многокритериального оценивания вариантов. Как указывалось выше, существует два основных способа представления результатов многокритериального оценивания вариантов решений – получения единственной, наилучшей оценки альтернативы (предпочтительного варианта) и построение ранжированного ряда оценок альтернатив по величине значения функции полезности альтернатив.

Результаты вычисления значений функции полезности альтернатив удобнее для дальнейшего анализа представлять в виде ранжированного ряда с соответствующими направлениями доминирования.

Окончательное определение значений функции полезности альтернатив связано с оценкой величины коэффициентов значимости. В ранжированном списке по величине функции полезности альтернатив  $P1(x) > P2(x) > P3(x) > \dots$  номер занимаемой

позиції в списку характеризує відносну значимість відповідного варіанта.

### Заключення

На основі узагальненого набору варіантів БП і заданого складу критеріїв проводиться оцінка і приймається рішення про вибір найбільш вигідних варіантів бізнес-процесів.

Теоретичною основою формування багатокритеріальних скалярних оцінок є теорія корисності, яка передбачає існування кількісної оцінки переважності рішень. Прийняття рішення про вибір найбільш вигідного проводиться за допомогою моделі оцінювання, яка визначає спосіб отримання скалярних оцінок на основі багатокритеріального оцінювання варіантів і оптимізації багатокритеріальної функції.

Розглянуті різні ситуації визначення експертами значень вагових коефіцієнтів критеріїв з урахуванням специфіки досліджуваного об'єкта і характеру інформації на етапі планування. В тому випадку, коли важко визначити кількісно, використовується метод послідовної оптимізації.

Корисності альтернатив для подальшого аналізу представлені у вигляді ранжованого ряду з відповідними напрямками домінування, що спрощує ЛПР прийняття рішення про вибір альтернативи.

Таким чином, отримали подальше розв'язання багатокритеріальних моделей теорії корисності для оцінки і вибору бізнес-процесів для модернізації підприємства в умовах невизначеності, що дає можливість приймати раціональні рішення по

забезпеченню реалізованості планів розвитку підприємства на етапі передінвестиційного етапу.

### Список літератури

1. Батьковський, А. М. *Управління інноваційним розвитком підприємств радіоелектронної промисловості [Текст] / А.М. Батьковський – М.: ОнтоПринт, 2010. – 248 с.*
2. Довбенко, В. І. *Потенціал і розвиток підприємства. 2-е вид. випр. і доп. [Текст] / В.І. Довбенко, В.М. Мельник. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. — 232 с.*
3. Вендров, А. М. *Методи і засоби моделювання бізнес-процесів (огляд) [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.jetinfo.ru/2004/10/1/article1.10.2004.html>*
4. Катуплев, А. Н. *Сучасний синтез критеріїв в задачах прийняття рішень [Текст] / А.Н. Катуплев, В.Н. Михно, Л.С. Виленчик і др. – М.: Радио і зв'язь, 2002. – 119 с.*
5. Пономаренко, В.П. *Прийняття багатокритеріальних рішень в умовах стохастическої невизначеності [Текст] / В. П. Пономаренко, С. Ф. Чалый // АСУ і прибори автоматизації : всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. – Х. : Изд-во ХНУРЕ, 2009. – Вып. 146. – С. 76–78.*
6. Rubinstein, A. *Lecture Notes in Microeconomic Theory, 2nd/ A. Rubinstein. - Princeton University Press, 2013. — 153 p.*
7. Гордашнікова, О. Ю. *Функціонально-ціннісний аналіз якості продукції і управління маркетингом на підприємстві [Текст] / О.Ю. Гордашнікова – М.: Видавництво «Альфа-Пресс», 2006. – 88 с.*
8. Донець, Г. П. *Екстремальні задачі на комбінаційних конфігураціях: монографія [Текст] / Г.П. Донець, Л.М. Колесніна. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – 309 с.*

Поступила в редакцію 8.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Е. Федорович, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

### БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІ МОДЕЛІ ТЕОРІЇ КОРИСНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Д.Е. Лисенко

*Стаття присвячена дослідженню моделей прийняття рішень на етапі передінвестиційного етапу при формуванні програм розвитку організаційно-технічної системи з метою освоєння виробництва конкурентної продукції. Ухвалення рішення про вибір бажаних бізнес-процесів проводиться за допомогою моделі оцінювання, яка передбачає побудову скалярних оцінок на основі багатокритеріального оцінювання варіантів і оптимізації багатокритеріальної функції. Розглянуто різні ситуації визначення експертами значень вагових коефіцієнтів критеріїв з урахуванням специфіки досліджуваного об'єкта і характеру інформації на етапі передінвестиційного етапу. Корисності альтернатив для подальшого аналізу представлені у вигляді ранжованого ряду з відповідними напрямками домінування*

**Ключові слова:** бізнес-процеси, багатокритеріальні моделі, функція корисності, вагові коефіцієнти.

### MULTI-CRITERIA MODELS OF UTILITY THEORY FOR EVALUATING THE BUSINESS PROCESSES OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

D.E. Lysenko

*The article is devoted to the study of decision-making models at the pre-investment stage in the formation of programs for the development of the organizational and technical system for the purpose of mastering the production of competitive products. Decision on choosing preferred business processes is made using the estimation model, which involves the construction of scalar estimates based on multifactorial estimation of options and optimization of the multicriteria function. Different situations are considered in which experts determine the values of the weight coefficients of the criteria taking into account the specifics of the object under study and the nature of the information at the pre-investment stage. The usefulness of alternatives for further analysis is presented in the form of a ranked series with corresponding directions of dominance*

**Keywords:** business processes, multi-criteria models, utility function, weight coefficients.

УДК: 658+65.01

Ю.И. Мерзликина<sup>1</sup>, К.А. Дядюра<sup>2</sup><sup>1</sup> *Инженер проекта II категории, ПАО «Сумское НПО, Сумы*<sup>2</sup> *Сумский государственный университет, Сумы*

## ПОРТАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА КОМПРЕССОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*В статье описываются результаты разработки, внедрения и эксплуатации единого информационного пространства (ЕИП), реализованного в виде корпоративного портала управления, обеспечения и сопровождения конструкторских проектов Специального конструкторского бюро (СКБ) Сумского научно-производственного объединения. Приведена логическая и физическая структура разработанного веб-приложения, описаны основные выполняемые функции.*

**Ключевые слова:** управление проектами, офис управления проектами, «переходной» проектный офис, ЕИП, корпоративная информационная система, корпоративный портал, хранилища информации, логическое представление данных, физическое представление данных, проектный подход, распределенный доступ, веб-приложение.

### Введение

**Постановка проблемы.** Практика последних лет показывает, что в деятельность предприятий специализирующихся на поставке комплектных компрессорных станций, компрессорного оборудования и обеспечивающих подсистем все эффективнее интегрируются информационные технологии, известных мировых разработчиков программного обеспечения в области управления информационными потоками, используемыми как при разработке конструкторской документации (CreoPro, ANSYS), формировании электронного документооборота (Канцелярия, Context), так и в управлении отдельными проектами и предприятия в целом (MS Outlook, xPlan, SAP, Windchill, Share Point, MS Project-Server). Специфика выпускаемой продукции, масштабы предприятия, производственных мощностей, и окружение проектов продуцируют ряд ограничений в выборе программного обеспечения для реализации поставленных целей проекта.

На данном этапе все крупные компрессоростроительные предприятия имеют собственные сайты в интернете, предназначенные как для Заказчиков, так и для сотрудников. Однако такие сайты носят рекламный или информационный характер, уделяют основное внимание производимой продукции и не ориентированы на процессы разработки конструкторской документации (КД), а также, не предназначены для формирования внутренних информационных потоков. Процесс перехода к управлению проектного типа и необходимость повышения конкурентоспособности за счет повышения эффективности и качества разработки конструкторской документации, потребовал создания собственной информационной системы управления СКБ и СМПО.

**Целью статьи** является описание результатов создания и внедрения информационной системы управления, сопровождения и обеспечения проектов разработки конструкторской документации, реализованной в виде корпоративного портала и описание функций проектного офиса, поддерживающего работоспособность полученной системы и ее информационные потоки.

### Полученные результаты

Новые требования к эффективности и качеству реализации сложных конструкторских проектов в СКБ инициировало решение создать ЕИП, что стало первым шагом к внедрению корпоративной информационной системы управления и привело к реализации первых этапов перехода к управлению проектного типа:

1. Создание шаблонов проектной документации (Устав проекта, Карта анализа рисков проекта, Журнал оценки проектных рисков, Матрица ответственности, Структура продукта).
2. Создание и мониторинг план-графиков реализации проектов, включающих:
  - 2.1. стандартизацию планов адаптируемых к применяемо программному обеспечению (ПО);
  - 2.2. декомпозицию работ (WBS) по созданию конструкторской документации;
  - 2.3. распределение работ с учетом доступности ресурсов;
  - 2.4. согласование конструкторских работ с закупкой материалов и передачей в производство;
  - 2.5. обновление статуса задач в реальном времени;
  - 2.6. своевременная корректировка сроков работ;
  - 2.7. размещение внутренних документов проекта;

3. Создание сайтов для каждого проекта, содержащих формализованный набор страниц (рис. 1):

3.1. общая информация о целях и содержании проекта, ключевых моментов проекта;

3.2. внутренние и внешние документы проекта (как связанные с план-графиком результаты отдельных конструкторских задач, так и черновые наработки);

3.3. вопросы;

3.4. оперативные (дополнительные задачи не входящие в план-график);

3.5. требующие решения (задачи, требующие организационных или технологических решений);

3.6. описание рисков проекта;

3.7. контакты проекта (внешние контакты с заказчиком или субподрядчиками);

3.8. матрица ответственности (по узлам продукта или этапам проекта);

3.9. структура продукта, полученная путем его декомпозиции;

3.10. принятые внутренние и внешние решения (организационные или технологические);

3.11. обсуждения (вынесенные на форум).

4. Создание «переходного» проектного офиса:

4.1. создание штата сотрудников, поддерживающих работоспособность информационной системы (настройка и создание сайтов, разработка интернет-страниц в рамках конкретных производственных заданий, мониторинг проектов, помощь участникам проектов при внесении информации в соответствующие разделы);

4.2. обучение участников проекта работе с соответствующим ПО;

4.3. информационного обеспечения процессов планирования и методическая помощь руководителям проектов в составлении и организации проектной документации.

Использование в СКБ вышеупомянутых различных бизнес-приложений оперирующих большим объемом корпоративного контента, хранящегося в разных местах привело к реализации ЕИП в виде корпоративного портала, реализующего идею централизованного доступа к многоуровневому объединению ресурсов различного характера и обновляемых в реальном времени. Реализация ЕИП в виде портала вызвано необходимостью:

1. централизованного доступа к план-графикам и сайтам проектов с проектной документацией реализованных с помощью разных приложений;

2. обеспечения доступа к «внутренним» документам проекта, не содержащихся ни в одной из вышеперечисленных систем (в т.ч. и в хранилище данных Windchill), таких как:

2.1. идеи и перспективные конструкторские разработки, появившиеся в процессе выполнения заданий по проекту и требующие дальнейшего развития;

2.2. рабочая документация и предварительные расчеты по КС и КО, которые могут быть эффективно использованы при выполнении последующих проектов и сократить время разработки конструкторской документации с повышением ее качества;

2.3. информация различного типа по научно-исследовательским проектам, которая не вносится ни в одно бизнес-приложение, хранящаяся на персональных компьютерах участников проекта;

2.4. сводные таблицы, отчеты и аналитические сводки, созданные в соответствии с конкретными производственными потребностями, хранимые в бумажном виде, и др.

3. создания тематических хранилищ информации (Научно-технические совещания в СКБ, Материалы конференций, Публикации о Сумском НПО, и т.п.);

4. создания интерактивных сайтов/библиотек, содержащих сводную информацию по темам (Перечень комплектующих, Авторский надзор);

5. фиксировать задачи, управляемые в ручном режиме (Производственные задания, Совещания по качеству, Выполнение НИОКР и др.)

Принципы организации ЕИП обусловили реализацию корпоративного портала соответствующим логическим и физическим представлением данных (рис. 2):

1. Логическое представление: корпоративный портал СКБ, ориентирован исключительно на собственных сотрудников. Стартовая страница портала «Главная страница СКБ» содержит ссылки на весь



\* - реализовано на базе Share Point 2010

\*\* - реализовано на базе MS Project Server 2010

Рис. 1. Логическое и физическое представление данных на сайтах проектов

имеющийся контент в рамках портала и позволяет просматривать или изменять данные в соответствии с уровнем доступа.

2. Физическое представление: на данный момент, портал объединяет доступ к трем приложениям: SharePoint, MS Project Server 2010, MS Project Server 2013, связь с MS Outlook (оповещения).

Основные функции корпоративного портала:

1. Структурированное хранение и поиск информации (шаблонов проектных документов, ТКП, чертежей, «внутренних» документов, решений по проектам, протоколов совещаний и др.)

2. Совместная работа и персонализированный доступ к данным.

3. Получение и анализ сводной информации для подготовки совещаний.

4. Поддержка коммуникаций в проектах (управление информационными потоками):

4.1. постановка задач в проектах специалистам СКБ различных конструкторских и расчетных подразделений;

4.2. публикация информации участниками проектов («внутренние» документы, отчеты о проделанной работе в виде сводок, чертежей, других технических документов) с возможностью оповещения руководителя и участников проекта о появившихся данных;

4.3. оповещение сотрудников СКБ об изменениях в их вопросах, производственных задачах из план-графиков (через MS Outlook, обязательное);

4.4. оповещение сотрудников об изменении версий выбранных документов, пополнении библиотек (через MS Outlook, необязательное);

4.5. обсуждение вопросов проекта, реализованное в виде списков или форумов;

4.6. актуализация проектной информации в реальном времени (формализованные отчеты о выполнении работ, % завершения задач в план-графиках и др.);

4.7. безопасная публикация закрытой информации с ограниченным кругом доступа (любой элемент системы (любой документ проекта, вопрос или риск, библиотека или список) может быть заблокирован для общего доступа);

4.8. обратная связь с сотрудниками СКБ.

При очевидных преимуществах использования корпоративного портала при переходе к проектному управлению компрессоростроительного предпри-



\* - реализовано на базе Share Point 2010

\*\* - реализовано на базе MS Project Server 2010 (см. Рис.1)

\*\*\* - реализовано на базе MS Project Server 2013

Рис. 2. Упрощенная структурная схема корпоративного портала СКБ (логическое и физическое представление данных)

тия и широкий спектр выполняемых порталом функций, остается ряд задач, требующих развития и решения. Выявленные проблемы функционирования корпоративного портала СКБ:

1. Портал требует дальнейшей доработки с целью объединения всех информационных потоков предприятия и используемых в СКБ Сумского НПО приложений (от конструкторских до управляющих).

2. Разработанный портал не имеет официального статуса за пределами СКБ, что снижает его эффективность по сравнению с возможной. На данный момент, портал ориентирован на разработку конструкторской документации, обеспечение научно-технических разработок и постпроектное обслуживание эксплуатации КС и КО.

3. Портал обслуживает более 700 рабочих мест, но не доступен за пределами локальной сети.

Вышеперечисленные проблемы задают направление дальнейшему развитию корпоративного портала и повышению его эффективности.

## Выводы

1. Большинство проблем, возникающих в крупных машиностроительных предприятиях на разных стадиях реализации сложных конструкторских проектов проектирования КС и КО можно предотвратить путем создания на предприятии ЕИП. Если предприятием используется большое количество различных приложений, конструкторская и проектная документация хранится в разных местах, существует ряд документов, которые должны быть общедоступны, но не содержаться ни в одной из

информационных систем, целесообразна организация ЕИП в виде корпоративного портала с централизованным доступом и интуитивно понятными средствами внесения информации.

2. Эксплуатация корпоративного портала в СКБ компрессоростроительного предприятия дала следующие результаты:

2.1. повышена эффективность взаимодействия между специалистами CAD, CAM, CAE и руководителями проектов за счет обеспечения своевременной обратной связи;

2.2. повышена эффективность реализации проектов, за счет сокращения сроков разработки проектной документации и повышения качества документации;

2.3. упрощен процесс подготовки научно-технических совещаний и анализ состояния текущих проектов;

2.4. обеспечено структурированное хранение и быстрый поиск информации в рамках проектов или заданной тематики;

2.5. частично реализованы принципы проектного подхода в управлении конструкторскими разработками [2, 3].

3. Анализ проблем функционирования корпоративного портала в СКБ позволяет дать рекомендации по реализации подобного портала с применением облачных технологий и обеспечения мобильного доступа к portalу для менеджеров среднего и высшего звена. Опыт создания корпоративного портала применим для любого компрессоростроительного или научно-исследовательского предприятия.

### Список литературы

1. Мерзликina Ю.И. Применения методов проектного управления в компрессоростроении // Сборник трудов IV Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Вакуумная, компрессорная техника и пневмоагрегаты». М.: МГТУ, 2012.

2. Смирнов А.В., Концевич В.Г., Мерзликina Ю.И. Методологические положения по созданию офиса управления проектами в СКБ СМНПО им. М.В. Фрунзе [Электронный ресурс] // Сборник трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014: сборник трудов, 16-19 июня 2014г. Москва, ИПУ РАН. Режим доступа: ограничен. URL: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/4986.pdf> (дата обращения 29.03.16).

3. Смирнов А.В., Концевич В.Г., Мерзликina Ю.И. Использование интернет-портала для управления проектами машиностроительного предприятия // Сборник трудов XII Международной конференции "Управление проектами в развитии общества". Киев 13-14 мая 2016г. К.: КНУБА, 2016. с. 165-167

4. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Національний стандарт України. Системи управління якістю. Вимоги. – [Чинний від 2016-07-01] – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 22 с.

5. Концевич В.Г. Современные ИТ-инструменты повышения эффективности деятельности машиностроительных предприятий // Сборник статей по материалам XI между. научн-практ. конф. «Развитие науки в XXI веке» 1 часть. Харьков, НИЦ «Знание» 2016, с.112-115.

6. ISO 21500:2012. Guidance on project management [Text] / Project Committee ISO/PC 236.2012. - 36 p.

7. Мерзликina Ю.И. Формирование инновационного управления // Сборник трудов IX Международной конференции "Управление проектами в развитии общества". Киев 11 - 12 мая 2012г. К.: КНУБА, 2012. с.151-153/

8. Вайсман В.А. Модели, методы и механизмы создания и функционирования проектно-управляемой организации [Текст]: монография / В.А. Вайсман. – К.: Наук. світ, 2009. – 146 с.

9. Богданов В.В. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом [Текст] / В.В. Богданов. – М.: Манн, Иванов и Фебер, 2012. – 248 с.

10. Бушуев С.Д. Креативные методологии управления проектами и программами [Текст]: монография / ред. С.Д. Бушуев. – К.: Саммит-Книга, 2010 – 768 с.

Надійшла до редколегії 15.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків.

### ПОРТАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ З РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА КОМПРЕСОРОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Ю.І. Мерзлікіна, К.А. Дядюра

Стаття описує результати розробки, впровадження та експлуатації єдиного інформаційного простору (ЄІП), реалізованого у вигляді корпоративного portalу управління, забезпечення та супроводу конструкторських проектів Спеціального конструкторського бюро (СКБ) Сумського науково-виробничого об'єднання. Приведена логічна та фізична структура розробленого web-застосунку, описані його основні функції.

**Ключові слова:** управління проектами, офіс управління проектами, «перехідний» проектний офіс, ЄІП, корпоративна інформаційна система, корпоративний портал, сховище інформації, логічне представлення даних, фізичне представлення даних, проектний підхід, розподілений доступ, web-застосунок.

### PORTAL TECHNOLOGIES FOR PROJECT MANAGEMENT IN THE DEVELOPMENT OF DESIGN DOCUMENTATION AT THE COMPRESSOR-BUILDING ENTERPRISE

Yu.I. Merzlikina, K.O. Dyadyura

The article describes the results of the development, implementation and operation of a common information space (CIS) implemented as a corporate portal for management, support and maintenance of the design projects of the Special Design Bureau of the Sumy Research and Production Association. The logical and physical structure of the developed web-application is described; the main functions of the performed web-application are described.

**Keywords:** project management, project management office, "interjacent" project office, CIS, corporate information system, corporate portal, information storage, logical representation of data, physical representation of data, project approach, distributed access, web-application.

УДК 004.93

Ю.В. Паржин

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ДЕТЕКТОРНЫЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК АЛЬТЕРНАТИВА КОННЕКЦИОНИСТСКОЙ ПАРАДИГМЕ

*Искусственные нейронные сети (ИНС) являются неадекватными биологическим нейронным сетям. Эта неадекватность проявляется в использовании устаревшей модели нейрона и коннекционистской парадигмы построения ИНС. Результатом данной неадекватности является существование множества недостатков ИНС и проблем их практической реализации. В статье предлагается альтернативный принцип построения ИНС. Этот принцип получил название детекторного принципа. Основой детекторного принципа является рассмотрение свойства связности входных сигналов нейрона. В данном принципе используется новая модель нейрона-детектора, новый подход к обучению ИНС – встречное обучение и новый подход к формированию архитектуры ИНС.*

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, модель нейрона, детекторный принцип, связность.

### Введение

Коннекционистская парадигма в настоящее время является единственной моделью построения искусственных нейронных сетей (ИНС), которая имеет практическое применение. Данная парадигма объединяет взгляды исследователей на: принципы формирования и модели архитектуры сетей, модели нейроэлементов, роль весовых коэффициентов синаптических связей, принципы формирования реакции нейроэлементов, процедуры обучения ИНС. Однако коннекционистские ИНС являются неадекватными биологическим нейросетям. Это определяет множество известных проблем данных ИНС [1, 2], среди которых:

- проблемы построения эффективных алгоритмов обучения;
- проблема "переобучение" сети (overfitting);
- неуправляемое выделение только локальных признаков распознавания (что особенно ярко проявляется в сверточных ИНС (convolutional neural network (CNN)));
- проблема стабильности-пластичности памяти;
- проблема классификации-идентификации в процессе распознавания;
- проблема размерности сети и объема памяти;
- проблема реализации ассоциативного распознавания;
- проблема инвариантности к аффинным преобразованиям и деформационным искажениям распознаваемых образов;
- отсутствие универсальности (ограниченность круга решаемых задач каждой отдельной ИНС);
- отсутствие связи коннекционистского и символического подходов, что делает невозможным генерирование (вывод) в ИНС новых знаний, т.е. их использование для интеллектуального анализа и принятия решений и др.

Большинство из этих проблем имеют концептуальный характер, с некоторыми проблемами бо-

рются с помощью специальных архитектурных решений и алгоритмов обучения [3], однако в рамках коннекционистской парадигмы не существует общего подхода, устраняющего все проблемы. В этих условиях проектирование нейросети для решения практической задачи является в большой степени искусством.

Неадекватность коннекционистских ИНС биологическим прототипам проявляется:

1. В неадекватности используемых моделей нейронов. Современные коннекционистские ИНС в практических приложениях, как правило, используют формальную модель нейрона - модель МакКаллока-Питтса (МКП) либо ее модификации и разновидности: сигмоидальный нейрон; нейрон типа "Адалайн"; Паде-нейрон; нейрон с квадратичным сумматором; сигма-пи нейрон; нейроны Гроссберга: "instar", "outstar", слоя распознавания сети АРТ; радиальный нейрон; нейрон Хебба; нейрон Фукушимы; стохастические нейроны; векторные нейроны; импульсные (спайковые) нейроны и др. [2, 3]. Модель МКП была создана еще в 1943 году, и она не отражает современные взгляды нейрофизиологии и нейropsychологии: на роль дендритного дерева и его отдельных структур, в том числе и синапсов, в процессе интеграции возбуждающих постсинаптических потенциалов (ВПСП) [4]; на значение и многообразие форм реакций биологического нейрона [5]; на процесс интеграции ВПСП и формирование реакции биологического нейрона [6].

2. В неадекватности применяемых моделей обучения: "с учителем" (supervised learning), "без учителя" (unsupervised learning); с подкреплением (reinforcement learning); а также большинства применяемых методов (процедур) обучения ИНС, например, широко используемого метода обратного распространения ошибки (error back propagation) и др. Биологическая неправдоподобность данных моделей и методов обучения, кроме их вычислитель-



ной сложности, прежде всего, заключается в том, что процесс обучения отдельных нейронов в мозге не ведет к переобучению других нейронов или всей сети в целом. Биологический нейрон (очевидно, что в данном случае имеет смысл говорить только корковых, например, пирамидальных нейронах) может обучиться только на одном единичном примере и, уж во всяком случае, ему не нужно множество эпох обучения, необходимых для обучения большинства коннекционистских ИНС. Обучение отдельных биологических нейронов и обучение сети биологических нейронов (нейронных модулей) - это разные процессы, или точнее - разные стороны общего процесса обучения мозга, обусловленного как экзогенными, так и эндогенными факторами. Кроме того, очевидно, что, в отличие от коннекционистских парадигм обучения, обучение нейронов и нейронных модулей мозга это рациональная процедура, в результате которой формируется только необходимое и достаточное для решения конкретной задачи количество синаптических связей и обученных нейронов [7]. Это не противоречит весьма высокой надежности биологической нейронной системы, которая достигается многими механизмами резервирования (например, дублирования) и адаптации [8].

**3. В неадекватности архитектур ИНС.** Практически используемые коннекционистские ИНС имеют, как правило, многослойную и зачастую неоднородную архитектуру. Так, например, глубокие нейронные сети (англ. – "deep neural network" (DNN)) могут иметь десятки и даже сотни слоев [9]. Нейроны каждого внутреннего слоя определяют шаг в обработке информации, заключающийся в формировании признаков распознавания определенной степени общности (определенного уровня интеграции). Характер межнейронных связей между всеми слоями либо между слоями определенного вида, как правило, однотипный.

Безусловно, что сложнейшая структура связей между нейронами мозга строится на протяжении всей жизни организма, и осуществить детальное моделирование данного процесса в настоящее время, очевидно, невозможно. Однако если рассмотреть зрительную систему, которая является объектом моделирования многих ИНС, то нам известно, что:

- для распознавания цельных изолированных зрительных образов, например: лиц, людей, животных, цветов, геометрических фигур, символов и др., вероятно, необходимо всего два этапа или два шага обработки входной информации (не считая этапа сенсорного восприятия): первичной обработки информации, которая происходит в первичной (стриарной) зрительной коре мозга V1, и вторичной обработки - во вторичной зрительной коре мозга V2. В первичной зрительной коре выделяются (детектируются) простые или непрямые признаки распознавания отдельных элементов образа, например: отрезки прямых линий определенной длины и ориентации, точки

концов отрезков, точки пересечения отрезков, угловые точки и др. [10]; а во вторичной - сложные цельные образы [11];

- архитектура первичной зрительной коры имеет проекционный или топический (ретинотопический) характер, однако архитектура вторичной зрительной коры уже не имеет этой организации [11, 12];

- в зрительной системе существует раздельное формирование взаимосвязанных информационных потоков: дорсального (заднего) и вентрального (переднего), берущих начало в первичной зрительной коре и объединяющихся, в частности, во вторичной зрительной коре. По дорсальному потоку передается информация о местоположении стимулов в рецепторном поле восприятия, а по вентральному - информация о самом стимуле, необходимая для его распознавания [13, 14]. Эти информационные потоки образуют системы "Где" и "Что" зрительного анализатора.

**4. В неадекватности моделируемых процессов обработки информации.** Процесс восприятия и передачи информации между слоями в большинстве коннекционистских ИНС является параллельным на всем пространстве рецепторного поля. Однако в мозге только на первичном уровне обработки зрительной информации осуществляется параллельное и преаттентивное (неосознанное) детектирование первичных признаков распознавания [15]. Кроме того, параллельное восприятие и последующая обработка информации на первичном уровне происходит не на всем пространстве рецепторного поля, а лишь на выделенном системой внимания сегменте зрительной сцены [16]. На вторичном уровне обработка информации во многом определяется последовательным процессом, связанным с реализацией активного перцептивного акта [17].

## **Результаты исследований**

Одна из основных причин неадекватности коннекционистских ИНС заключается в существовании свойства связанности (англ. – "connectivity") весовых коэффициентов синаптических связей нейронов. Это свойство проявляется в существовании зависимости (причинно-следственной связи) изменения весовых коэффициентов одного нейрона от изменения весовых коэффициентов другого нейрона в процессе обучения. Решение практически любой задачи распознавания образов в коннекционистских ИНС осуществляется в результате целенаправленной модификации связанных весовых коэффициентов.

Однако в биологическом нейроне "сила" синапса, моделью которой является весовой коэффициент, не зависит от "силы" синапсов других нейронов. "Сила" биологического синапса проявляется в его способности модулировать входной сигнал и влияет на величину локального ВПСП [4, 6]. Понятие "силы" синапса связывают с различными формами его пластичности [6]. Однако величина локального ВПСП в основном определяется: амплитудой или частотой

входного сигнала, временными параметрами активизации (возбуждения) данной синаптической связи, а также более тонкими механизмами, например, влиянием сложного взаимодействия тормозных и возбуждающих синапсов, находящихся в ближайшем окружении данной синаптической связи [18].

Также вероятно, что величина ВПСП, а значит и "сила" синапсов не является определяющим фактором в возбуждении биологического нейрона - формировании потенциала действия. Это связано с тем, что как бы ни был велик ВПСП, генерируемый, например, на конце дендритной ветки, в силу кабельных свойств пассивного дендрита (кабельная теория Ролла) он может уменьшиться в 100 раз и иметь задержку от 5 до 50 мсек [19]. Тем не менее, учитывая морфологические особенности дендрита, удаленные от сомы синапсы могут играть весьма существенную роль в процессе возбуждения нейрона [20].

Пассивные свойства дендрита позволяют осуществлять нелинейную интеграцию локальных ВПСП. Таким образом, роль синаптической взаимосвязи в возбуждении нейрона определяется не только биохимическими процессами, происходящими в синапсе, и морфологией синапса, но также и мембранными свойствами и морфологией дендритного дерева.

Кроме того, существование активной дендритной проводимости, связанной с функционированием потенциал-зависимых ионных каналов дендрита, полностью меняет картину интеграции ВПСП: ВПСП могут ускоряться либо тормозиться; усиливаться либо затухать; суммироваться линейно, сублинейно либо суперлинейно; менять амплитуду и временные характеристики; регенерироваться и проявлять другие формы модификации [21 - 24]. Это говорит о роли дендритного дерева как сложного фильтра входной информации, где именно морфология дендритного дерева определяет условия и параметры фильтрации.

Следовательно, роль эндогенных факторов в процессе интеграции ВПСП является решающей, что заставляет пересмотреть определение роли весового коэффициента синапса в модели нейрона, а также осуществить моделирование информационных интегративных процессов, происходящих в дендритном дереве. Можно сделать вывод, что роль синапса и генерируемого им ВПСП в возбуждении нейрона зависит от его местоположения на дендритном дереве и его взаимосвязи (взаимодействия) с другими синапсами.

**1. Связность входных сигналов. Основы дентекторного подхода.** Введем понятие связности (англ. – "binding") входных сигналов и весовых синаптических коэффициентов одного нейрона. Дадим следующее определение.

*Определение 1.* Под связностью сигналов во входном векторе и, следовательно, весовых синаптических коэффициентов одного нейрона будем понимать их взаимозависимость, ведущую к возбуждению нейрона.

Эта взаимозависимость моделирует морфологические и интеграционные свойства дендритного дерева. Основными параметрами связности являются:

1) абсолютное (по отношению к соме) и относительное (по отношению к другим близлежащим синапсам) местоположение синаптических связей на его дендритном дереве - пространственная связность;

2) время поступления входных сигналов - временная связность.

*Определение 2.* Назовем пространственную связность элементов входного вектора сигналов нейрона, зависящую от строения (морфологии) и свойств дендритного дерева и ведущую к возбуждению нейрона - связностью на дендритном дереве или относительной пространственной связностью.

Таким образом, связность - это свойство, которое качественно характеризует целостность входного вектора сигналов как независимой единицы обработки информации и обучения единичного нейрона. Именно установление связности элементов входного вектора сигналов определяет параметры фильтрации входящей в нейрон информации. Свойство связности меняет смысл и значение весового коэффициента, а также самой процедуры обучения.

Временная связность определяется синхронностью (когерентностью) поступления элементов вектора входных сигналов и имеет экспериментальные подтверждения в нейрофизиологических исследованиях [25]. Данный вид связности отражает один из аспектов решения нейропсихологической проблемы связности ВР ("binding problem") [26].

Пространственная связность отражает еще один аспект этой проблемы. Однако моделирование относительной пространственной связности синаптических контактов на дендритном дереве связано с проблемой моделирования не только структуры и свойств дендритного дерева каждого нейрона, но и специфической для каждого нейрона структуры межнейронных связей. Такой подход к моделированию пространственной связности в настоящее время является сложнейшей и нерешенной проблемой.

Решением проблемы моделирования пространственной связности при построении ИНС является переход от рассмотрения относительной пространственной связности к абсолютной пространственной связности.

*Определение 3.* Под абсолютной пространственной связностью будем понимать взаимосвязь элементов входного вектора сигналов нейрона ИНС, а именно абсолютных адресов пресинаптических нейронов, на основе общих значений пространственных индексов, ведущую к возбуждению нейрона.

Это значит, что каждый нейрон в модуле обработки информации ИНС, или в целом в ИНС, должен иметь собственный уникальный адрес (номер). Этот адрес нейрон передает как составляющую своей реакции всем постсинаптическим нейронам. Про-

пространственная связность адресных составляющих вектора входных сигналов постсинаптического нейрона определяется на основе общих значений других составляющих реакций пресинаптических нейронов - пространственных индексов. Абсолютная пространственная связность, безусловно, не является биологически правдоподобной. Однако такой подход позволяет осуществить моделирование биологически мотивированной относительной пространственной связности.

Таким образом, нейрон ИНС возбуждается, если на его вход подается вектор пространственно связанных сигналов, образующий определенный признак распознавания, который задан структурно (на первичном уровне обработки информации) либо которому обучен данный нейрон (на вторичном уровне). Адресная составляющая реакции возбужденного нейрона нумерует данный признак распознавания для последующей обработки, а пространственная составляющая реакции служит основой для определения связности с другими реакциями на входе постсинаптического нейрона. Данный подход является одним из возможных решений известной нейропсихологической проблемы "нейронного кода" [27].

Тогда, каждый подобный нейрон является детектором определенного признака, а ИНС, состоящую из нейронов-детекторов, можно назвать детекторной ИНС (ДИНС). Детекторный принцип построения ИНС определяет: формализацию процесса обработки информации в ДИНС; информационную модель нейрона-детектора и других нейронов; метод обучения ДИНС; архитектуру ДИНС и правила ее построения.

Рассмотрим ДИНС для распознавания объектов "Контурного мира" (КМ) - плоских, статических, изолированных (не соединенных) контурных изображений, состоящих из отрезков прямых, где "1" кодирует точку контура изображения единичной толщины, а "0" - фон. К объектам КМ, например, относятся: геометрические фигуры на плоскости, знаки или символы алфавита, цифры и т.д.

Система пространственной индексации моделирует структуру пересекающихся рецептивных полей (РП) нейронов в поле зрительного восприятия и является основой для моделирования системы "Где" зрительного анализатора. Синхронное возбуждение нейронов-детекторов признаков распознавания системы "Что" и нейронов-детекторов местоположения стимулов (пространственных нейронов-детекторов) в рецепторном поле системы "Где", определяет пространственно-временную связность реакций этих нейронов на всех уровнях обработки информации. Тогда, пространственный индекс  $I$ , представляющий собой номер (адресную составляющую реакции) возбужденного пространственно-нейрона-детектора, включается (инкапсулируется) в реакцию синхронно возбужденного нейрона-детектора признаков распознавания (рис. 1).

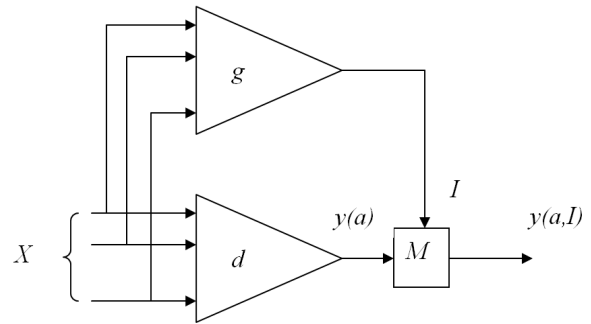


Рис. 1. Схема инкапсуляции пространственного индекса  $I$  в реакцию нейрона-детектора

На рис. 1 пространственный нейрон-детектор  $g$  системы "Где" и нейрон-детектор признаков распознавания  $d$  системы "Что" связаны ретинопической проекцией с сенсорами системы восприятия, от которой на входы данных детекторов синхронно подаются сигналы  $X$ , воспринимаемого стимула. Детектор  $g$  формирует реакцию  $I$  - пространственный индекс, соответствующий местоположению РП, в который попадает данный стимул. В блоке  $M$  детектора  $d$  осуществляется инкапсуляция реакции  $I$  в реакцию  $y(a)$ , где  $a$  - адресная составляющая реакции, и формирование реакции  $y(a,I)$ .

Для определения структуры и значений пространственного индекса  $I$ , рассмотрим наиболее простой и, вероятно, не самый биологически правдоподобный подход к построению и взаимосвязи рецептивных полей [10].

Представим модель рецепторного поля восприятия в виде прямоугольной матрицы рецепторов восприятия  $M$  размерностью  $l \times l$  элементарных структурных единиц распознаваемого образа - точек, где местоположение каждой точки  $p$  определяется номером строки  $i$  и номером столбца  $j$  матрицы. Обозначим пространственный индекс точки  $p$  как  $p_{ij}$ .

Далее, зададим минимальное рецептивное поле - окно восприятия  $W$  минимальной размерности  $n \times n$  на матрице восприятия  $M$  (рис. 2). Сдвиг окна  $W$  на один столбец вправо (рис. 2) или вниз за  $n-1$  шаг формирует соответствующие области  $WTA$  - конкуренции нейронов, рецептивные поля которых попадают в пересекающиеся окна. Области конкуренции - сегменты рецепторного поля  $M$ , в которых, в зависимости от максимального попадания стимула в одно окно, в результате конкуренции нейронов-детекторов системы "Где" определяется нейрон-победитель с максимальным уровнем реакции. Адресная составляющая реакции победившего нейрона и будет определять пространственный индекс местоположения данного стимула. Очевидно, что для реализации процедуры конкурентного разделения пространственных индексов необходимо, чтобы пространственно связанные стимулы лежали в двух последовательно расположенных и взаимно непересекающихся окнах (в общем случае может быть разной размерности), т.е. находились в области связности (пример на рис. 2).

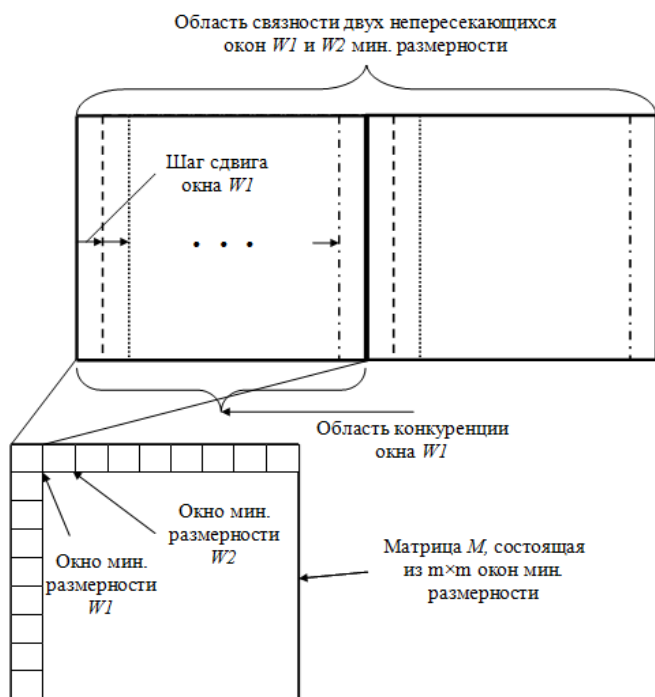


Рис. 2. Структура окон восприятия W на матрице M и схема формирования области конкуренции и связности окон

Таким образом, точка соединения структурных элементов, например, отрезков, должна находиться на общей границе окон, каждое из которых является РП нейрона-победителя в своей конкурентной области. Для приведенной на рис. 2 структуры окон, это возможно для всех окон за исключением тех, которые лежат на границе матрицы M. Для решения этой проблемы также введем сдвиг на n-1 шаг крайних левых и крайних верхних окон в поле восприятия соответственно влево и вверх, что позволит сформировать "усеченные" окна. Эти окна будут формировать области связности слева и сверху для множества окон, которые лежат в области конкуренции пограничных окон.

Таким образом формируется 1-й уровень иерархической структуры пространственных окон минимальной размерности в поле восприятия (в качестве нулевого уровня будем рассматривать местоположение точек в матрице M). Каждое окно на данном уровне будет иметь свой "адрес" или пространственный индекс, который назовем индексом пространственного окна и представим как:  $W_{j \rightarrow k}^1$ , где: 1- первый уровень иерархии; j – номер окна в структуре матрицы M размерностью  $m \times m$  минимальных окон;  $\rightarrow$  (либо другие стрелки: вниз, вверх или влево для соответствующих окон) - направление смещения окна j на величину k, принимающую на данном уровне значение от 1 до n-1.

На последующих уровнях иерархической структуры пространственных окон будем последовательно увеличивать размерность окна с  $(n+1) \times (n+1)$  элементов на 2-м уровне до окна размерностью  $1 \times 1$  элемен-

тов, равному по величине размерности матрицы M на m-м уровне иерархии. На каждом уровне иерархии применяется такая же процедура сдвига окон, как и на 1-м уровне. Тогда:

1) пространственный индекс  $I(x_i)$  отрезка  $x_i$  будет иметь следующую структуру:

$$I(x_i) = (p1_{ij}(x_i), p2_{ij}(x_i), W_{j \rightarrow k}^i(x_i)), \quad (1)$$

где:  $p1_{ij}$  и  $p2_{ij}$  – пространственные индексы точек  $p1$  и  $p2$  – концов отрезка  $x_i$ ;  $W_{j \rightarrow k}^i$  – индекс пространственного окна, i – уровень пространственной иерархии окна, \* – соответствующее направление сдвига базового окна j на k шагов;

2) пространственные индексы точек концов отрезка являются связными по значению одного пространственного окна  $W_{j \rightarrow k}^i$ :

$$I(p1(x_i)) = (p1_{ij}(x_i), W_{j \rightarrow k}^i(x_i)), \quad (2)$$

$$I(p2(x_i)) = (p2_{ij}(x_i), W_{j \rightarrow k}^i(x_i)), \quad (3)$$

где  $p1(x_i)$  – первая конечная точка отрезка  $x_i$ ;  $p2(x_i)$  – вторая конечная точка отрезка  $x_i$ .

3) пространственный индекс  $I(x_j)$  угла  $x_j$ :

$$I(x_j) = (p_{ij}(x_j), W_{j \rightarrow k}^i(x_j)) \quad (4)$$

где  $W_{j \rightarrow k}^i(x_j)$  – является окном минимальной размерности  $W_{\min(j \rightarrow k)}^i(x_j)$  в котором находится вершина угла - особая точка (отличная от точки конца отрезка) с пространственным индексом  $p_{ij}(x_j)$ .

*Определение 4.* Элемент  $x_i$  входного вектора сигналов нейрона-детектора, связанный с другими элементами в процессе обучения, назовем модой  $\text{mod}(x_i)$ .

Моды, которые несут информацию о типе структурного элемента изображения (например: точки конца отрезка, угла, отрезка, либо всем изображении в целом), являются структурными модами  $\text{mod}(s_i)$ . Соответственно, нейроны-детекторы, реакции которых формируют структурные моды, являются структурными.

На первичном уровне обработки информации ДИНС детектируются перечисленные выше непродеривированные структурные элементы распознаваемого образа, а на вторичном уровне - производные структуры - цельные образы.

Моды, которые несут информацию о типе и значении первичной (данной в восприятии) или непродеривированной характеристики, детектируемой на первичном уровне обработки информации ДИНС (например: длине отрезка, ориентации отрезка, величине угла), являются непродеривированными характеристическими модами  $\text{mod}(h_{ij})$ , а формирующие их нейроны-детекторы являются характеристическими. На вторичном уровне обработки информации детектируются характеристики производные от первичных характеристик. Этот процесс и его значение будут рассмотрены ниже.

Так как процесс детектирования признаков распознавания: структурных элементов и их характеристик на первичном уровне обработки информации (в первичной зрительной коре) достаточно хорошо изучен [10], детально рассмотрим только процесс обработки информации на вторичном уровне. Принцип абсолютной адресации позволяет уже на этом уровне отказаться как от полносвязной, так и от ретинотопической структуры межнейронных связей и использовать связь между нейронами первичного и вторичного уровней типа "общая шина".

Для моделирования связности мод в структуре дендритного дерева введем следующие информационные элементы и их структуры.

*Определение 5.* Каждая структурная мода  $mod(s_i)$  является связанной с одной или несколькими соответствующими характеристическими модами  $mod(h_{ij})$  в структуре вектора входных сигналов нейрона-детектора. Данную структуру назовем модальной группой  $Mg(s_i)$  структурной моды  $mod(s_i)$ .

$Mg(s_i) = \langle mod(s_i), mod(h_{i1}), mod(h_{i2}), \dots, mod(h_{in}) \rangle$ . (5)

Связность структурной моды  $mod(s_i)$  с характеристическими модами  $mod(h_{ij})$  ( $j=1,n$ ) в модальной группе  $Mg(s_i)$  представлена в виде неориентированного графа на рис. 3.

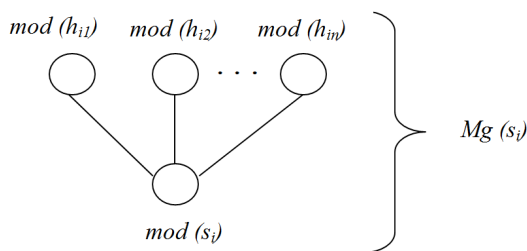


Рис. 3. Модальная группа  $Mg(s_i)$  структурной моды  $mod(s_i)$

Модальная группа является единицей, а мода – субъективной единицей информации, обрабатываемой в нейроне-детекторе.

Пространственная связность характеристических мод со структурной модой в модальной группе входного вектора сигналов нейрона-детектора ДИНС осуществляется на основе совпадения значений пространственных индексов реакций соответствующих пресинаптических характеристических нейронов-детекторов и пресинаптического структурного нейрона-детектора.

Таким образом, можно говорить о связности всех мод в модальной группе и связности модальных групп в векторе входных сигналов на основе пространственной связности их структурных мод.

*Определение 6.* Назовем концептом  $Con(d_k)$  (от лат. concertus - понятие; в лингвистике - содержание понятия, смысловое значение) нейрона-детектора  $d_k$  минимизированный в процессе обучения (в моменты времени обучения  $t_g$ ) связный граф  $G_k$ , вершинами которого являются структурные и характеристические моды, а ребрами – отношения простран-

ственной связности, определяемые пространственными индексами  $I$ .

$$Con(d_k) = \min_{t_g}(G_k), \quad (6)$$

где  $G_k := (M, E)$ , (7)

$M$  – множество мод (вершин графа);  $E$  – множество ребер графа  $G_k$  (множество отношений пространственной связности).

Таким образом, концепт  $Con(d_k)$ , сформированный в процессе обучения, образует память нейрона-детектора  $d_k$  ДИНС.  $Con(d_k)$  определяет необходимые и достаточные условия возбуждения нейрона-детектора  $d_k$ , что, в свою очередь, определяет необходимые и достаточные признаки классификации или идентификации распознаваемых образов. Именно эти условия в своей совокупности позволяют преодолеть порог возбуждения (ПВ) нейрона-детектора. Таким образом,  $Con(d_k)$  можно рассматривать как фильтр входящей информации, настраиваемый на определенные признаки распознавания в процессе обучения. Следовательно, концепт является информационной моделью дендритного дерева нейрона-детектора.

Тогда процесс обучения нейрона-детектора класса распознавания будет сводиться к: 1) формированию (определению) концепта и 2) минимизации концепта, т.е. нахождению минимального связанного вектора входных сигналов. Минимизированный концепт представляет собой аттрактор - устойчивую, т.е. не модифицируемую в процессе дальнейшего обучения, необходимую и достаточную структуру связанных элементов входного вектора сигналов, инвариантную аффинным и деформационным преобразованиям структуры распознаваемого контурного изображения. Именно такой концепт будет определять класс распознавания. В этом случае, весовые синаптические коэффициенты приобретают совершенно иной смысл, отличный от традиционного толкования коннекционистской парадигмы.

*Определение 7.* Весовой коэффициент  $w_{ik}$  синаптической связи  $i$ -го пресинаптического нейрона (элемента входного вектора сигналов  $x_i$ ) с  $k$ -м постсинаптическим нейроном будем рассматривать как коэффициент принадлежности данного элемента входного вектора сигналов концепту  $Con(d_k)$  нейрона-детектора  $d_k$ .

Коэффициент принадлежности  $w_{ik}$  вычисляется на основе значения функции принадлежности  $f$ . Пусть:

$$w_{ik} = f(x_i, Con(d_k)). \quad (8)$$

Для рассматриваемой ДИНС достаточно, чтобы данная функция  $f$  была бинарной и принимала значение "0" или "1". В этом случае:

$$w_{ik} = 1, \text{ если } x_i \in Con(d_k); \quad (9)$$

$$w_{ik} = 0, \text{ если } x_i \notin Con(d_k). \quad (10)$$

При этом:

$$x_i \in Con(d_k), \text{ если: } x_i = mod(x_i) \in Con(d_k);$$

$$\exists! E(mod(x_i), \langle mod(x_j), \dots, mod(x_k) \rangle) \in Con(d_k), \quad (11)$$

где  $E$  – множество отношений пространственной

связности моды  $\text{mod}(x_i) \in \text{Con}(d_k)$  и соответствующих мод  $\langle \text{mod}(x_j), \dots, \text{mod}(x_k) \rangle \in \text{Con}(d_k)$ .

$$E = (e_{ij}, \dots, e_{ik}), \quad (12)$$

где  $e_{ij}$  – отношение пространственной связности мод  $\text{mod}(x_i)$  и  $\text{mod}(x_j)$ .

Данное отношение  $e_{ij}$  существует для элементов входного вектора сигналов  $x_{ij}$  и  $x_{ji}$ , если:

$$(I(x_i) = I(x_j) \text{ or } I(x_i) \cap I(x_j)) \rightarrow \exists e_{ij}, \quad (13)$$

где  $I$  – соответствующее значение пространственного индекса.

Следовательно, исходя из выражений (11), коэффициенты принадлежности  $w_{ik}$  должны формироваться отдельно для адресной составляющей  $a_i$  моды и для ее пространственного индекса  $I_i$ .

Теперь определим, что значение функции  $f$  – принадлежности сигнала  $x_i$ , поступающего на  $i$ -й вход детектора  $d_i$ , его концепту  $\text{Con}(d_i)$  (выражение (8)) имеет не просто бинарное значение, как в выражениях (9) и (10), а определяется на основе некоторого статистического значения  $q_i$ , которое моделирует правило обучения Хебба и позволяет избежать постоянного и резкого переучивания нейрона-детектора (отдельных компонентов его концепта) в каждый момент времени обучения. Для обеспечения сходимости  $\text{Con}(d_i)$  к аттрактору в процессе обучения введем нелинейную функцию  $q_i$ :

$$q_i = (I_i/k)^c, \quad (14)$$

где  $q_i$  – значение функции принадлежности  $f$  (выражение (8));  $I_i$  – суммарное число поданных сигналов  $x_i$  на  $i$ -й вход детектора  $d_i$  в моменты времени обучения  $tr$ . В данные моменты времени  $x_i$  поступает синхронно с сигналом обучения  $z$ ;  $k$  – общее количество циклов подачи векторов входных сигналов  $\bar{X}$  на входы  $d_i$  в моменты времени обучения  $tr$ ;  $c$  – константа ( $0 < c < 1$ ), определяющая нелинейность  $q_i$ . Эта нелинейность замедляет процесс сходимости концепта к аттрактору, что позволяет устранить постоянное и резкое переучивание нейрона.

Для определения принадлежности  $x_i$  концепту  $\text{Con}(d_i)$  введем статистический порог принадлежности  $\sigma < 1$  (рис. 4).

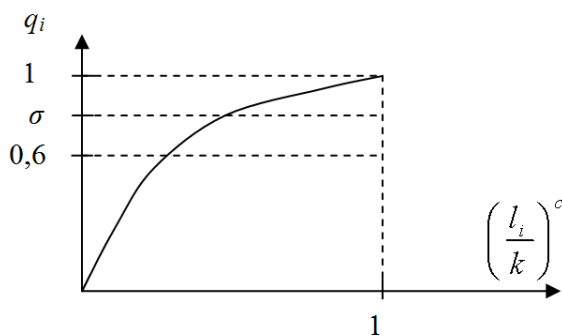


Рис. 4. Функция принадлежности  $q_i = (I_i/k)^c$

Тогда, первое правило выражения (11) будет определяться следующим соотношением:

$$\begin{aligned} q_i < \sigma, & \text{ то } w_i = 0 \text{ и } \rightarrow x_i(a) \in \text{Con}(d_i); \\ q_i \geq \sigma, & \text{ то } w_i = 1 \text{ и } \rightarrow x_i(a) \in \text{Con}(d_i). \end{aligned} \quad (15)$$

В данном случае возникает проблема выбора значения порога принадлежности  $\sigma$  и связанная с ней проблема доверия к данному выбору. Чем ближе значение  $\sigma$  будет к 1, тем с большей уверенностью можно утверждать, что данный входной сигнал принадлежит  $\text{Con}(d_i)$ , тем менее "пластичным" будет  $\text{Con}(d_i)$  в процессе обучения и наоборот. Данную проблему можно назвать проблемой надежности-пластичности  $\text{Con}(d_i)$ .

Такими образом, модификация  $\text{Con}(d_i)$  в процессе обучения связана со следующими изменениями:

1) Изменением (уменьшением либо увеличением) количества либо значения характеристических либо структурных мод в  $\text{Con}(d_i)$ . Эти изменения позволяют сформировать необходимые и достаточные инвариантные, относительно аффинных и деформационных преобразований контура изображения, признаки распознавания и, в конечном итоге, сформировать ДИНС, представляющую собой классификационную структуру нейронов-детекторов.

2) Изменением в процессе обучения пространственной связности мод  $\text{Con}(d_i)$ . Эти изменения связаны с изменением значений соответствующих пространственных индексов. В конечном итоге данный процесс может привести к проверке только самого факта пространственной связности без привязки к значениям пространственных индексов: конкретному местоположению распознаваемого изображения или элемента изображения в поле восприятия. Это позволяет сформировать концепт инвариантный к местоположению его структурных элементов.

**2. Процедура встречного обучения.** Рассмотрим более детально процедуру обучения отдельных нейронов-детекторов на вторичном уровне обработки информации в ДИНС, связанную с модификацией концепта.

Концепция взаимного или встречного обучения нейронов-детекторов ДИНС является обобщением и расширением известных парадигм обучения "с учителем", "без учителя", с подкреплением.

Введем следующие определения [28].

*Определение 8.* Систему ДИНС, осуществляющую формирование презентаций (от лат. praesentatio – представление) воспринимаемого образа, будем называть презентативной системой PrS.

В данном контексте презентация – это не способ предъявления информации кому-либо, а модель внутреннего представления в ДИНС воспринимаемого образа. Построение презентаций в рассматриваемой ДИНС осуществляется на первичном и вторичном уровнях обработки информации.

*Определение 9.* Систему ДИНС, осуществляющую формирование вторичных презентаций – репрезентаций воспринимаемых образов в другом формальном алфавите, будем называть репрезентативной системой RpS [29].

Именно репрезентативная система RpS позволяет определить результат распознавания модели воспринимаемого образа (презентации) и осуществить процесс встречного обучения нейронов-детекторов презентативной системы PrS. Таким образом, сопоставление конкретной презентации буквы алфавита репрезентативной системы - адреса нейрона-детектора RpS и будет являться и итогом распознавания и моделью обучения.

На рис. 5 представлены: репрезентативная система с выделенным единичным нейроном, участвующим в процессе обучения; множество презентативных подсистем с двумя выделенными нейронами в двух различных подсистемах, участвующих в обучении; перцептивная система (система восприятия) с двумя выделенными подсистемами, одновременно воспринимающими своими рецептивными полями (выделены овалом) соответствующие вектора входных сигналов  $X_1$  и  $X_2$ . Презентативные подсистемы, связанные со своими перцептивными подсистемами, формируют презентации – модели воспринимаемых образов, представленные ансамблем возбужденных нейронов-детекторов (выделены овалами в презентативных подсистемах).

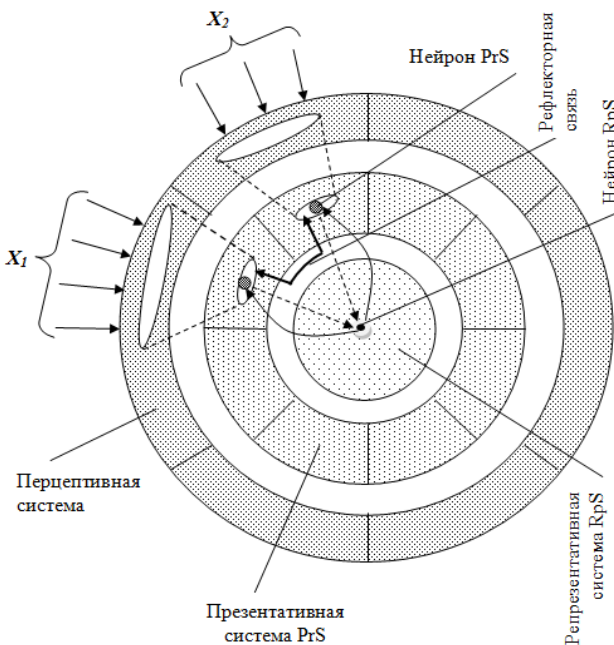


Рис. 5. Схема встречного обучения нейронов презентативных подсистем и репрезентативной подсистемы

Синхронное возбуждение выделенных нейронов в презентативных подсистемах определяет формирование сигналов возбуждения (обозначены пунктирными направленными связями) и процесс обучения выделенного нейрона в репрезентативной подсистеме, который, в свою очередь, формирует встречные управляющие сигналы обучения  $z$  (обозначены сплошными направленными связями) для обучения соответствующих нейронов презентативных подсистем. Обученные нейроны формируют

ансамбль взаимосвязанных нейронов в репрезентативной системе и презентативных подсистемах. Возбуждение обученных нейронов в любой системе ведет к возбуждению всего ансамбля обученных нейронов. Наиболее важные (или наиболее часто используемые) связи между нейронами различных презентативных подсистем могут становиться короткими (рефлекторными) без участия нейронов репрезентативной системы.

Таким образом, управляющий сигнал обучения  $z$  нейрона-детектора  $d_i$  формируется нейронами-детекторами других систем, например, репрезентативной системы RpS [29]. Рассмотрим упрощенную пошаговую процедуру обучения нейрона-детектора  $d_i$  презентативной системы PrS под управлением нейрона-детектора  $d_i^*$  репрезентативной системы RpS. Назовем данные нейроны-детекторы по типу процедуры обучения – встречными.

В процессе встречного обучения детектор PrS должен установить взаимосвязь с соответствующим детектором RpS. Схема установления данной взаимосвязи представлена на рис. 6.

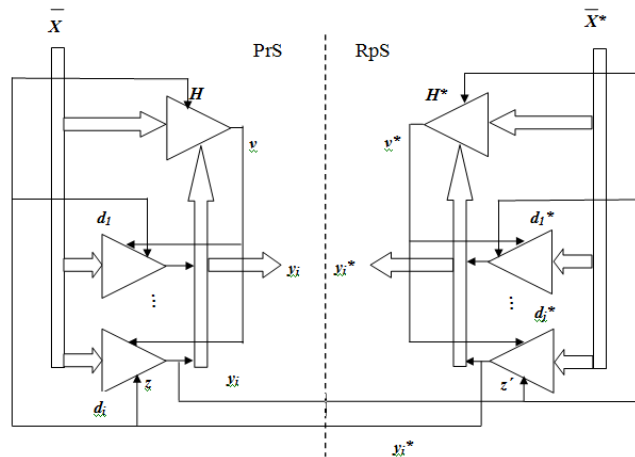


Рис. 6. Схема установления взаимосвязи детекторов  $d_i$  и  $d_i^*$  в процессе встречного обучения

1. Предположим, что в начальный момент времени детектор  $d_i$  не активирован и находится в состоянии "свободен". Данное состояние характеризуется тем, что при поступлении на его входы любого вектора сигналов  $\bar{X}$  не происходит его возбуждения т.к.  $Con(d_i)$  не сформирован. Также детектор не распознает сигналов обучения  $z$  ввиду того, что  $d_i$  еще не связан с  $d_i^*$  - обучающим детектором RpS. Данная связь формируется в результате запоминания детектором  $d_i$  "адреса"  $d_i^*$ .

Для активации детектора  $d_i$  необходимо осуществить его "захват". Для этого нужен командный нейрон  $H$ , управляющий процессом активизации всех нейронов модуля. На входы  $H$  поступают все выходные сигналы нейронов модуля, сигналы обучения  $z$  и входной вектор сигналов  $\bar{X}$ . Если в модуль поступает  $\bar{X}$  и сигнал  $z$ , но ни один из нейронов модуля не возбуждается, то на выходе  $H$  формируется сигнал  $v$

"захвата" свободного нейрона-детектора. Следовательно, командный нейрон  $H$  является нейроном низкого уровня. Допустим, что ближайший свободный к  $H$  детектор  $d_i$ , получив управляющий сигнал  $v$  и сигнал обучения  $z$  – выходной сигнал  $u^*$  нейрона  $d_i^*$ , воспринимает входной вектор  $\bar{X}$  как вектор распознавания и запоминает его в качестве исходного  $\text{Con}(d_i)$ , а сигнал  $u^*$  запоминает в качестве связанного сигнала обучения  $z$ . Таким образом,  $d_i$  становится детектором – идентификатором примера  $\bar{X}$ . В случае, если дальнейшего обучения детектора  $d_i$  не произойдет, он будет возбуждаться исключительно при поступлении на его входы вектора  $\bar{X}$ .

2. Детектор  $d_i$  возбужден, но еще не установлена его обратная связь с обучающим детектором  $d_i^*$ . Детектор  $d_i$  посылает сигнал  $u_i$  в модуль  $RpS$  и одновременно возбужденный с  $d_i$  детектор  $d_i^*$  в  $RpS$  воспринимает данный сигнал как встречный управляющий сигнал обучения  $z'$ . В этом случае значение сигнала  $u_i$  запоминается детектором  $d_i^*$  и таким образом устанавливается взаимосвязь  $d_i$  и  $d_i^*$ . Таким образом, детекторы  $d_i$  и  $d_i^*$  обучают друг друга.

3. При возникновении на входе  $d_i$  вектора  $\bar{X} \cap \text{Con}(d_i)$  и наличии управляющего сигнала обучения  $z$ , происходит обучение  $d_i$  в результате коррекции  $\text{Con}(d_i)$ .

4. В случае если при возникновении  $z$  на входы  $d_i$  поступает вектор  $\bar{X}$ , который не пересекается с  $\text{Con}(d_i)$ , то детектор  $d_i$  не возбуждается. В этом случае происходит "захват" и возбуждение нового детектора с альтернативным для данного сигнала  $z$  концептом.

5. Если на входы  $d_i$  поступает вектор  $\bar{X} \cap \text{Con}(d_i)$ , но одновременно возникающий сигнал обучения  $z$  не совпадает с запомненным значением  $u_i^*$ , то детектор  $d_i$  не возбуждается (тормозится). Тогда происходит "захват" и возбуждение нового детектора  $d_k$  с  $\text{Con}(d_k) = \bar{X}$  и новым значением сигнала  $z$ .

По такому же алгоритму работает и обратная процедура, когда ведущий сигнал обучения поступает от детектора  $RpS$ . В этом случае первоначальный "захват" детектора  $d_i$  управляющим сигналом  $v$  осуществляется без сигнала  $z$ , т.е. происходит самообучение детектора  $d_i$ .

**3. Составляющие реакции нейрона-детектора.** Представляемая информационная модель описывает процессы преобразования информации на вторичном уровне в нейроне-детекторе ДИНС, которые гипотетически могут быть реализованы известными физиологическими механизмами в биологическом нейроне.

В соответствии с детекторным подходом, для построения информационной модели нейрона-детектора ДИНС определим основные информационные элементы, составляющие его реакцию  $u_i$ :

$$u_i(a, b, c, I), \quad (16)$$

где  $u_i$  – комплексная реакция нейрона-детектора;  $a$  – адресная составляющая реакции;  $I$  – пространственный индекс реакции;  $b$  – уровень возбуждения нейрона-детектора;  $c$  – тип возбуждения нейрона-детектора.

Формирование адресной составляющей и пространственного индекса было рассмотрено выше.

Уровень возбуждения нейрона-детектора  $b$  моделирует уровень возбуждения: частотную либо амплитудную (градуальную) реакцию биологического нейрона. Значение модельной составляющей реакции  $b$  равно линейной сумме числа всех мод концепта  $\text{Con}$  и в точности соответствует порогу возбуждения  $g_i$  нейрона-детектора  $d_i$  (выражение (17)). Это допущение хоть и существенно упрощает реальные процессы нелинейной суммации ВПСП в биологическом нейроне, но не исключает вариативность уровня возбуждения  $b$  в модельном нейроне. Однако для целей моделирования эти упрощения оправданы.

$$b = \left( \sum_{j=1}^k \text{mod}(x_j) \in \text{Con}(d_i) \right) = g_i, \quad (17)$$

где  $\text{mod}(x_j)$  – любая мода, принадлежащая концепту;  $g_i$  – порог возбуждения данного нейрона-детектора.

Тогда:

$$\left( \sum_{j=1}^k \text{mod}(x_j) \in \text{Con}(d_i) = g_i \right) \rightarrow \exists u_i(b). \quad (18)$$

Из данного выражения также видно, что процесс обучения нейрона ведет к изменению пороговой величины  $g_i$ , что также является биологически обоснованным [4].

Рассматриваемая составляющая  $b$  необходима для реализации процесса WTA – конкуренции одновременно возбужденных нейронов-детекторов в одном модуле (одной карте детекторов) ДИНС для определения одного лидера в модуле, сигналы от которого будут участвовать в дальнейшей обработке информации. Кроме того, данная составляющая необходима и для организации структурирования карт детекторов в процессе самообучения, который будет рассмотрен ниже. Назовем процесс WTA-конкуренции между нейронами-детекторами ДИНС –  $\alpha$ -конкуренцией [30].

Действительно, у нейронов-детекторов одного модуля не может существовать двух одинаковых концептов, но может быть случай, когда, например,  $\text{Con}(d_1) \subset \text{Con}(d_2)$ . В этом случае будут одновременно возбуждены детекторы  $d_1$  и  $d_2$ , но значение  $u_1(b)$  детектора  $d_1$  будет меньше  $u_2(b)$  детектора  $d_2$ .

При  $\alpha$ -конкуренции выходные сигналы  $u_i(b)$  одновременно возбужденных нейронов-детекторов сравниваются в компараторах  $C$  каждого из детекторов, где, в случае превышения какого-либо из внешних сигналов  $u_i(b)$  над своим собственными, генерируется внутренний управляющий сигнал торможения  $h$ , который "сбрасывает" возбуждение детектора переводя его в неактивное состояние. На



рис. 7 показана схема формування сигналу  $h$  в детекторі  $d_1$  при умові  $y_2(b) > y_1(b)$ .

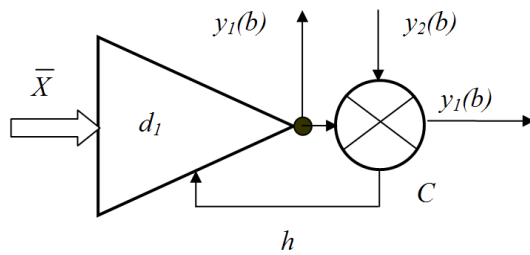


Рис. 7. Схема формування сигналів  $h$  і  $y_1(b)$

В разі якщо  $y_1(b) > y_2(b)$ , то затримується детектор  $d_2$ . Тоді компаратор  $C$  детектора  $d_1$  передає сигнал  $y_1(b)$  на вихід нейрона-детектора. Таким чином здійснюється процес латерального затримання для реалізації  $\alpha$ -конкуренції нейронів-детекторів в модулі.

Для біологічних нейронів, можливо, що передача сигналів збудження для реалізації процесу  $\alpha$ -конкуренції між нейронами в нейронному модулі по горизонтальним зв'язям може здійснюватися з використанням аксо-аксональних синапсів.

При асоціативному розпізнаванні, яке буде розглянуто нижче,  $\alpha$ -конкуренція виникає тільки між асоціативно збудженими нейронами-детекторами.

Рівень збудження  $b$  нейрона-детектора ДИНС і тип його збудження  $c$  в сукупності моделюють частотну реакцію біологічного нейрона. Відомо, що біологічні нейрони можуть демонструвати декілька різних видів активності [31]. Різні види реакцій біологічних нейронів-детекторів, наприклад: пачечна (відомі також як "берстова" або "залповая") реакція, регулярна, нерегулярна або періодична, спонтанна активність і др., ймовірно пов'язані з їх внутрішнім станом і відображають динамічні властивості нейронів [5].

Однак припустимо, що різні види реакцій нейрона-детектора, з інформаційної точки зору, залежать від типу його збудження, який, в свою чергу, визначається умовами збудження. Цими умовами можуть бути: вид реакції пресинаптичних нейронів; повнота вектора входних сигналів, визначаючого необхідні і достатні умови збудження нейрона-детектора; наявність входних керуючих сигналів  $z$ , що поступають, наприклад, від зустрічних нейронів інших систем.

Для нейронів-детекторів ДИНС визначимо два типи збудження, під якими будемо розуміти:

1) пряме збудження – збудження нейронів-детекторів будь-якого типу при наявності всіх необхідних і достатніх елементів входного вектора сигналів, визначених концептом. В цьому разі збудження нейрона-детектора здійснюється з урахуванням значення порога збудження  $g_i$  відповідно до виразу (17). Пряме збудження

нейрона-детектора ДИНС моделює пачечну активність біологічного нейрона;

2) асоціативне збудження можливо тільки нейронів-детекторів похідних структур. В цьому разі значення порога збудження  $g_i$  не враховується. Припустимо, що асоціативне збудження нейронів-детекторів ДИНС моделює регулярну активність біологічних нейронів і може виникати в наступних випадках:

**А.** Якщо всі входні сигнали, необхідні і достатні для збудження, т.е. належачі  $Cop$ , є реакціями прямого збудження пресинаптичних нейронів-детекторів похідних структур, але при цьому частини з них відсутні, т.е. входний вектор – неповний. В цьому разі  $Cop$  виконує роль еталонної структури ансамблю пресинаптичних нейронів необхідних для асоціативного збудження даного нейрона-детектора. Таким чином, якщо в входному векторі присутні хоча б два сигнали, активізуючі зв'язані структурні модулі належачі  $Cop$ , що необхідно відповідно до виразу (11), то нейрон-детектор асоціативно збуджується (в його реакції буде присутнє значення асоціативного типу збудження) і його рівень збудження  $b$  буде рівний сумі елементів входного вектора сигналів, належачих  $Cop$ , незалежно від значення порога збудження  $g_i$ .

**Б.** Якщо на вході нейрона-детектора відсутні всі входні сигнали, але є керуючий сигнал збудження  $z$  від зустрічного нейрона-детектора, то даний нейрон асоціативно збуджується з рівнем збудження  $b$  рівним сумі елементів всіх елементів  $Cop$ .

**В.** Для нейронів-детекторів складних похідних структур, де входні сигнали можуть поступати від нейронів-детекторів більш простих похідних структур, також виконуються умови асоціативного збудження **А** або **Б**. Однак, навіть якщо входний вектор сигналів повний (відповідає  $Cop$ ), але хоча б один входний сигнал є реакцією асоціативного збудження, то даний нейрон також збуджується асоціативно.

Асоціативне збудження нейронів-детекторів визначає асоціативне розпізнавання образів, що з психологічної точки зору, порівняно з прямим збудженням, означає більш низьку ступінь впевненості в результаті розпізнавання – гіпотезу розпізнавання.

Таким чином, складові реакції з нейрона-детектора визначає тип його збудження і рівня, наприклад, "1" при прямому збудженні або "0" при асоціативному збудженні.

**4. Інформаційна модель нейрона-детектора ДИНС.** Інформаційна модель нейрона-детектора ДИНС складається з моделі дендритного дерева, моделі навчання і моделі формування реакції.

**4.1. Информационная модель дендритного дерева.** Структурная схема информационной модели дендритного дерева нейрона-детектора ДИНС для процесса распознавания входного вектора сигналов представлена на рис. 8.

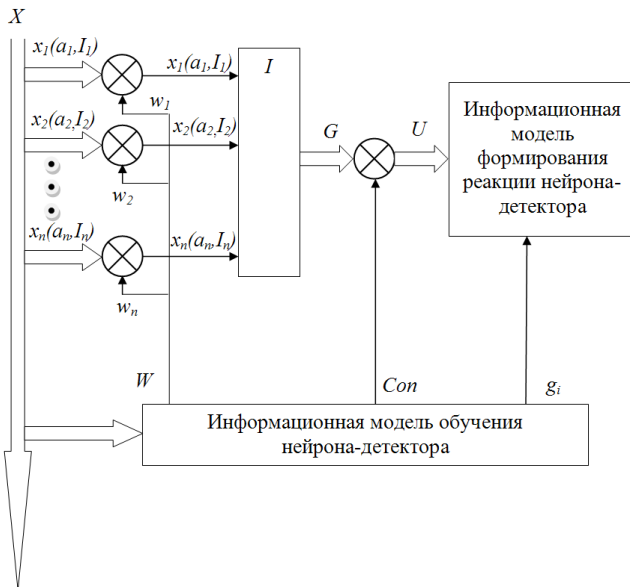


Рис. 8. Структурная схема информационной модели дендритного дерева нейрона-детектора ДИНС

На данной схеме представлены следующие элементы и блоки:

X – входной вектор сигналов;

$x_i(a_i, I_i)$  – i-й элемент входного вектора сигналов с адресной составляющей  $a_i$  и пространственным индексом  $I_i$ ;

$w_i=(w_{ia}, w_{il})$  – пара весовых коэффициентов принадлежности двух составляющих:  $w_{ia}$  - адресной составляющей  $a_i$  и  $w_{il}$  - значения пространственного индекса  $I_i$  элемента входного вектора сигналов  $x_i$  концепту Con, т.е. данные весовые коэффициенты, в соответствии с принципом абсолютной адресации в ДИНС, связаны не с конкретным синаптическим входом, а со значениями отдельных составляющих моды;

W – множество значений матрицы весовых коэффициентов принадлежности, размерность которой соответствует размерности Con (W формируется в процессе обучения);

I – блок определения пространственной связности элементов входного вектора сигналов (мод), принадлежащих Con;

G – пространственно-связный граф мод;

Con – концепт нейрона-детектора, формируемый в процессе обучения;

U – множество возбуждающих постсинаптических потенциалов

$$U=(u_i(c_i), \dots, u_k(c_k)), \quad (19)$$

где  $u_i$  – значение возбуждающего постсинаптического потенциала, соответствующего i-й моде, принадлежащей Con, т.е. если выполняются условия, определенные в выражениях: (11), (13), (15), то в этом случае  $u_i=1$ , в противном случае  $u_i=0$ ;

$c_i$  – значение типа возбуждения пресинаптического нейрона, реакция которого соответствует моде Con, т.е. если пресинаптический нейрон имеет прямое возбуждение, то  $c_i=1$ , а если ассоциативное – то  $c_i=0$ ;

$g_i$  – значение порога возбуждения нейрона-детектора, формируемое в процессе обучения;

На схеме перечеркнутым кругом обозначаются блоки сравнения – компараторы.

Данная модель в режиме распознавания входного вектора сигналов функционирует следующим образом:

1. При поступлении на входы нейрона-детектора вектора входных сигналов X:

$$X=(x_1(a_1, I_1, c_1), x_2(a_2, I_2, c_2), \dots, x_n(a_n, I_n, c_n)) \quad (20)$$

в компараторах каждого входа, на основе соответствующих весовых коэффициентов  $w_i$ , в соответствии с выражением (15), определяется принадлежность каждой адресной составляющей  $a_i$  и пространственного индекса  $I_i$  сигнала  $x_i$  моде концепта Con, т.е. проверяется выполнение первого правила выражения (11).

2. В случае если  $x_i(a_i, I_i) \in Con$ , в блоке I определения пространственной связности элементов входного вектора сигналов на основе значений сигналов  $x_i(I_i)$  и выражений (11), (13), (15) осуществляется построение пространственно-связного графа мод G.

3. В последующем компараторе осуществляется проверка выполнения второго правила выражения (11) в результате сравнение графа G с Con. В случае если графы G и Con изоморфны, идентичны или  $G \cap Con$  (например, при ассоциативном распознавании), то формируется множество возбуждающих постсинаптических потенциалов U с соответствующими значениями типа возбуждения  $c_i$  (формула (19)), которые являются выходными значениями данной модели.

**4.2. Информационная модель обучения нейрона-детектора ДИНС.** Данная модель реализует модель встречного обучения. Данное обучение на уровне нейрона-детектора заключается в первичном формировании и последующей модификации в процессе обучения: весовых коэффициентов принадлежности адресных составляющих  $w_{ia}$  и пространственных индексов  $w_{il}$  входных сигналов концепту Con, самого концепта Con, а также порога возбуждения  $g_i$ . Первичное формирование каждого из коэффициентов  $w_{ia}$  и  $w_{il}$  осуществляется в соответствии с формулами (14) и (15) при синхронном поступлении вектора входных сигналов X, управляющего сигнала обучения z и сигнал "захвата" v (см. рис.6). В это же время при тех же условиях происходит и первичное формирование концепта Con нейрона-детектора в соответствии с формулами (11), (13).

Изменение (модификация) весовых коэффициентов принадлежности  $w_{ia}$  и  $w_{il}$  ведет к модификации концепта Con. Данные изменения осуществляется в соответствии с этими же формулами при синхронном поступлении только вектора входных сигналов X и управляющего сигнала обучения z. В начальный момент времени (при инициализации), все

значения  $w_{ia}$  и  $w_{il}$  матрицы весовых коэффициентов  $W$  имеют значения "1".

Первичное формирование и последующая модификация порога возбуждения  $g_i$  связаны с изменениями концепта  $Con$  (в момент инициализации  $g=0$ ) и осуществляются при тех же условиях, которые были рассмотрены для коэффициентов принадлежности и концепта  $Con$ , в соответствии с выражением:

$$g_i = \sum_{j=1}^k u_j, \quad (21)$$

где  $u_j$  – ненулевое значение  $j$ -го возбуждающего постсинаптического потенциала (выражение (19)).

На рис. 9 представлена структурная схема информационной модели обучения нейрона-детектора ДИНС.

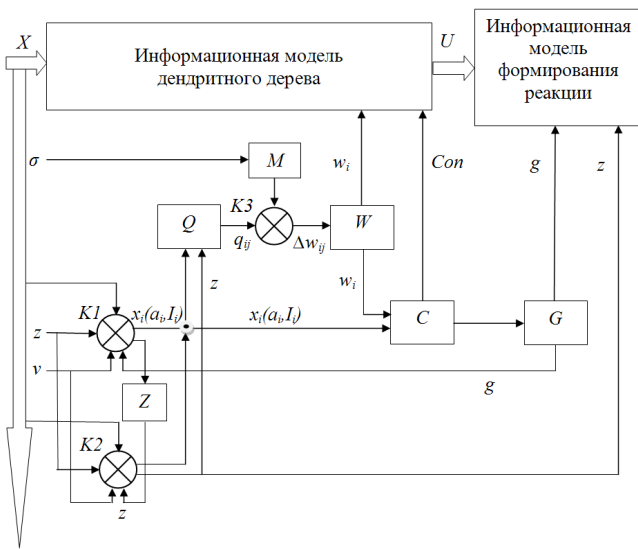


Рис. 9. Структурная схема информационной модели обучения нейрона-детектора ДИНС

На данной схеме изображены следующие информационные блоки и элементы:

$X$  – входной вектор сигналов;  
 $x_i(a_i, I_i)$  – множество  $i$ -х элементов входного вектора сигналов с адресной составляющей  $a_i$  и пространственным индексом  $I_i$ , принадлежащих концепту  $Con$  данного нейрона-детектора;

$g$  – значение порога возбуждения нейрона-детектора, формируемое и модифицируемое в процессе обучения, в соответствии с выражением (17), блоком  $G$ ;

$w_i$  – множество пар  $(w_{ia}, w_{il})$  значений весовых коэффициентов принадлежности адресной составляющей  $a_i$  и значения пространственного индекса  $I_i$  элемента входного вектора сигналов  $x_i$  концепту  $Con$ ,

$W$  – блок формирования, модификации и хранения множества значений матрицы весовых коэффициентов принадлежности – пар  $(w_{ia}, w_{il})$ ;

$z$  – внешний управляющий сигнал обучения, значение которого запоминается в процессе "захвата" нейрона-детектора и хранится в модуле памяти  $Z$ . При дальнейшем обучении нейрона-детектора это значение используется для вычисления  $q_{ij}$  (выражение (14));

$v$  – внешний управляющий сигнал "захвата" нейрона-детектора;

$C$  – блок формирования, модификации и хранения концепта  $Con$  данного нейрона-детектора в соответствии с выражениями (11), (13);

$q_{ij}$  – значение функции принадлежности  $f$  (выражение (14)), вычисляемое в процессе обучения и хранимое для каждого элемента пары  $(a_i, I_i)$  в блоке  $Q$ ;

$\Delta w_{ij}$  – модифицированные значения элементов пар  $(w_{ia}, w_{il})$ , полученные в результате сравнения в компараторе  $K3$  модифицированных значений  $q_{ij}$  и  $\sigma$  (выражение (15));

$\sigma$  – задаваемое значение  $(0,6 \leq \sigma < 1)$  статистического порога принадлежности  $q_i$  адресной составляющей  $a_i$  и значения пространственного индекса  $I_i$  элемента входного вектора сигналов  $x_i$  концепту  $Con$  (выражение (15)). Данное значение хранится в блоке памяти  $M$ ;

$K1$  – компаратор, определяющий момент "захват" нейрона-детектора при наличии: множества входных сигналов  $x_i(a_i, I_i)$ ; управляющих сигналов  $z$  и  $v$ ; а также при значении порога возбуждения  $g=0$ , что свидетельствует об отсутствии концепта  $Con$  данного нейрона-детектора;

$K2$  – компаратор, определяющий каждый момент обучения нейрона-детектора при наличии: множества входных сигналов  $x_i(a_i, I_i)$ , управляющего сигнала  $z$ , совпадающего со значением, запомненным в модуле памяти  $Z$ ; а также и при отсутствии сигнала  $v$ .

Таким образом, память в нейроне-детекторе реализуется следующими компонентами: памятью в блоке  $Q$  значений функции принадлежности  $q_{ij}$  для каждого элемента пары  $(a_i, I_i)$ ; памятью в блоке  $W$  множества пар значений весовых коэффициентов принадлежности  $(w_{ia}, w_{il})$ ; памятью в блоке  $C$  концепта  $Con$ ; памятью в блоке  $M$  значения статистического порога принадлежности  $\sigma$ ; памятью в блоке  $G$  значение порога возбуждения нейрона-детектора  $g$ ; памятью в блоке  $Z$  значения управляющего сигнала обучения  $z$ .

#### 4.3. Информационная модель формирования реакции нейрона-детектора.

Модель формирования реакции  $y_i(a, b, c, I)$  нейрона-детектора  $d_i$  отражает процессы преобразования информации в "теле" и "аксоне" нейрона ДИНС. Функционирование данной модели проиллюстрировано на структурной схеме (рис. 10), где, в дополнение к элементам и блокам, представленным на рис. 8 и 9, представлены следующие элементы и блоки:

$u_i(c_i=1)$  – ненулевое значение  $i$ -го возбуждающего постсинаптического потенциала (выражение (19)) от пресинаптического нейрона с прямым типом возбуждения:  $c_i=1$ ;

$u_i(c_i=1/0)$  – ненулевое значение  $i$ -го возбуждающего постсинаптического потенциала от пресинаптического нейрона с прямым ( $c_i=1$ ) либо ассоциативным ( $c_i=0$ ) типом возбуждения;

$\sum_{j=1}^k u_j \sum_{j=1}^k u_j$  – блок суммирования возбуждающих постсинаптических потенциалов;  
 $b$  – уровень возбуждения нейрона-детектора (выражение (17));

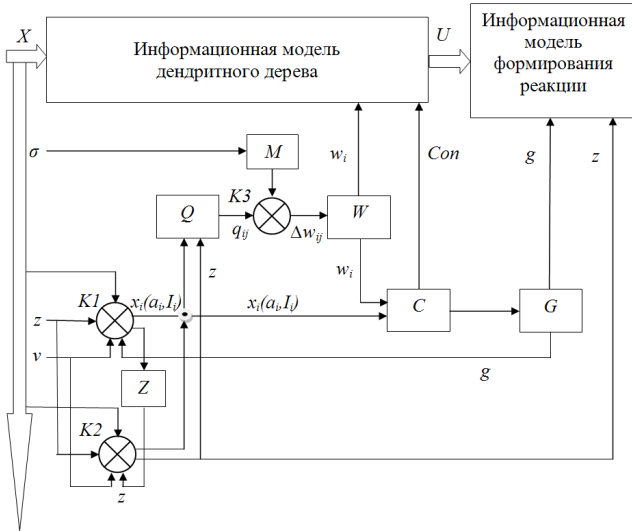


Рис. 10. Структурная схема информационной модели формирования реакции  $y_i(a, b, c, I)$  нейрона-детектора  $d_i$  ДИНС

$K1$  – компаратор, в котором осуществляется проверка условий прямого возбуждения нейрона: если  $b=g$  при условии, что все составляющие  $u_i(c_i)$  имеют значение  $c_i=1$ , то формируется составляющая реакции нейрона-детектора  $y(b,c=1)$ ;

$K2$  – компаратор, в котором осуществляется проверка условий ассоциативного возбуждения нейрона при котором формируется составляющая реакции нейрона-детектора  $y(b,c=0)$ , где  $b=g$ :

- 1) если  $b=g$  при условии, что все или хотя бы одна составляющая  $u_i(c_i)$  имеют значение  $c_i=0$ , и  $z=0$ ;
- 2) если  $b < g$  при любых значения  $c_i$  и  $z=0$ ;
- 3) если  $b=0$ , т.е. возбуждающие постсинаптические потенциалы отсутствуют, но  $z \neq 0$ ;

$y(b,c)$  – выходной сигнал нейрона-детектора, который подается на управляющие входы соответствующих компараторов всех нейронов данного модуля (карты) для осуществления процесса  $\alpha$ -конкуренции (рис.7). Нейроны-победители определяются отдельно для группы ассоциативно возбужденных нейронов и для группы нейронов с прямым возбуждением. Далее, в соответствии с правилом WTA, приоритет получает нейрон с прямым возбуждением (если он существует), а все остальные нейроны тормозятся (ВПСП становятся равными "0") собственными (внутренними) управляющими сигналами  $h$ , которые генерируются компараторами  $K3$ ;

$K3$  – компаратор, в котором осуществляется процесс приоритетной  $\alpha$ -конкуренции на основе сравнение собственного сигнала  $y(b,c)$  со входными сигналами  $y'(b,c)$ , поступившими от других возбужденных нейронов данного модуля;

$A$  – модуль памяти, где хранится адресная составляющая реакции нейрона-детектора  $y(a)$ . Адреса

нейронов-детекторов в модуле задаются в процессе инициализации;

$I$  – блок формирования значения пространственного индекса  $I$  (см. рис.1) для его инкапсуляции в структуру реакции нейрона-детектора;

$M$  – блок инкапсуляции (связывания) структурных компонент в комплексную реакцию нейрона-детектора;

$y(a,b,c,I)$  – комплексная реакция нейрона-детектора.

**5. Формирование производных характеристик. Нейроны-анализаторы ДИНС.** Очевидно, что наш мозг способен не только "мозаично" воспринимать отдельные информационные признаки внешних образов и объединять их в реакции детекторов, но и сравнивать эти признаки, осуществлять анализ воспринимаемой информации.

В процессе распознавания образов ДИНС необходимо осуществлять не только обобщение признаков для формирования инвариантных концептов нейронов-детекторов класса распознавания, но и выделение специфических признаков для формирования в процессе обучения концептов нейронов-детекторов подклассов и нейронов-детекторов примеров класса (подкласса) распознавания. Эти специфические признаки являются производными от первичных признаков (непроизводных характеристик) восприятия и их возможно получить только в процессе анализа (сравнения) непроизводных характеристик структурных элементов распознаваемого образа. Информация об этих признаках может быть представлена в виде значений производных характеристических мод в концепте структурного нейрона-детектора. Данные моды формируют дополнительную сильную связность модальных групп структурных элементов и определяют существенные параметры фильтрации входной информации нейрона.

**5.1. Производные характеристики.** Непроизводные характеристики могут иметь как количественные значения, упорядоченные на различных линейных шкалах измерений (например: длины отрезков, местоположение точек изображения либо окон восприятия в Декартовой системе координат для изображений КМ, величины углов и направления ориентации отрезков в полярной системе координат и др.), так и качественные значения (например, бинарные значения типа: "Да-Нет" к которым, в частности, относится характеристика определения замкнутости либо разомкнутости контура изображения). Очевидно, что в процессе обучения при модификации концепта нейрона-детектора, например, класса распознавания, многие из данных характеристических мод будут удалены из концепта. Это может привести к потере уникальности концепта и возникновению конфликтных ситуаций при распознавании образов, когда, например,  $\alpha$ -конкуренция не приведет к определению нейрона-победителя.

Для того чтобы уникальность концепта была сохранена, во входном векторе сигналов должны быть другие элементы, также имеющие качественные либо количественные значения, которые будут более устой-

чивы либо инвариантны к изменению количественных характеристик конкретных структурных элементов, и, в то же время, будут обеспечивать уникальность концепта распознавания нейрона-детектора. Этими элементами могут быть реакции нейронов-детекторов производных или вторичных характеристик структурных элементов. Предположим, что к производным характеристикам объектов КМ, например, относятся: качественные характеристики отношений количественных производных характеристик (например, бинарные отношения: "больше – меньше", "по часовой стрелке – против часовой стрелки", "вправо – влево", и др.); количественные характеристики отношений количественных производных характеристик (например, длин отрезков, величин углов, размеров изображения и др.). Например, качественная производная характеристика, которая может обозначать выпуклость либо вогнутость контура изображения, формируется в результате сравнения направлений ориентации отрезков – векторов при детектировании углов с учетом выбранной точки начала и направления последовательного обхода контура изображения. В этом случае наличие определенных значений данной характеристики – связанных мод в структуре концепта определяют неизменность либо изменение направления ориентации последовательно расположенных и пространственно связанных векторов в контуре изображения.

Таким образом, типы производных характеристик должны относиться не к отдельному структурному элементу контура изображения, а ко всему изображению в целом либо определенной подструктуре изображения. Процесс формирования производных характеристик обладает существенными отличиями от процесса формирования производных характеристик:

1) формирование значений данных характеристик происходит последовательно в результате выполнения бинарных операций сравнения значений производных характеристик, в общем случае устанавливающих между ними математические отношения равенства или порядка;

2) формирование производных характеристик вариативно и ситуационно, т.е. имеет структурно-временную зависимость. Это значит, что одни и те же нейроны, осуществляющие сравнение значений производных характеристик, в разные моменты времени могут обрабатывать однотипную информацию, относящуюся к разным элементам одного изображения либо к разным изображениям.

**5.2. Нейроны-анализаторы и ассоциативные моды.** Для формирования значений производных характеристик должны существовать нейроны нового типа, осуществляющие операцию сравнения реакций (а именно - адресных составляющих реакций) нейронов-детекторов производных характеристик. Этими нейронами являются нейроны-анализаторы.

*Определение 10.* Нейронами-анализаторами ДИНС называются нейроны, осуществляющие попарное сравнение упорядоченных на определенной шкале

значений адресных составляющих реакций пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик структурных элементов распознаваемого образа либо всего образа в целом.

Очевидно, что для сравнения адресных составляющих реакций нейронов-детекторов производных характеристик, адреса этих нейронов и, следовательно, сами нейроны должны быть линейно упорядочены в соответствующих модулях (картах), образуя количественные (интервальные, метрические) либо качественные (порядковые, неметрические, дихотомические и недихотомические) шкалы значений данных характеристик. Тогда модуль разности двух адресов нейронов-детекторов, упорядоченных на количественной шкале, может определять значение производной количественной характеристики. Подобная упорядоченность нейронов рассматривалась, например, в работах Е.Н. Соколова и С. Зеки в процессе исследования системы восприятия цвета [32].

Последовательный процесс формирования производных характеристик моделирует нейропсихологический процесс активного восприятия распознаваемых образов - активный перцептивный акт, изучению которого посвящено множество научных исследований А.Л. Ярбуса, А.Р. Лурия, Е.Д. Хомской и др. Существенную роль в данном процессе играет система внимания, которая фиксирует фокус внимания и зрительный фокус на структурных элементах изображения - критических точках, которые являются наиболее информативными и потому критически важными для распознавания. Производные характеристики именно этих критических точек и будут сравниваться нейронами-анализаторами [33].

Предположим, что выбор двух структурных критических точек для осуществления сравнения значений их характеристических мод и получения значения производной характеристики осуществляется системой внимания случайным образом. Следовательно, значения пространственных индексов  $I$  мод производных характеристик уже не может использоваться в качестве базы связности для этих мод. Однако так как выбор любых двух критических точек осуществляется последовательно, то в качестве базы связности могут использоваться новые информационные элементы в структуре реакции нейрона - последовательные метки фокуса внимания  $M_k(t_{ex})$ , которые формируются системой внимания в процессе активного перцептивного акта и размещаются (инкапсулируются) в структуре пространственного индекса  $I$  в течение времени экспозиции образа  $t_{ex}$ . В этом случае пространственный индекс  $I(h_{ij})$   $i$ -й производной характеристической моды  $h_{ij}$ , принадлежащей модальной группе  $j$ -й структурной моды  $x_j$  концепта вторичного (производного) структурного нейрона-детектора, будет иметь следующую структуру:

$$I(h_{ij}) = (W_{j*k}^i(x_j), M_k(t_{ex})), \quad (22)$$

где индекс пространственного окна, в котором нахо-

дится данный структурный элемент –  $W_{j^*k}^i(x_j)$ , а  $M_k(t_{ex})$  – метка фокуса внимания с индексом последовательности  $k$  во временном интервале экспозиции  $t_{ex}$ .

Тогда две последовательные метки  $I(M_k(t_{ex}))$  и  $I(M_{k+1}(t_{ex}))$  будут определять связность соответствующих мод производных характеристик, и эта связность будет реализована в виде производной характеристической моды  $mod(h'_{jl})$ :

$$\left[ mod(h_{ij}) \langle I(M_k(t_{ex})) \rangle, mod(h_{il}) \langle I(M_{k+1}(t_{ex})) \rangle \right] \rightarrow \rightarrow \exists e_{i\ell} \rightarrow mod(h'_{i\ell}) \langle I(M_k(t_{ex}), M_{k+1}(t_{ex})) \rangle, \quad (23)$$

где  $mod(h_{ij})$  –  $i$ -ая характеристическая мода, принадлежащая модальной группе  $j$ -й структурной моды;  $mod(h_{il})$  –  $i$ -ая характеристическая мода, принадлежащая модальной группе  $l$ -й структурной моды (равенство индексов  $i$  определяет, что данные характеристические моды относятся к одному и тому же типу характеристики);  $I(M_k(t_{ex}))$  – пространственный индекс характеристической моды с  $k$ -й меткой фокуса внимания;  $I(M_{k+1}(t_{ex}))$  – пространственный индекс характеристической моды с  $k+1$ -й меткой фокуса внимания;  $\exists e_{i\ell}$  – существование отношения пространственной связности  $j$ -й и  $l$ -й характеристических мод;  $mod(h'_{i\ell}) \langle I(M_k(t_{ex}), M_{k+1}(t_{ex})) \rangle$  – производная характеристическая мода  $h'_{jl}$  с пространственным индексом, состоящим из меток  $M_k(t_{ex})$  и  $M_{k+1}(t_{ex})$ .

Графически связность этих производных характеристических мод через сформированную производную характеристическую моду  $h'_{jl}$  в концепте производного структурного нейрона-детектора можно представить в виде следующего графа (рис. 11).

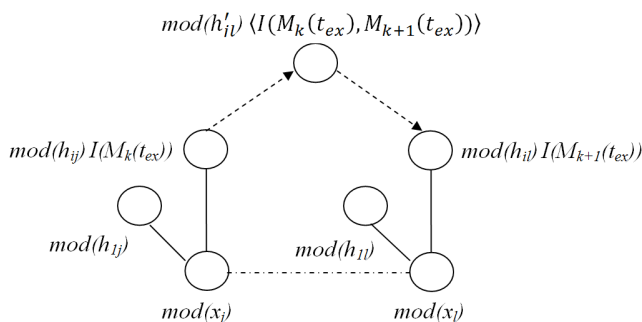


Рис. 11. Граф связности производных характеристических мод  $mod(h_{ij})$  и  $mod(h_{il})$ , соответствующих структурных мод  $mod(x_j)$  и  $mod(x_l)$ , а также производной характеристической моды  $mod(h'_{jl})$  в структуре концепта

Связность производных характеристических мод с производной модой является направленной и обозначена на рис. 11 в виде дуг, что определяет свойство антисимметричности в отношении порядка производных характеристических мод, который, в свою очередь, определяется последовательностью

меток фокуса внимания. Направленность этих дуг формирует сильную связность рассмотренных мод.

Производные характеристики, сформированные в результате сравнения производных характеристик, могут быть:

- количественными, значения которых определяются модулями разности адресных составляющих реакций пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик:

$$mod(h'_{jl}) = f | y_j(a) - y_l(a) |, \quad (24)$$

где  $mod(h'_{jl})$  – значение количественной производной характеристической моды. Это значение определяется как результат детектирования (функция  $f$ ) нейроном-детектором реакции нейрона-анализатора, осуществляющего сравнения значений адресных составляющих  $y_j(a)$  и  $y_l(a)$  реакций  $j$ -го и  $l$ -го пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик, связанных по меткам фокуса внимания, и определения модуля разности этих значений;

- качественными, значения которых определяются отношениями строгого порядка либо тождества адресных составляющих реакций пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик:

$$mod(h'^{*}_{jl}) = f(y_j(a) * y_l(a)), \quad (25)$$

где  $mod(h'^{*}_{jl})$  – значение качественной производной характеристической моды. Это значение получено в результате детектирования (функция  $f$ ) нейроном-детектором реакции нейрона-анализатора, осуществляющего сравнения значений адресных составляющих  $y_j(a)$  и  $y_l(a)$  реакций  $j$ -го и  $l$ -го пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик, связанных по меткам фокуса внимания, и установления отношения  $*$ : строгого порядка " $>$ ", " $<$ " либо равенства " $=$ " между этими значениями.

Таким образом, реакции  $y_j(a)$  и  $y_l(a)$  нейронов-детекторов производных характеристик, связанные по меткам фокуса внимания, одновременно поступают на входы нейронов-анализаторов двух типов: количественных и качественных производных характеристик.

Количественные отношения адресных составляющих  $y_j(a)$  и  $y_l(a)$  являются инвариантными относительно их конкретных значений, т.е. одному значению количественной производной характеристической моды  $mod(h'_{jl})$  может соответствовать множество значений производных характеристик. Следовательно, для значения количественной производной моды в структуре концепта вторичного (производного) структурного нейрона-детектора уже не имеет значения порядок следования меток фокуса внимания в структуре связанных с ней мод производных характеристик. Т.е. метки фокуса внимания нужны для связности значений производных характеристик на этапе формирования значения производной характеристики и на этапе установления связности производных мод с образованной производной модой в структуре концепта вторичного структурного нейрона-детектора. Одна-

когда связность данных мод в процессе обучения уже установлена и эти моды активированы входными сигналами, порядок следования меток фокуса внимания и даже сами метки уже не имеют значения. Это обстоятельство позволяет вообще отказаться от формирования значений производных характеристик после того как были сформированы в процессе обучения соответствующие моды концепта вторичного структурного нейрона-детектора.

Качественные отношения адресных составляющих  $y_j(a)$  и  $y_i(a)$  являются инвариантными относительно их количественного значения и, следовательно, качественные моды еще более устойчивы (менее подвержены модификации в процессе обучения) в концепте структурного нейрона-детектора, чем количественные моды. Т.е., значение одной качественной производной моды  $\text{mod}(h_{ji}^{*'})$  будет определять связность пар множества значений количественных производных мод, если между ними в процессе анализа будет установлено соответствующее отношение порядка. Это говорит о том, что именно качественные моды определяют наиболее существенные (наиболее глубокие или сильные) признаки образов, относящихся к одному классу распознавания. Тогда, ориентированность дуг связности производной характеристической моды  $\text{mod}(h_{ji}')$  в структуре концепта на рис.11 имеет значение только для качественной моды  $\text{mod}(h_{ji}^{*'})$ , т.к. для количественной производной характеристической моды эта связность имеет свойство симметричности.

Как уже отмечалось, к качественным отношениям порядка относятся отношения типа: ">", "<", "=", либо другие типы отношений, которые характеризуют упорядоченность адресных составляющих нейронов-детекторов производных характеристик на определенной качественной шкале. Для объектов КМ этими отношениями могут быть отношения между биполярными значениями производных качественных характеристик, которые определяются в процессе активного перцептивного акта. Например, изменение направления ориентации отрезков при выбранном направлении обхода контура изображения "по часовой стрелке" либо "против часовой стрелки" формируют значения производных биполярных характеристик - выпуклость либо вогнутость элементов контура изображения и всего изображения (контура) в целом.

Данные качественные биполярные отношения являются либо симметричными, как например отношение равенства "=", либо зеркально симметричными (антисимметричными), как отношения строгого порядка ">" либо "<". Свойство зеркальной симметрии в отношениях строгого порядка может быть отражено следующим выражением:

$$\forall a,b: aRb=b\check{R}a, \quad (26)$$

где  $a,b$  – значения сравниваемых параметров;  $R$  – отношение строгого порядка;  $\check{R}$  – противоположное  $R$  - зеркальное отношение строгого порядка.

Это говорит о том, что для данных видов отношений не имеет значения порядок следования меток фокуса внимания, связывающих сравниваемые параметры, в данном случае – значения производных характеристик. Тогда, после того как в процессе обучения структурного нейрона-детектора, сопровождающегося последовательным активным перцептивным актом, будет сформирована качественная производная характеристическая мода, определяющая ориентированное отношение связности производных характеристических мод (рис.11), необходимости в детектировании значения данной моды в процессе последующего параллельного восприятия уже не будет.

Рассмотренный характер количественных и качественных производных мод в структуре концепта производного структурного нейрона-детектора говорит о том, что данные моды могут быть ассоциативными, т.е переходить в активное состояние в моменты параллельного восприятия (моменты распознавания хорошо знакомых образов, что не связано с процессом активного восприятия) даже без формирования входных сигналов - значений производных характеристик.

Введем следующее определение.

*Определение 11.* Ассоциативной модой  $A\text{mod}(h_{ij})$  концепта производного структурного нейрона-детектора называется количественная либо качественная производная характеристическая мода, для активизации - прямого возбуждения которой необходимо и достаточно только возбуждения связанных с ней метками фокуса внимания, в процессе обучения и в моменты времени активного перцептивного акта, соответствующих производных характеристических мод.

Так как  $A\text{mod}(h_{ij})$  в процессе обучения становится инвариантной относительно конкретных значений связанных с ней производных характеристических мод, то эта мода может принадлежать концепту даже тогда, когда данные производные моды будут выведены (значением весового коэффициента) из структуры концепта.

Итак, рассматриваемая мода будет переходить в активное состояние с прямым, а не ассоциативным возбуждением в моменты времени параллельного восприятия образа (который был ранее запомнен в процессе активного перцептивного акта) даже без поступления на вход данного структурного нейрона-детектора реакции соответствующего пресинаптического характеристического нейрона-детектора, формирующего значение этой производной характеристической моды. Необходимым и достаточным условием возбуждения ассоциативной моды  $A\text{mod}(h_{ij})$  будет только существование во входном векторе сигналов данного нейрона-детектора соответствующих реакций детекторов количественных производных характеристик ( $y_j(a)$  и  $y_i(a)$ ), которые имели связность  $e_{ji}$  в процессе обучения и, возможно, даже вышли из структуры концепта:

$$\exists (y_i(a), y_i(a), e_{ji}) \Rightarrow \overline{A \bmod (h_{ij})}, \quad (27)$$

где  $\overline{A \bmod (h_{ij})}$  – возбужденная ассоциативная производная характеристическая мода.

Существование ассоциативных мод в концепте структурного нейрона-детектора гипотетически может служить информационной моделью активных свойств дендрита и объяснять нейропсихологическое отличие процессов параллельного восприятия уже знакомого образа и последовательного активного перцептивного акта при его первоначальном восприятии, т.е. в процессе обучения.

Так как ассоциативная мода в процессе обучения становится связанной с множеством пар значений производных характеристик, то и ее весовой коэффициент принадлежности концепту  $w_{ik}$  также является связанным с весовыми коэффициентами мод данных характеристик. Кроме того, одна ассоциативная мода может быть связана с множеством структурных мод. Это означает, что  $w_{ik}$  ассоциативной моды меняется в каждый момент времени встречного обучения (при наличии управляющего сигнала обучения  $z$ ) либо самообучения (при возбуждении нейрона-детектора класса распознавания на соответствующей карте детекторов) при изменении весовых коэффициентов любых пар значений мод производных характеристик ее образующих. Множество этих пар значений мод образуют матрицу  $AW$  – память данной ассоциативной моды, по структуре аналогичную матрице весовых коэффициентов  $W$ .

Исходя из типов производных характеристик, формируемых нейронами-анализаторами, определим, что нейроны-анализаторы могут быть двух типов: количественными и качественными.

Реакция количественного нейрона-анализатора определяет модуль разности адресных составляющих реакций пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик. Значение результата сравнения (модуль разности) формирует уровень возбуждения нейрона-анализатора – составляющую его реакции  $y_i(b)$ , которая играет роль не только в процессе  $\alpha$ -конкуренции, но и несет основную информационную нагрузку в качестве "нейронного кода" нейрона-анализатора. Таким образом, нейрон-анализатор может демонстрировать в своей реакции множество уровней возбуждения в отличие от единственного уровня возбуждения конкретного нейрона-детектора производных характеристик. Это определяет универсальность нейрона-анализатора по обработке множества значений одной производной характеристики и позволяет говорить о некоторой аналогии нейронов-анализаторов с градуальными, не спайковыми нейронами (предетекторами базисных признаков) сенсорной системы, в которых значение амплитудного либо частотного сигнала (реакции) зависит от силы раздражителя [34].

Реакция качественного нейрона-анализатора формируется одновременно и в паре с реакцией количественного нейрона-анализатора на основе срав-

нения одних и тех же значений реакций пресинаптических нейронов-детекторов производных характеристик, связанных по меткам фокуса внимания  $M_i$  и  $M_{i+1}$ . Уровень возбуждения качественного нейрона-анализатора  $y_i(b)$  определяет качественные отношения: равенства "=" либо строгого порядка "<", ">" между сравниваемыми величинами. Тогда, для изображений КМ составляющая  $y_i(b)$  реакции качественного нейрона-анализатора может иметь всего три значения:  $b_1, b_2, b_3$ , которые будут соответствовать определенному типу отношений.

Информационная модель нейрона-анализатора имеет следующие особенности:

1. Архитектура связей нейрона-анализатора с пресинаптическими нейронами-детекторами производных характеристик имеет топическую структуру, т.е. связь осуществляется в пределах определенных пространственных окон  $W_i$ . Тогда, пространственный индекс реакции нейрона-анализатора формируется системой внимания таким же образом, как и для нейронов-детекторов производных характеристик и элементов.

2. Функционирование и обучение нейрона-анализатора осуществляется только в моменты активного перцептивного акта, т.е. под управлением сигнала  $z$ , который формируется системой внимания (предположим, произвольного). Тогда, концепт нейрона-анализатора  $Con(an_i)$ , где  $an_i$  –  $i$ -й нейрон-анализатор  $an$  (от англ. analyzer – анализатор), также формируется в процессе активного перцептивного акта и представляет собой память множества пар адресов пресинаптических нейронов-детекторов связанных по меткам фокуса внимания.

Таким образом, детекторный подход предполагает, что в процессе формирования значений характеристик структурных элементов и образа в целом осуществляется последовательное чередование основных информационных составляющих реакций нейроэлементов. Этот процесс представлен на рис. 12.



Рис. 12. Чередование основных информационных составляющих реакций нейроэлементов ДИНС

**6. Архитектура ДИНС.** Особенностью архитектуры ДИНС, концептуально отличающей ее от архитектуры коннекционистских ИНС, является ее взаимосвязь с системой внимания, репрезентатив-



ной системой, последующим (третичным) уровнем обработки визуальной информации и другими системами ДИНС. Обучение ДИНС заключается: в обучении не всех нейронов сети, а только отдельных нейронов-детекторов на вторичном (не топическом) уровне обработки информации, которое реализуется разработанной процедурой встречного обучения; а также в структуризации карт нейронов-детекторов в процессе самообучения ДИНС под управлением нейронов новизны. Нейрон новизны - нейрон нового типа, информационная модель которого также разработана в рамках детекторного подхода.

Под картой нейронов-детекторов будем понимать архитектурно заданное множество нейронов-детекторов одного уровня обработки информации, связанных латеральными тормозными связями, т.е. участвующими в процессе  $\alpha$ -конкуренции. Все нейроны-детекторы (НД) одной карты детектируют образы, принадлежащие одному классу распознавания, например: одной буквы алфавита, либо одной цифре, либо одной геометрической фигуре и др. Структуризация карты заключается в определении значения и места каждого возбужденного НД в формируемой в процессе обучения онтологической структуре детекторов класса распознавания. Структура карты детекторов ДИНС соответствует современным представлениям нейропсихологии о топологии нейронов-детекторов во вторичных зрительных зонах, их возбуждении и взаимодействии в процессе опознавания различных образов [35].

**6.1. Общая структура ДИНС.** Общая структура ДИНС для распознавания изображений КМ представлена на рис. 13, где изображены следующие модули и элементы:

$X_1$  - информация о дистальном стимуле  $X$ , поступающая в сенсорную оптическую подсистему  $A$ ;

$X_2$  - информация о дистальном стимуле  $X$ , поступающая в сенсорную подсистему презентативной системы  $N$ . Этой системой может быть например, звуковая система, моделирующая слуховое восприятие и распознавание;

$A$  - модуль ДИНС, образующий сенсорную оптическую подсистему ДИНС, которая моделирует сенсорную систему зрительного восприятия. Данная подсистема состоит из сенсоров (рецепторов), сгруппированных в сенсорные (рецептивные) поля, имеющие структуру прямоугольных матриц. Эти матрицы образуют окна восприятия  $W_i$ , которые имеют различную размерность;

$I$  - первичный (топический) уровень обработки визуальной информации на котором осуществляется: детектирование производных структурных элементов и их характеристик в подсистеме "Что", а также детектирование пространственных характеристик (формирование пространственных индексов  $I$  в структуре реакций нейронов ДИНС) в подсистеме "Где";

$II$  - вторичный (не топический) уровень обработки визуальной информации на котором осуществляется: формирование производных характеристик распознаваемого образа и его структурных элемен-

тов в результате анализа (сравнения) значений производных характеристик, осуществляемого нейронами-анализаторами; детектирование значений производных характеристик соответствующими нейронами-детекторами; детектирование (распознавание) сложных структур - цельных образов;

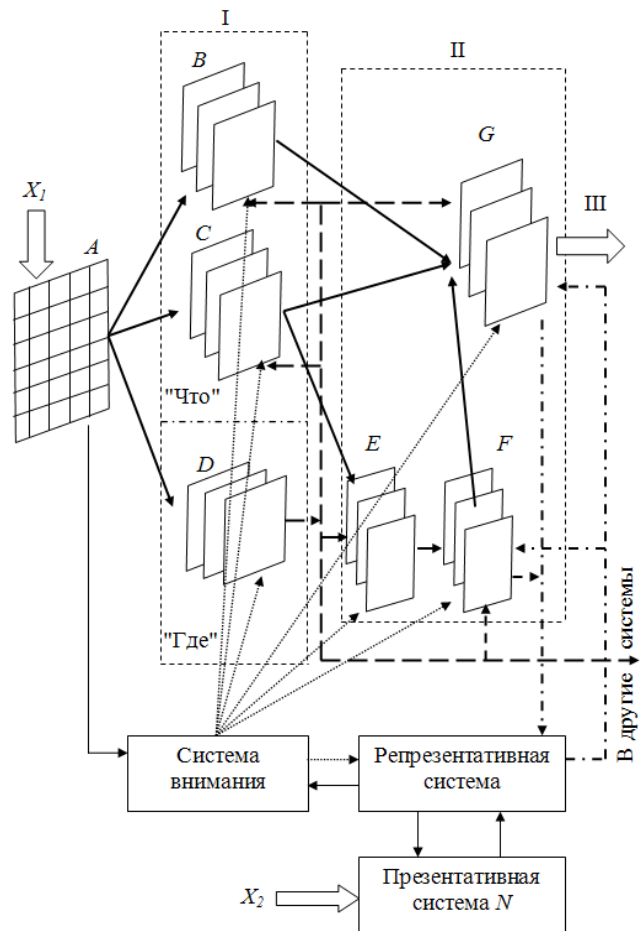


Рис. 13. Общая структура ДИНС

$III$  - третичный (не топический) уровень обработки визуальной информации на котором осуществляется распознавание связанных образов - сцен;

Система внимания. В данной структуре ДИНС система внимания осуществляет моделирование активного перцептивного акта: формирование меток фокуса внимания. Эта система работает под управлением репрезентативной системы ДИНС;

Репрезентативная система (RpS) - система ДИНС, осуществляющая на  $II$  уровне обработки информации реализацию процесса встречного обучения нейронов-детекторов;

Презентативная система  $N$  - презентативная система (PrS) ДИНС, осуществляющая процесс восприятия и распознавания того же дистального стимула  $X$ , но уже с другой сенсорной информацией  $X_2$ . Примером подобной системы может служить звуковая система. Эта система, в данном случае, принимает участие в процессе встречного обучения;

$B$  - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-детекторов производных структурных элементов;

С - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-детекторов непрямых характеристик структурных элементов. Модули В и С образуют подсистему "Что" ДИНС;

Д - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-детекторов пространственного положения стимулов в рецепторном поле восприятия А. Данный модуль образует подсистему "Где" ДИНС;

Е - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-анализаторов, формирующих значения производных характеристик на вторичном уровне обработки визуальной информации;

Г - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-детекторов значений производных характеристик на вторичном уровне обработки визуальной информации;

В - модуль ДИНС, содержащий множество групп карт (плоскостей) нейронов-детекторов производных структур (цельных образов) на вторичном уровне обработки визуальной информации.

Представленная на рис. 13 структура ДИНС функционирует следующим образом.

1. В модуль А и презентативную систему N одновременно поступает информация, соответственно  $X_1$  и  $X_2$ , о дистальном стимуле X, подлежащем распознаванию. Например,  $X_1$  - зрительная информация (зрительный образ),  $X_2$  - звуковая информация (семантический определитель или "имя" образа). Информация  $X_1$  воспринимается сенсорами модуля А и параллельно передается на нейроны-детекторы модулей В, С, Д первичного уровня обработки информации, а также в систему внимания для реализации процесса активной перцепции. Особенностью данного этапа является топическая (ретинотопическая) структура связей сенсоров модуля А и нейронов-детекторов модулей В, С, Д. Информация  $X_2$  воспринимается сенсорами PrS N в которой осуществляется аналогичный процесс обработки информации.

2. В модулях В, С и Д параллельно (синхронно) в результате  $\alpha$ -конкуренции возбуждается группа (ансамбль) нейронов-детекторов, функции и местоположение которых заданы архитектурно (в процессе проектирования). При формировании реакций нейронов-детекторов модулей В и С происходит добавление (инкапсуляция) пространственной составляющей - пространственного индекса I. Значение пространственного индекса I формируется нейронами-детекторами модуля Д.

3. В случае осуществления в ДИНС под управлением системы внимания активного перцептивного акта, система внимания формирует метки фокуса внимания, которые инкапсулируются в структуру пространственного индекса I. Система внимания программирует процесс активного перцептивного акта.

4. Реакции нейронов-детекторов модулей В и С поступают параллельно (синхронно) в процессе пассивной перцепции, либо параллельно-последова-

тельно в процессе активного перцептивного акта, на входы нейронов-детекторов модуля Г вторичного уровня обработки информации. Кроме того, в процессе активной перцепции реакции нейронов-детекторов модуля С также поступают и на входы нейронов-анализаторов модуля Е. В свою очередь, реакции нейронов-анализаторов поступают на входы нейронов-детекторов модуля Г, которые формируют реакции, поступающие далее на входы нейронов-детекторов модуля В. Параллельно-последовательный процесс формирования реакций нейронов на вторичном уровне обработки информации осуществляется в период времени экспозиции  $t_{ex}$ , который определяется системой внимания. Отличительной особенностью процесса взаимосвязи нейронов первичного и вторичного уровней обработки информации, а также взаимосвязи между нейронами на вторичном уровне, является не топический характер связей. В ДИНС эти связи реализуются по архитектуре "общая шина".

5. На вторичном уровне обработки информации реализуется процесс встречного обучения нейронов-детекторов презентативной и репрезентативной систем. Этот процесс заключается в формировании концептов нейронов-детекторов, а также в формировании структуры (топологии) карт (плоскостей) на которых они расположены.

6. Реакции нейронов-детекторов модуля Г передаются на входы нейронов третичного уровня обработки информации III, который, как и модели других систем мозга, в данной работе не рассматривается.

**6.2. Архитектура ДИНС на не топическом (вторичном) уровне обработки информации.** Именно модуль Г содержит структурные нейроны-детекторы, информационные модели и процесс обучения которых были рассмотрены в этой работе. Архитектура данного модуля формируется под управлением нейрона новизны (НН) в процессе встречного обучения и самообучения его НД. Очевидно, что функции НН ДИНС отличаются от функций биологических нейронов новизны. Функции НН ДИНС определены необходимостью реализации детекторной парадигмы построения ИНС, основанной на принципе абсолютной адресации нейронов-детекторов.

Каждый нейрон новизны управляет процессом обучения и структуризации своей карты нейронов-детекторов (рис. 14). Каждая подобная карта реагирует только на цельные образы, принадлежащие одному классу распознавания, например: конкретной геометрической фигуры, отдельному символу алфавита, лицу человека (в том числе лицу конкретного человека) и т.д. Таким образом, количество карт НД - кластеров соответствует количеству классов распознавания образов. Каждый НН и, соответственно, каждая карта НД связывается определенным сигналом встречного обучения  $z$ , поступающим из PrS. Для карты нейронов-детекторов модуля Г, изображенной на рис. 14, это сигнал  $z_1$ .

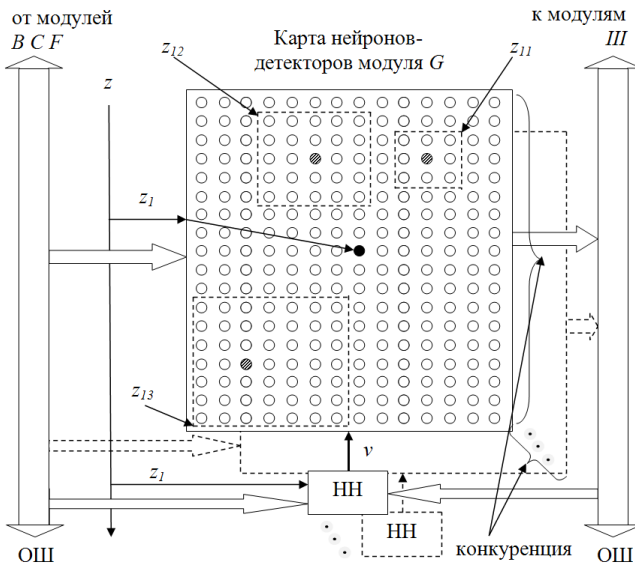


Рис. 14. Архитектура карты нейронов-детекторов модуля G

Рассмотрим процесс формирования архитектуры одной карты нейронов-детекторов модуля G и моменты функционирования нейрона новизны, управляющего процессом структуризацией данной карты. Данный процесс уточняет процедуры встречного обучения и самообучения.

1. Если в карте НД нет ни одного обученного нейрона-детектора. В этом случае при поступлении первого сигнала обучения  $z_1$  синхронно с входным вектором сигналов X в период времени экспозиции образа  $t_{ex}$ , НН запоминает сигнал  $z_1$  в своем блоке памяти, т.е. происходит "захват" НН, его связывание с соответствующим нейроном-детектором RpS ДИНС. После этого, НН генерирует сигнал "захвата"  $v$  нейрона-детектора своей карты. Данный сигнал содержит адрес нейрона-детектора подлежащего "захвату". Первым "захваченным" нейроном-детектором будет центральный детектор карты (на рис.14 изображен черной точкой). Этот нейрон запоминает входной вектор X ( $X=Con$ ) и сигнал обучения  $z_1$  (происходит связывание данного НД с соответствующим НД RpS ДИНС). В дальнейшем именно этот нейрон-детектор будет подвергаться обучению (будет корректироваться его концепт) и он станет нейроном-детектором класса распознавания или НД кластера (от англ. cluster - скопление, рой). Определение адресов НД, подлежащих "захвату" происходит случайным образом. Этим процессом управляет блок захвата в информационной модели нейрона новизны.

2. Если в карте уже есть обученные НД и в процессе встречного обучения в период времени экспозиции образа  $t_{ex}$  параллельно с входным вектором сигналов X приходит сигнал  $z_{1i}$ , который принадлежит классу сигналов обучения  $z_1$  (что определяется по значению адресной составляющей сигнала  $z_{1i}$ ) но не совпадает с ранее запомненным, и обученные НД данной карты не реагируют (несовпадение X с Con), то НН также запоминает этот сигнал в блоке Z и, ге-

нерируя соответствующий сигнал  $v$ , "захватывает" свободный нейрон-детектор карты, который будет обучаться и является центром определенной свободной зоны карты - подкластера (на рис. 14 эти нейроны, связанные сигналами  $z_{11}$ ,  $z_{12}$ ,  $z_{13}$ , изображены заштрихованными кружками, а зона подкластера выделена пунктирной линией). Данные нейроны будут детекторами подкласса распознавания образов и обучаться также, как НД кластера (см. п.1).

3. Если в карте уже есть обученный НД и в период времени экспозиции образа  $t_{ex}$  параллельно с ранее запомненным сигналом  $z_{1i}$  приходит входной вектор X, связанные структурные моды которого соответствуют концепту Con данного НД, а характеристические моды отличаются от ранее запомненных, то данный НД возбуждается и происходит его встречное обучение, заключающееся в корректировке его концепта Con. Кроме того, НН сравнивает суммы водных сигналов  $x_i \in X$  с актуальной реакцией (уровнем возбуждения  $y(b)$ ) возбужденного НД (см. выражение (28)) и, в случае  $\sum_{i=1}^k x_i > y(b)$ , "захватывает" ближайший к возбужденному НД свободный нейрон. "Захваченный" НД будет детектором примера распознавания с Con, соответствующим входному вектору X. Данный НД не будет связан с сигналом  $z_{1i}$  и его концепт, в дальнейшем, не будет модифицироваться. Очевидно, что в этом случае количество НД примеров распознавания будет велико. Для оптимизации структуры карты необходимо удалить те НД примеров распознавания, которые были возбуждены только один раз или были возбуждены достаточно давно. Для этой цели необходимо использовать механизм "забывания" [29].

4. Если в карте уже есть обученные НД и в период времени экспозиции образа  $t_{ex}$  параллельно с ранее запомненным сигналом  $z_{1i}$  приходит входной вектор X, но обученные НД данной карты не реагируют (несовпадение X с Con), то НН "захватывает" ближайший свободный нейрон к НД кластера (подкластера), связанного данным сигналом обучения. "Захваченный" НД будет альтернативным детектором данного класса (подкласса) распознавания, который также будет связан сигналом  $z_{1i}$  и его концепт также может модифицироваться в процессе встречного обучения.

5. Если в карте уже есть обученные НД и сигнал обучения  $z_1$  не поступает, но поступает входной вектор сигналов X, на который реагирует хотя бы один детектор карты, то НН осуществляет сравнение суммы водных сигналов  $x_i \in X$  с актуальной реакцией кластера - уровнем возбуждения  $y(b)$  победившего НД:

$$\sum_{i=1}^k x_i * y(b), \quad (28)$$

где \* - оператор сравнения.

Возбуждение хотя бы одного НД карты свидетельствует о принадлежности входного стимула

классу распознавания данной карты. В этом случае возможны три результата сравнения:

$$a) \sum_{i=1}^k x_i > y(b);$$

$$b) \sum_{i=1}^k x_i < y(b);$$

$$c) \sum_{i=1}^k x_i = y(b).$$

В случае а) происходит самообучение ДИНС, заключающееся в "захвате" НН нового нейрона-детектора примера класса распознавания - ближайшего свободного нейрона к возбужденному НД. При самообучении не происходит корректировка концептов, а только структуризация карты детекторов.

В случае б) происходит распознавание входного вектора сигналов с учетом возбуждения ассоциативных мод концепта НД либо ассоциативное возбуждение НД при неполном входном векторе X.

В случае с) происходит прямое распознавание входного вектора сигналов.

Таким образом, корректировка концептов НД кластера или подкластера осуществляется только в процессе встречного обучения при наличии управляющего сигнала  $z_i$ , а при его отсутствии, при условии  $\sum_{i=1}^k x_i > y(b)$ , происходит самообучение ДИНС, заключающееся в "захвате" и обучении НД примера класса распознавания. Концепт НД примера класса распознавания оказывается несвязанным с сигналом обучения  $z_i$ , что не позволяет осуществить его встречное обучение.

6. Если в карте уже есть обученный НД и поступает ранее запомненный и связанный с данным НД сигнал обучения  $z_1$ , но входной вектор сигналов X не поступает, то происходит ассоциативное возбуждение данного НД. НН не участвует в данном процессе.

## Заключение

Таким образом, детекторный принцип построения ИНС, являясь альтернативой коннекционистской парадигме, позволяет комплексно решить большинство указанных проблем данной парадигмы и построить биологически мотивированную ДИНС, которая также обладает рядом технических преимуществ по сравнению с современными коннекционистскими ИНС.

Для практической проверки основных положений, методов и процедур детекторного принципа построения ДИНС и определения технических характеристик сети было осуществлено построение программной модели ДИНС (карт детекторов ее вторичного уровня) и проверка ее эффективности при распознавании изображений рукописных цифр базы MNIST [36]. Выбор данной базы изображений был обусловлен тем, что основные положения детекторного принципа рассматривались применительно к распознаванию объектов "Контурного

мира" к которым могут быть отнесены и рукописные цифры. Кроме того, данная библиотека традиционно используется для анализа и сравнения различных ИНС.

Символы библиотеки были подвергнуты предварительной обработке: скелетизации отрезками прямых с выделением структурных критических точек и векторизации отрезков с определением точек "захвата" контура и направлений обхода контура изображения. В ходе предварительной обработки и имитации встречного обучения ДИНС была реализована модель активного перцептивного акта, а в ходе тестирования - модель параллельного распознавания. Результаты программного моделирования на языке Python показали, что для обучения нейронов-детекторов вторичного уровня обработки ДИНС достаточно только одной эпохи обучения, при этом количество ошибок распознавания на тестовой выборке из 10000 символов составляет 34 (0,34%), что сопоставимо с одними из лучших результатов распознавания символов библиотеки, продемонстрированных 6-уровневой сетью (784-40-80-500-1000-2000-10) и глубокой сверточной сетью (1-20-40-60-80-100-120-120-10) [36]. При этом общее количество возбужденных нейронов-детекторов вторичного уровня по всем 10 картам составило 249 детекторов.

## Список литературы

1. Хайкин С. *Нейронные сети. Полный курс*. Изд. 2. М.: Изд. дом "Вильямс", 2006, -1104 с.
2. Уоссерман Ф. *Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика*. М: 2006. 184 с.
3. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского*. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
4. Desai N.S, Rutherford L.C, Turrigiano G.G. *Plasticity in the intrinsic excitability of cortical pyramidal neurons*. *Nat Neurosci* 2. P. 515-520.
5. Izhikevich E.M. *Simple model of Spiking Neurons*, *IEEE Transactions on neural networks*, 2003, vol. 14, no. 6, 1569-1572.
6. Citri A., Malenka R.C. *Synaptic Plasticity: Multiple Forms, Functions, and Mechanisms // Neuropsychopharmacology*. - 2008. Т. 33, № 1. - С. 1-24.
7. Meyer D.; Bonhoeffer T.; Scheuss V. (2014). *Balance and Stability of Synaptic Structures during Synaptic Plasticity*. *Neuron*. 82 (2): 430-443. doi:10.1016/j.neuron.2014.02.031.
8. *Психофизиология. Учеб. Для вузов под ред. Ю.И. Александрова*. - С.Пб: Пупер, 2012. - 464 с.
9. Schmidhuber J. (1993). *Habilitation thesis, TUM, 1993. Page 150 ff demonstrates credit assignment across the equivalent of 1,200 layers in an unfolded RNN*. [ftp://ftp.idsia.ch/pub/juergen/habilitation.pdf](http://ftp.idsia.ch/pub/juergen/habilitation.pdf)
10. Хьюбел Д. *Глаз, мозг, зрение*. М.: Мир. 1990. 239 с.
11. Лурия А.Р. *Основы нейропсихологии*. М.: Академия, 2006. 384 с.
12. Бехтель Э.Е., Бехтель А.Э. *Контекстуальное опознание*. СПб.: Пупер, 2005. 336с.
13. Goodale M. A., Milner A.D. *Separate pathways for perception and action*. *Trends in Neuroscience Vol.15* (1), 1992: P. 20-25. DOI:10.1016/0166-2236(92)90344-8.

14. Ungerleider LG, Mishkin M. Two Cortical Visual Systems // *Analysis of Visual Behavior* / Ingle DJ, Goodale MA and Mansfield RJW. — MIT Press, 1982. — P. 549–586.
15. Driver J., Davis G., Russell C., Turatto M., Freeman E. Segmentation, attention and phenomenal visual objects // *Cognition*. 2001. Vol.80, № 1-2. P.61-95.
16. Бабенко В.В. Механізми зрительної сегментації. Дисертація на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.13, Физиология. Ростовский Государственный университет. Ростов-на-Дону. 2001, 261 с.
17. Нейропсихология.: Хрестоматия 3-е изд. /Под ред. Е. Д. Хомской – СПб.: Питер, 2010. – 992 с.
18. Losonczy A., Makara J.K., Magee J.C. (2008). Compartmentalized dendritic plasticity and input feature storage in neurons. *Nature* 452 (7186): 436–441. DOI:10.1038/nature06725.
19. Rall W. Theoretical significance of dendritic trees for neuronal input-output relations. // *Neural Theory and Modeling: Proceedings of the 1962 Ojai Symposium*. — Stanford University Press. — P. 73–97.
20. Chitwood R.A., Hubbard A., Jaffe D.B. (1999). Passive electrotonic properties of rat hippocampal CA3 interneurons. *The Journal of Physiology* 515 (3): 743–756. DOI:10.1111/j.1469-7793.1999.743ab.x.
21. Markram H., Sakmann B. (May 24, 1994). Calcium transients in dendrites of neocortical neurons evoked by single subthreshold excitatory postsynaptic potentials via low-voltage-activated calcium channels. *PNAS*: 5207–5211.
22. Chen W.R., Midgaard J., and Shepherd G.M. (1997). «Forward and Backward Propagation of Dendritic Impulses and Their Synaptic Control in Mitral Cells». *Science* 278 (5337): 463–467. DOI:10.1126/science.278.5337.463.
23. Martina M., Vida I., and Jonas P. (2000). Distal Initiation and Active Propagation of Action Potentials in Interneuron Dendrites. *Science* 287 (5451): 295–300. DOI:10.1126/science.287.5451.295.
24. Raastad M., Lipowski R. (1996). Diversity of Postsynaptic Amplitude and Failure Probability of Unitary Excitatory Synapses between CA3 and CA1 Cells in the Rat Hippocampus. *European Journal of Neuroscience* 8 (6): 1265–1274. DOI:10.1111/j.1460-9568.1996.tb01295.x.
25. Bartels, A.; Zeki, S. (Jul 2006). The temporal order of binding visual attributes. (PDF). *Vision Res* 46 (14): 2280–6. doi:10.1016/j.visres.2005.11.017.
26. Singer W. (2007). "Binding by synchrony". *Scholarpedia* 2 (12): 1657. doi:10.4249/scholarpedia.1657.
27. Principles of neural coding. Edited by Rodrigo Quiñan Quiroga, Stefano Panzeri. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2013, 663 p.
28. Паржин Ю.В. Модель презентативной подсистемы формальной системы интеллектуального типа Системы обработки информации. — Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2009. — Вып.6 (80). — С. 2–12.
29. Паржин Ю.В. Модально-векторная теория формальных интеллектуальных систем. Основные определения. Системы обработки информации. — Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2011. — Вып.8 (98). — С. 2–12.
30. Parzhin Y. Hypotheses of neural code and the information model of the neuron-detector [Electronic resource] / Y. Parzhin // *ScienceOpen Research – Section: SOR-COMPSCI*, - Access mode: DOI: 10.14293/S2199-1006.LSOR-COMPSCI.AP5TO7.v1, 2014.
31. Инюшкин А. Н., Мистрюгов К. А. Особенности спайковой активности нейронов супрагизматического ядра. Вестник Самарского государственного университета. Выпуск № 3 (104) / 2013, с. 146-152.
32. Данилова Н.Н. Психофизиология: Учебник для вузов. — М.: Аспект Пресс, 2004. — 368 с. — (серия "Классический университетский учебник"), Zeki, S. (1984). The construction of colours by the cerebral cortex. *Proc. Roy. Inst. Gt. Britain* 56:P. 231-257.
33. Демидов В.Е. Как мы видим то, что видим. М.: Знание, 1979. 208 с.
34. Ваграмян З.А. Осцилляторная нервная сеть в закрытых системах мозга. Вестник РАУ, Серия физико-математической и естественной науки, №1, 2008, С. 102-107.
35. Leopold D.A., Bondar I.V., Giese M.A. Norm-based face encoding by single neurons in the monkey inferotemporal cortex. *Nature*, Vol 442|3, Nature Publishing Group, 2006, P. 572-575, doi:10.1038/nature04951.
36. LeCun Y., Cortes C., Burges C. MNIST handwritten digit database <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>.

Надійшла до редколегії 19.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ДЕТЕКТОРНИЙ ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА КОННЕКЦІОНІСТСЬКІЙ ПАРАДИГМИ

Ю.В. Паржин

Штучні нейронні мережі (ШНМ) є неадекватними біологічним нейронним мережам. Ця неадекватність проявляється у використанні застарілої моделі нейрону та коннекціоністській парадигмі побудови ШНМ. Результатом даної неадекватності є існування множини недоліків ШНМ та проблем їхньої практичної реалізації. В статті пропонується альтернативний принцип побудови ШНМ. Цей принцип отримав назву детекторного принципу. Основою детекторного принципу є розгляд властивості зв'язності вхідних сигналів нейрону. У даному принципі використовується нова модель нейрону-детектору, новий підхід до навчання ШНМ - зустрічне навчання та новий підхід до формування архітектури ШНМ.

**Ключові слова:** штучні нейронні мережі, модель нейрона, детекторний принцип, зв'язність.

## DETECTIVE PRINCIPLE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS CONSTRUCTION AS ALTERNATIVE OF THE CONNECTIONIST PARADIGME

Yu.V. Parzhin

Artificial neural networks (ANN) are inadequate to biological neural networks. This inadequacy is manifested in the use of the obsolete model of the neuron and the connectionist paradigm of constructing ANN. The result of this inadequacy is the existence of many shortcomings of the ANN and the problems of their practical implementation. The alternative principle of ANN construction is proposed in the article. This principle was called the detector principle. The basis of the detector principle is the consideration of the binding property of the input signals of a neuron. A new model of the neuron-detector, a new approach to teaching ANN - counter training and a new approach to the formation of the ANN architecture are used in this principle.

**Keywords:** artificial neural networks, neuron model, detector principle, connectivity.

УДК 004.623

В.А. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## МОБИЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА «МУЛЬТИКОПТЕР–СЕНСОРНАЯ СЕТЬ» В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ BIG DATA

*В работе рассматривается проблема хранения больших и сверхбольших объемов данных (Big Data) для их дальнейшей передачи, обработки и анализа. Источником данных является мобильная подсистема «Мультикоптер - сенсорная сеть». Проанализированы сценарии применения таких подсистем и их составляющие. Выработаны требования к системе хранения данных на основе характеристик сенсорной сети и системы передачи данных мультикоптерами. Приведено описание структуры системы хранения данных, ее основных компонент и предложен кортежный подход к хранению гетерогенных телеметрических данных. Обоснована необходимость применения трехзвенной архитектуры компьютерной системы хранения больших объемов данных, полученных из сенсорных сетей. Предложены варианты широко распространенных программных продуктов для практической реализации данной архитектуры.*

**Ключевые слова:** система хранения данных, big data, мультикоптер, сенсорная сеть, гетерогенные телеметрические данные, трехзвенная архитектура.

### Введение

На сегодняшний день синергия робототехники и информационных технологий стала результатом появления мультикоптерных систем. Такие системы обладают рядом преимуществ, например, высокая мобильность, маневренность, относительная дешевизна, способность осуществлять транспортировку грузов, вести фото- и видеосъемку и др. Наличие программно-аппаратной платформы и датчиков различного рода позволяет сказать, что возможности и сфера применения мультикоптеров ограничены только возможностью создать соответствующее программное обеспечение для реализации той или иной задачи.

Находят свое применение мультикоптеры и в создании мобильных систем передачи данных, в том числе, когда создание стабильного высокоскоростного канала связи невозможно либо сопряжено со значительными техническими трудностями, или же попросту нерентабельно. Подобные решения обусловлены задачами мониторинга природной среды, экологическим контролем водных ресурсов, отслеживанием сейсмической активности поверхности земли, выявлением лесных пожаров и т.д. [1]. Принимая во внимание, что в мировой практике при разработке мобильной системы передачи данных, основными требованиями являются: быстрая развертываемость, автономность, гарантированная доставка и хранение данных, остается актуальной тематика создания компьютерной системы хранения больших и сверхбольших объемов данных (Big Data) в мобильной подсистеме «мультикоптер-сенсорная сеть». Под сенсорной сетью в данном случае понимается набор одинаковых либо различных сенсоров (датчиков), распределенных по неко-

торой поверхности, являющейся объектом исследования. Датчики объединены между собой в единую сеть, которая позволяет фиксировать их показания одновременно. В случае отсутствия возможности периодического снятия собранных данных, они накапливаются до заполнения устройства хранения либо же перезаписываются поверх наиболее старых данных. Такой вариант используется в том случае, когда наибольшую ценность представляют только что собранные данные.

**Анализ публикаций.** На протяжении последних лет были опубликованы статьи, в которых рассматриваются вопросы передачи и обработки данных с использованием технических средств и последующим хранением Big Data. В работе [2] проводится анализ алгоритмов кластеризации датчиков в сенсорных сетях для достижения энергоэффективности и масштабирования таких сетей. В работе [3] рассматриваются текущие активные направления исследований относительно популярного направления Big Data; в частности, вопросам сбора, передачи и хранения информации уделено особое внимание, поскольку они напрямую определяют, насколько эффективной будет результирующая система. Структура хранения данных имеет фундаментальное значение для их последующей обработки и анализа, поскольку напрямую влияет на надежность хранения данных и скорость выполнения вычислительных, статистических, Data Mining алгоритмов и др. В работе [4] проводится подробный анализ эффективности передачи данных между мультикоптерами. В частности, выдвигается утверждение, что вследствие движения мультикоптеров структура компьютерной сети постоянно изменяется. Для эффективного обмена данными должно происходить постоянное обновление информации о состоянии каждого из мультикоптеров в группе, их положение относительно

друг друга и системы хранения данных. В результате исследований было проведено моделирование процессов обмена локальными данными внутри группы мультикоптеров про ее состояние и состав. Авторами сделаны предположения про возможность использования такого решения для создания комплексного решения распределенного сбора данных.

В работе [5] рассматривается архитектура комбинированной виртуально-материализованной среды интеграции неоднородных коллекций данных различного вида (структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных). Растущая популярность использования слабоструктурированных баз данных (в различных видах NoSQL) наряду с реляционными базами, в совокупности с технологиями Hadoop и MapReduce, обеспечивающими параллельную обработку больших массивов слабоструктурированных данных, объясняется множеством фактических и потенциальных применений. Среди них - сенсорные сети, производственные и корпоративные приложения и пр. Такие компьютерные системы требуют использования данных, которые с трудом поддаются частичной структуризации. Разработка подхода к хранению больших данных с возможностью ее дальнейшей обработки является активно развивающимся направлением исследований.

### Постановка задачи исследования

Одним из основных параметров компьютерной системы является пропускная способность, то есть, соотношение объема переданных данных к времени их передачи. Если процедуру сбора данных с сенсорной сети и передача их в пункт сбора можно линейно масштабировать, увеличив количество мультикоптеров, то на конечную систему хранения данных накладываются определенные требования для минимизации задержек сохранения данных и обеспечения их целостности. Особенно критичными такие требования становятся в случае нестабильных внешних условий, которые могут нанести повреждения либо уничтожить любой из компонентов мобильной подсистемы «мультикоптер-сенсорная сеть», будь то набор датчиков, мультикоптер или интерфейс приема данных для хранения. В таком случае скорость передачи данных имеет приоритет, поскольку важно сбросить как можно больший объем данных до момента безвозвратной утери носителя. Корректно спроектированная структура данных позволяет минимизировать время, затрачиваемое на запись данных, обеспечить высокую пропускную способность благодаря возможности распараллеливания операции записи и гарантировать долговременное хранение полученных данных. В статье описывается структура компьютерной системы хранения Big Data в мобильной подсистеме «мультикоптер-сенсорная сеть».

## Короткое описание системы хранения данных в компьютерной системе

В рамках поставленной задачи возможны несколько вариантов моделей функционирования мультикоптера для такой системы:

- мультикоптер является транспортом устройства хранения данных;
- мультикоптер является носителем данных путем их сбора с сенсорной сети через проводной либо беспроводной канал связи;
- мультикоптер является носителем данных путем их сбора через беспроводной канал связи в результате перемещения вблизи устройства передачи данных в сенсорной сети.

В основе компьютерной системы хранения Big Data в мобильной подсистеме «Мультикоптер - сенсорная сеть» лежит трехзвенная архитектура:

- контроллер установления канала связи и получения данных из мультикоптера;
- подсистема буферизации;
- репозиторий данных, в качестве которого выступает база данных (БД).

Функциональная схема взаимодействия звеньев компонентов мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data приведена на рис. 1.

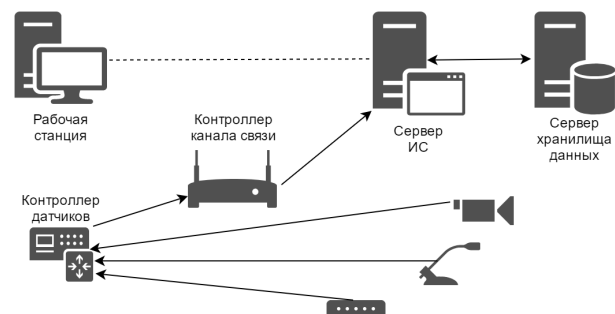


Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия компонентов мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data

Контроллер канала связи представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий:

- набор портов для подсоединения транспортируемого устройства хранения данных (например, твердотельного накопителя, SSD) и зарядки аккумуляторов мультикоптера;
- поддержку технологий IEEE 802.11ac, 802.11ad высокоскоростной беспроводной передачи данных.

Такой контроллер обеспечивает одновременное подключение до 5 мультикоптеров без потери скорости передачи данных по беспроводному каналу.

Подсистема буферизации представляет собой in-меморию хранилище данных, необходимое для

минимизации времени передачи данных в случае использования беспроводного канала связи. Так как подсистема долговременного хранения данных может обладать более низкой скоростью записи, чем канал связи, или же иметь низкую производительность при одновременном обслуживании нескольких потоков данных, то использование высокоскоростного буфера является обязательным условием для обеспечения высокоинтенсивного обмена данными и их целостности.

В качестве такого буфера предлагается использовать NoSQL хранилище типа «ключ-значение», поскольку подобные хранилища оптимизированы для высокоскоростного обмена данными. Дополнительными преимуществами NoSQL хранилищ является простота линейного масштабирования при увеличении нагрузки на систему, а также легкость установки и администрирования. В качестве такого хранилища было выбрано программное приложение Redis. К его недостаткам относится невозможность хранить больше данных, чем объем доступной оперативной памяти, но в данном случае это не является определяющим фактором и согласуется с поставленной задачей.

Для хранения данных, полученных из сенсорной сети, используется реляционная база данных Oracle 11g, которая сочетает в себе:

- простоту использования;
- достаточную функциональность;
- производительность для реализации больших и сверхбольших компьютерных систем.

Мультимедийные данные в виде электронных изображений или видеоданных хранятся непосредственно в файловой системе сервера.

Разработанная структура хранилища (рис. 2) поддерживает хранение следующих видов данных:

- метеорологические данные (облачность  $C$ , направление ветра  $dd$ , состояние почвы  $E$ , скорость ветра  $ff$ , порывы ветра  $G$ , давление  $P$ , осадки  $R24$ , относительная влажность  $RH$ , высота снежного покрова  $SD$ , температура  $T$ , точка росы  $Td$ , температура почвы  $Tg$ ,  $min$  - температура  $Tn$ , температура воды  $Tw$ ,  $max$  - температура  $Tx$ , видимость  $VV$ , погодные условия  $ww$ );
- сейсмические данные (время регистрации волн, сейсмограммы);
- анализ состава воздуха (концентрации газов и примесей);
- фотографии, видеозаписи, аудиозаписи.



Рис. 2. Структура хранилища данных

Облачное резервное копирование является опциональным компонентом, поскольку не для всех видов систем требуется безусловная сохранность собранных данных, по причине их невысокой ценности и нецелесообразности нести дополнительные затраты на хранилище для резервных копий. Тем не менее, поддерживается автоматическое резервирование с обязательным архивированием и шифрованием информации, передаваемой в «облако». В качестве провайдера облачного резервного копирования поддерживается Amazon Web Services S2 для регулярных копий высокой доступности и Amazon Web Services Glacier для долговременного хранения данных, имеющих наибольшую ценность.

Рассмотрим мобильную подсистему «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data как отображение  $M$  временного ряда  $t$  в неупорядоченное множество гетерогенных данных  $S$ , которые были собраны в каждый конкретный момент времени:

$$M=t \rightarrow S; t = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}, \quad (1)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_n$  - дискретное множество моментов времени с шагом  $t_s$ , в которые происходит фиксация измерений датчиков;  $S$  - множество, которое представляет собой набор кортежей разнородных данных:

$$S = \{s_i\}; s_i = \langle MT_i, SM_i, AC_i, PH_i, VD_i, SND_i \rangle, \quad (2)$$

где  $MT_i$  - кортеж метеорологических данных;  $SM_i$  - кортеж сейсмических данных;  $AC_i$  - кортеж данных о составе воздуха;  $PH_i$  - изображение;  $VD_i$  - видеофрагмент;  $SND_i$  - аудиозапись.

Следует отметить, что наличие всех элементов данных для некоторого  $s_i$  не является обязательным условием для его записи в хранилище данных (ХД).

Поддерживается хранение разреженных кортежей, т.е., таких кортежей, в которых отсутствует информация отдельных элементов, но под них выделена память. Это необходимо для поддержки узкоспециализированных сенсорных сетей, содержащих, например, лишь один тип датчиков.

Компьютерная система имеет 2 режима работы:

- штатный режим работы - данный режим является основным режимом функционирования всех подсистем. Этот режим обеспечивает использование предусмотренных средств резервирования для обеспечения балансировки нагрузки между основным и резервным комплектом программно-аппаратных средств;

- аварийный режим работы - полнофункциональная доступность сервисов базовых подсистем обеспечивается полностью за счет предусмотренных средств резервирования. Привлечение средств резервирования, в свою очередь, должно быть следствием одиночного отказа основного комплекта средств программно-аппаратного комплекса.

Предусмотрена подсистема самодиагностики и оповещения о сбоях и неполадках путем мониторинга основных параметров системы, а также сбора



статистики о режимах работы, состоянии мультикоптеров и передаваемых данных.

Для повышения надежности передачи данных рекомендуется зарезервировать внешние каналы связи на физическом уровне и произвести диверсификацию маршрутов передачи данных – рекомендуется использовать несколько независимых каналов связи. Оборудование основного и резервного каналов связи не должно иметь зависимых друг от друга источников электропитания. **Направлениями для дальнейших исследований** является расширение поддержки различных типов данных, реализация модульности системы, разработка математических моделей, методов и методик, позволяющих использовать различные сервисы хранения данных в зависимости от условий применения мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть».

## Выводы

В статье описана структура мобильной подсистеме «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data. Приведена специфика применения и функционирования компонентов подсистемы, различные варианты передачи данных с помощью мультикоптеров, концепция хранения больших массивов данных.

Рассмотрены варианты использования существующего программного обеспечения для реализации рассмотренной архитектуры, в том числе NoSQL - решения в качестве компонента буферизации. Установлено, что облачное резервное копирование позволяет обеспечить сохранность данных в случае возможных ситуаций потери данных.

## МОБІЛЬНА ПІДСИСТЕМА «МУЛЬТИКОПТЕР - СЕНСОРНА МЕРЕЖА» КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ BIG DATA

В.О. Радченко, Д.О. Руденко, В.М. Ткачов, В.В. Токарев

*В роботі розглядається проблема зберігання великих і надвеликих обсягів даних (Big Data) для їх подальшої передачі, обробки та аналізу. Джерелом даних є мобільна підсистема «Мультикоптер - сенсорна мережа». Проаналізовано сценарії застосування таких підсистем та їх складові. Виділені вимоги до системи зберігання даних на основі характеристик сенсорної мережі і системи передачі даних мультикоптерами. Наведено опис структури системи зберігання даних, її основних компонентів і запропонований короткезний підхід до зберігання гетерогенних телеметричних даних. Обґрунтовано необхідність застосування триланкової архітектури комп'ютерної системи зберігання великих обсягів даних, отриманих з сенсорних мереж. Запропоновані варіанти широко поширених програмних продуктів для практичної реалізації даної архітектури.*

**Ключові слова:** система зберігання даних, big data, мультикоптер, сенсорна мережа, гетерогенна телеметрична інформація, трьохланкова архітектура.

## MOBILE SUBSYSTEM "MULTICOPTER - SENSORY NETWORK" IN BIG DATA COMPUTER STORAGE SYSTEM

V.O. Radchenko, D.O. Rudenko, V.M. Tkachov, V.V. Tokarev

*The paper discusses the problem of storing large and very large amounts of data (Big Data) for their further transfer, processing and analysis. The source of the data is the mobile sub-system "Multicopter-sensor network". Scenarios of application of such subsystems and their components are analyzed. The requirements for a data storage system based on the characteristics of a sensor network and a data transmission system by multicopters have been developed. A description of the structure of the data storage system, its main components, and a tuple approach to the storage of heterogeneous telemetry data are proposed. The necessity of using a three-tier architecture of a computer system for storing large amounts of data obtained from sensor networks is substantiated. Variants of widely distributed software products for practical realization of this architecture are offered.*

**Keywords:** data storage system, big data, multicopter, sensory network, heterogeneous telemetry information, three-link architecture.

Спектр возможных областей применения подсистемы достаточно широк, поэтому в каждом конкретном случае возможно внесение корректив и адаптация под текущие условия. Исследования проводились на базе научно- учебной лаборатории 373 кафедры Электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники.

## Список литературы

1. Токарев В.В. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку - Полтава - 2017. - №2(42). – С.154-157.

2. M. Takizawa. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks / International Journal of Space-Based and Situated Computing, Vol.1. DOI: 10.1504/IJSSC.2011.040339.

3. C.L. Philip Chen. Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data / Information Sciences 275 (2014) 314–347.

4. Саваневич В.Е. Метод передачі даних с проміжним збереженням / В.Е. Саваневич, В.Н. Ткачев // Системи обробки інформації: збірник наукових трудов. - Х.: ХУВС ім. Івана Кожедуба, 2014. - Вып. 7 (123). - С. 99-105.

5. С. А. Ступников, А. Е. Вовченко. Комбинированная виртуально-материализованная среда интеграции больших неоднородных коллекций данных // Труды 16-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL-2014, Дубна, Россия, 13-16 октября 2014 г.

Надійшла до редколегії 11.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов., Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

UDC 004.7

Yu.D. Svystunov<sup>1</sup>, N.V. Lukova-Chuyko<sup>2</sup><sup>1</sup> National Technical University "Kharkiv POLYTECHNIC Institute", Kharkiv<sup>2</sup> Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv

## USE OF THE CONCEPT OF FUNCTIONAL RESERVE IN ORDER TO PROVIDE QUALITY ASSURANCE OF WEB SERVICES

Nowadays, it is already not enough for enterprise information system to provides simple automation of informational and computational business problems, a corporate information system must change as quickly as quickly company's business requirements and business processes change. It was one of the main preconditions for the appearance of service oriented architecture, a.k.a. SOA. It is construed as a paradigm of distributed set of functionality, where each of them is represented as a service. The paper describes the main parameters of the quality of such services determined by different standards and offers the concept of functional reserve in order to provide guaranteed services quality when creating an application represented by a composition of services.

**Keywords:** Web service, SOA, quality, conceptual model, web-services provision.

### Introduction

Currently, the success of a business depends strongly on how it is automated and how quickly the company can offer a new service or product to market.

Almost every IT division of a company must have had a task to provide business with uninterrupted IT services. Implementation of traditional solutions for application integration is a challenge that requires significant investment. In addition, during the installation, it is often needed to write the code. In this regard, a problem of developing technology faster and less expensive application integration appeared. SOA, or service-oriented architecture, provides placement of services in the network in the runtime, that allows automating these intensive processes, thereby significantly decreasing all the costs for integration [1].

Also, the basic preconditions for the emergence of SOA include high dynamics of modern business and steadily increasing demands on a constant adaptation of information systems in relation to this dynamic. It is already not enough that information system provides simple automation of informational and computational business problems. It is necessary to strive for the situation when rapidly changing conditions of a business arising from increased competition find the full reflection in an information system, in other words, a corporate information system must change as quickly as quickly company's business requirements and business processes change.

The integration of heterogeneous and distributed data cannot solve all the issues of enterprise management [4]. According to the process approach, the greatest value is not the data itself, but the information use in various business processes of a company. In advanced information systems, it is accepted to consider as "atomic" unit not the raw data, but some service that

meets some elementary business process. In particular, such a service can give some data being analogous to "atomic" unit of classic information systems.

SOA is construed as a paradigm of organization and use of distributed set of features that could be controlled by different owners. The basic concept of this architecture is a notion of information service. Information service is an atomic function of an automated system that is suitable for use while developing applications that implement the business logic of processes that are being automated, both for the system itself and for other automated systems' applications.

The basis of service-oriented architectures is distributed software components (services) provided or used by independent parties. Since access to these components is not limited by the organizations' bounds, it must be supported by explicit contracts of components and by generally accepted standards. This is equally important for the user that service provides not only essential functionality but also other non-functional requirements (speed, security, etc.). Thus, currently, more and more attention is given to the policy of ensuring the quality of service (QoS) [7]. Indicators of the quality of Web-services include providing the necessary level of security, reliability and fault tolerance.

To ensure the security of Web-services the numerous standards and supporting their methods are directed especially: WS-Security, WS-Trust, Extensible Access Control Markup Language (XACML), Security Assertion Markup Language (SAML), etc. [2]. For example, it is safe to use banking services, pay bills and make purchases on the Internet.

Researches in the areas of Web-services and SOA are now focused on the protocols, functionality, transactions, ontologies, composition, semantic Web, and interoperability, but insufficient attention is given to reliability of services.

SOA allows developers to search for services and use services provided by different suppliers. Traditional software reliability is proof of correctness, fault tolerance, formal verification based on models (model checking), testing, evaluation, and etc., that can increase the level of trust for some services. However, developers should recycle these methods to enable their application to provide their use in dynamic applications consisted of linked services at runtime.

Therefore, it is important to develop methods and models of integration and managing services in order to provide guaranteed quality of service in SOA systems.

## 1. Quality of Web services

Considering the main existing SOA systems in terms of management services, it can be concluded that they provide great opportunities monitoring services and alerts the user in different situations. However, they do not provide the quality of service policy management and do not allow end-users to obtain data of services' quality.

The main objective of SOA is ensuring cooperation of various weakly-connected applications. These applications can vary greatly in functionality as well as in non-functional characteristics (performance, reliability, cost, etc.) that must be valid during the time of providing service.

The quality of service (QoS) is one of the main criteria when choosing service instance by the user. In this case, users pay equal attention to both functional and non-functional requirements.

Currently, there are several methods to determine the level of QoS, which can provide a copy of the service. Here are some of them.

WSDL (Web Service Definition Language) is a standard mechanism for WS-Policy Framework identified by the OASIS consortium. Just for this purpose, the UDDI (Universal Description, Discovery, Integration) is widely used.

The use of WS-component is only possible for newly established services. Primarily due to the fact that these components should be embedded in the implementation of the service. At the same time, there are quite a number of services that are based on the technology of SOA but do not use QoS components. Similarly, while using WS-components, the question regarding service modification and changing QoS parameters remains, because the standard does not regulate this process.

An important issue is the control of the stated parameters of QoS, since over time these parameters may change under different kinds of factors. Consequently, a situation may arise when a user requests and receives a service with specific parameters of QoS and in process of use of service these parameters will change.

Each copy of service publishes information about themselves in a single place named UDDI registry using XML-document. This document defines the meta-types

that reflect different aspects of this service (area of destination, the owner, terms of use and different technical parameters (address, the protocol used, the claimed QoS performance)). If there is a necessity of accessing service of a specified type, scanning of all the services registered in UDDI registry is performed in order to choose the service that meets user's requirements. In this case, the question regarding the control of current QoS parameters for compliance with stated remains open as well. There are guidelines under which the owner of the of service should on their own monitor the status of an instance of a service and make changes to the UDDI registry. However, these recommendations have not found practical application.

Thus, it is quite important to identify and control the level of QoS that the specified service instance can provide. Consequently, there is a need to develop methods that will perform monitoring of the state of service instances and pass it to the network management systems.

Terms and concepts in the area of control and evaluation of the quality exactly web-services are not defined by national and international standards. Given the focus of industrial services provided by web services using data-processing systems for various purposes that are part of sophisticated hardware and software, the closest in this subject area and related areas of standardization are:

- 1) GOST 27.002-89 "Reliability engineering. Basic concepts. Terms and definitions";
- 2) GOST 34.003-90 "Information technology. The complex of standards for automated systems. The automated systems. Terms and definitions";
- 3) ISO / IEC 9126-93 "Information technology. Evaluation of software products. Characteristics of the quality and guidance on their application" [3];
- 4) A series of international standards ISO / IEC 25000 - Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuRE).

The consortium OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards) also works on developing the standards regarding information systems. OASIS is the leader in the number of issued standards pertaining to the web services [7].

### 1.1. Indicators by the consortium OASIS standards

Contract of service covers both functional and non-functional aspects of the behavior of a service component. Functional aspects consist of the business semantics of component operations, including its interface and protocol used. Non-functional aspects include technical features of interaction, such as data serialization and protocols QoS.

QoS protocols contain information about the quality of service provision. The level of quality of service by OASIS standard has four quality indicators: response time, maximum capacity, availability, and reliability.

Response time means the length of time after sending a request to the moment of receiving a response. Response time can vary, depend on the three types of delays: client delays, network delays, and server latency. Client latency (CL) is a time spent by the client part of an application during the processing of the request. This is the time from request to the client until the sending request to the server (CL<sub>1</sub>), and after receiving the response by the client until the completion of its processing (CL<sub>2</sub>). Network latency (NL) is a time spent on the request and response messages transfer over the network. This is the amount of time between the event "client sends a request" and the event «web-service receives the request» (NL<sub>1</sub>), and the time between event "server sends a response" and the event "client receives a response» (NL<sub>2</sub>).

Server latency (SL) is a time of request processing and response composing on server-side. This is the amount of time between the event "server sends a request" and the event «web-service receives the request» (SL<sub>1</sub>), the time of request processing (SL<sub>2</sub>), and the time between the event «web-service sends a response" and the event "server receives a response» (SL<sub>3</sub>).

Three types of latency and response time can be calculated using following formulas:

$$CL = CL_1 + CL_2, \quad (1)$$

$$NL = NL_1 + NL_2 \quad (2)$$

$$SL = SL_1 + SL_2 + SL_3, \quad (3)$$

$$\text{Response Time} = CL + NL + SL, \quad (4)$$

Maximum throughput (MT) is defined as the maximum number of requests that service provider can process for a certain period of time. Throughput can be calculated as follows:

$$MT = \max\left(\frac{\text{number of requests}}{\text{measured time}}\right), \quad (5)$$

where *num of requests* is the number of requests processed by the server for a *measured time*; *measured time* is the time period during which the measurements were carried out.

System's availability is a measure that determines the accessibility of Web-service. Availability can be expressed by the following formula:

$$\text{Availability} = 1 - \frac{\text{down time}}{\text{measured time}}, \quad (6)$$

where *down time* is a time during when web-service was not available; *measured time* is the time period during which the measurements were carried out.

Reliability is a measure that determines the probability of returning the response after successful execution of a web-service request. Reliability can be expressed by the following formula:

$$\text{Reliability} = \frac{\text{num of responses}}{\text{num of requests}}, \quad (7)$$

where *num of responses* is the number of responses from the service; *num of requests* is the number of requests to the service.

### 1.2. Indicators by ISO standard

According to the ISO / IEC 9126-93 standard, software quality (QoS) is the entire number of features and characteristics of software products, which refers to its ability to satisfy established or foreseeable needs. The standard defines six basic characteristics that describe software quality: functionality, reliability, usability, efficiency, maintenance and mobility. According to the standard, these characteristics can be applied to any type of software, including applications and data within the software and hardware, and form the basis for further refinement and describe software quality. The standard provides guidance on the application of model specifications and assessment process that reflects the basic steps needed for evaluating software quality. The standard does not define specific performance characteristics of quality (characteristics that determine the properties of software products that can be classified as quality characteristics), methods of measurement, ranking and evaluation, and results in only an illustrative qualitative model that determines the characteristics of quality in terms of the recommended comprehensive indicators (Fig. 1).

Apart from determining the terms and concepts of quality software above-mentioned standards allow the ability to change the definitions by adding their original attributes, revealing important terms used, indicating objects within the scope of the definition. In our case, these objects are Web services of enterprise information systems and weakly-bounded systems, that are a combination of these web services.

Regarding web services, features of maintenance and mobility are important for a service provider. For the initiator of the interaction of corporate information systems characteristics associated with the operation of web services are important. These characteristics include reliability and efficiency of their use in the weakly-bounded enterprise systems. Description of functionality can be used to classify web services by necessary function provided by them and determine functionally similar subsets of web services (e.g. supporting program of the SIP-components development and delivery). When using these characteristics to describe and evaluate web services it is needed to identify relevant indicators, set equal ranking and evaluation criteria for each company or the target web-service application. Metrics, ranking levels, and evaluation criteria should be agreed at the evaluation results exchange level [4, 6].

## 2. The concept of functional reserve of web services

Conceptually, web services can be divided into atomic services and composite services. Atomic ser-

vices are web services that on their own provide certain services to users. Atomic services are self-contained and do not depend on any other web services. Composite services provide services to users calling other web services (forming web service composition) and/or being web services of corporate information systems.

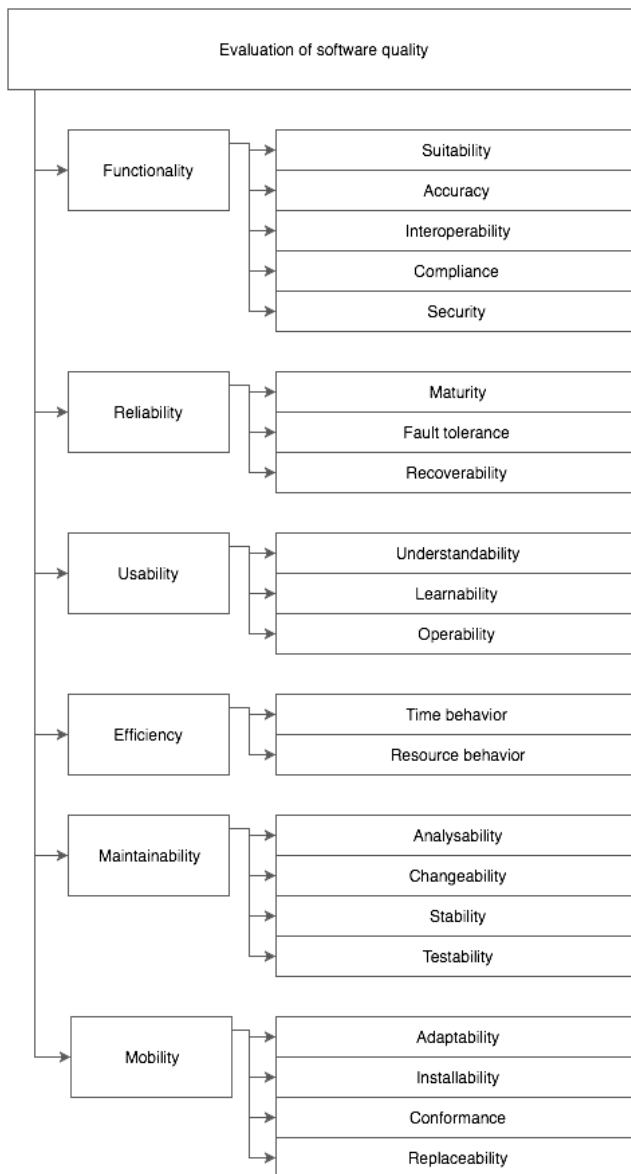


Fig. 1. The characteristics and complex indicators of quality

Functionality and interfaces defined by the language describing web services become more complex. To identify the web service with similar or identical functionality in scientific and technical literature there are proposed several methods of machine learning. However, the efficiency and accuracy of these methods are insufficient for their application in practice. Functionally equivalent Web services developed independently by different manufacturers may use different function names, input parameters and data types. With machine methods, it is really difficult to recognize that these services actually provide the same functionality. It is necessary to solve this problem

primarily at the conceptual level of describing the common informational space of web services. For this, the conceptual model defined in a single namespace should be developed, which providers and developers of web service will adhere (Fig. 2).

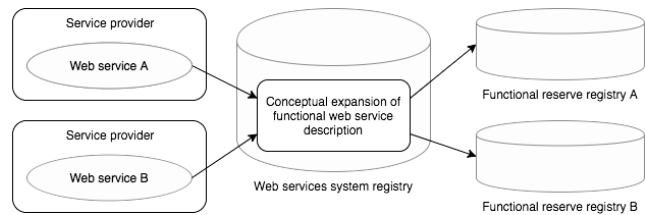


Fig. 2. The common informational space of web services

To solve the above-mentioned problems of search and recognition identical (similar) web services at the conceptual level, let's introduce the concept of functional reserve and define common terminology, which will follow when developing the conceptual model and description of web services. Then, web services developed by different manufacturers can be described in the same interface. Following common terminology when describing web services, it is possible to develop automated procedures for registration of web services in the relevant registers of the functional reserve of web services when publishing them in the system registry of web services. To maintain a registry of functionally similar web services it is necessary to expand the functional descriptions of web services [5].

Conceptually expansion of functional descriptions of Web services is a multilevel descriptions model, which establishes the correspondence between the request to perform the necessary functions on the side of corporate information system application and set of functionally similar web services, in other words, potential candidates to perform the requested function. Let's define three main conceptual levels: domain level, the level of a common information space of web services and the level of functional reserve.

Let's define the domain level as the set of relations  $R$ , presented in the namespace, understandable by users of corporate information systems and expressed by attributes of objects in a subject area. The form of the request of the domain level to perform the desired function  $P(A)$ , where  $A$  is a set of function arguments, in terms of domain relations can be defined as follows:

$$P(A) = \bigcap_i R_i(A_i), \quad (8)$$

where  $R_i$  is a domain level relation;  $A_i$  is a set of attributes;  $C_k$  is a condition like  $C_k = a_i \theta c$ , where  $a_i$  is an attribute of the relation  $R_i$ ,  $c$  is a constant, and  $\theta \in \{=, \neq, <, >, \leq, \geq\}$ .

The level of a common informational space of web services is a description of all functional reserves  $\forall F : F \subseteq U_w$ , each of which is represented by a unique name of the desired function  $F$  in a single namespace of web services and can be defined as follows:

$$R_i(a_1, a_2, \dots, a_n) = \bigcap_k C_k, \quad (9)$$

where  $a_i$  is an attribute of relation  $R_i$ ,  $x_i$  are the formal parameters of correspondent function  $\psi_j$ ;

It means that for getting the relations  $R_i$  it is needed to call web services that perform related functions  $\psi_j$ . And the relation, which are in different domains can be defined in the same formal functions' namespace, whose composition can change if the definition of new relations for existing or new domain is necessary.

Let's call a set of functionally similar web services  $F$ , a functional reserve where  $\forall F: F \subseteq U_w$ , satisfying the formal description of the subject area.

$$F = (I_1, I_2, \dots, I_n, \Lambda); I_i = (\Psi_i, \Upsilon_i, P_i), i = 1, \dots, n, \quad (10)$$

where  $I_i$  is an instance of service that is part of the functional reserve, which is represented as a directed acyclic graph;  $\Psi_i = \{\psi_{ij} | 1 \leq j \leq m\}$  is a set of functions granted by the  $i$ -th instance of functionally similar web-service;  $P_i$  is a necessary function that is granted by the  $i$ -th instance of the Web service (root element of functions' graph, in other words, is an entry point through which it is possible to access features of  $i$ -th instance);  $\Upsilon_i = \{\gamma_{ij} | 1 \leq j \leq l\}$  reflects the relationship between the functions within the  $i$ -th instance of the service within the same graph;  $\Lambda = \{\lambda_{ij} | 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq j \leq n \wedge i \neq j\}$  shows the relationship between the two non-root functions provided by various instances of web services.

Dependencies between the two functions of the same service determine the order in which they should be called to perform the desired function by the same instance of service. Dependencies between features of different web services define the sequence of calling these functions when performing the required function by composite web service or by several web services belonging to different corporate information systems. Dependencies between graphs root elements or necessary functions determine the sequence of calling Web services as part of the composition, which is web services calling plan.

### 3. Conceptual model of software infrastructure

The conceptual model of web services integration's software infrastructure is illustratively shown in fig. 3, 4. It reflects the general principles of mediated interaction between providers and consumers of web services that formed the basis of program infrastructure of the adaptive fault-tolerant system of access organization to functionally-similar web services. Web services' providers register web services in functional registries of common informational space based on conceptual expansion of functional description of web services, supported by three-tiered distributed model of web services description in user namespace of corporate systems, in other words, in the namespace of necessary functions, that is the formal namespace of common informational space in general, and namespace of specific instances of functionally-similar web

services, in other words, in namespace of internal functions (operations) of web service, needed for executing of necessary function. The mechanisms of displaying namespaces are hidden from providers and consumers of web services and are the part of a functional model of program infrastructure of web services integration.

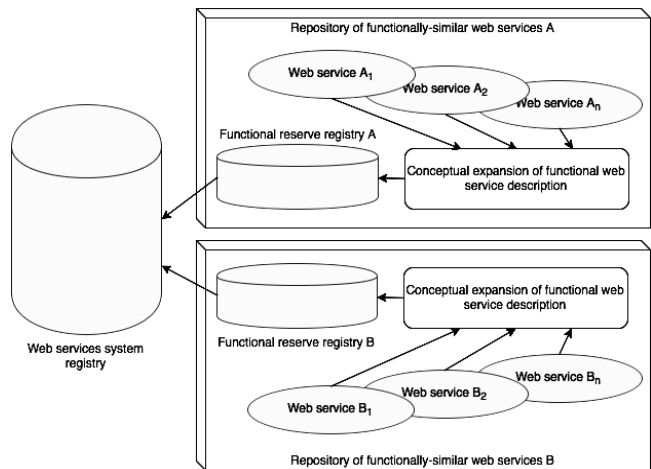


Fig. 3. The conceptual model of program infrastructure

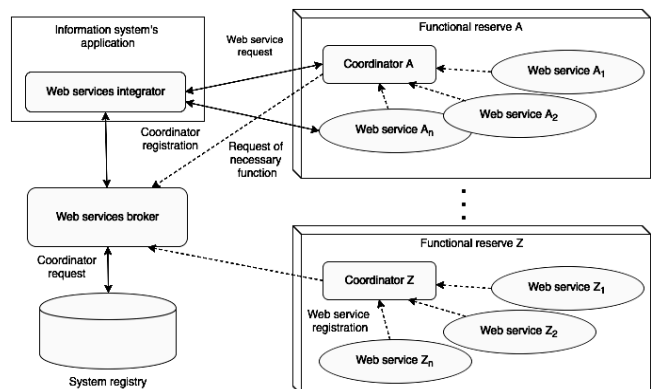


Fig. 4. Components of the infrastructure of web services integration

Apart from the register, each functional reserve is represented by a repository, providing space for the formation of the pool of web services instances by adaptive algorithms for fault-tolerant systems providing access to functionally similar web services.

The system of access organization for functionally-similar web services is defined over the components of software infrastructure of web services integration and conceptually is a failover strategy that is a combination of methods, algorithms, parameters and settings, required for adaptive and dynamic management of web services composition. The main components of software infrastructure of web services integration are web services integrator, web services broker, and web services coordinator. Conceptually, web services integrator is represented by developed exemplary solutions of design: dynamic selector, quality monitor, and communicator, that allows performing web services integrator implementation both as a separate software component and as a part of middleware software or developed new applications of information systems.

The conceptual model of program infrastructure of web services integration reflects typical components (Fig. 4) and the order of their interaction without implementation details. During the operation, web services integrator receives from the web services broker address of functional reserve coordinator. It creates a pool of instances including a list of addresses and values of QoWS of functionally-similar web services based on which and considering user preferences the initial optimal of choice of fault-tolerant web services composition will be defined.

After fulfillment of the plan of web services call at the stage of selecting fault tolerant web services composition, integrator begins to locally accumulate new values of QoWS obtained while calling of each instance, returning them sometimes to coordinator and using them for dynamic correction of a strategy of choice fault-tolerant web services composition. Coordinator, in its turn, receives refreshed values of QoWS from integrators of geographically distributed users that call instances of this functional services reserve, thereby adding public data sets of QoWS for all users.

Services integrator consists of three components, functionally corresponding to the names used for the development of standard solutions design. Dynamic selector reconstructs the plan of web services calling chosen initially of fault-tolerant composition based on users requirements and information on the QoWS parameters. Quality monitor calculates values of instances parameters that are called and exchange them with a coordinator of a web service functional reserve, that in its turn provides the quality monitor with data sets of QoWS, obtained from other web services users. Communicator calls to web services instances according to current web services composition configuration.

## Conclusion

The paper describes the building of a conceptual model of web services integration to provide guaranteed

quality of service. In order to understand how to make the control and estimation of services quality, the common web services quality indicators were considered in two independent factors: by the standards of global consortium OASIS and by ISO / IEC 9126-93 standard.

Taking into account above-mentioned standards the conceptual model of software infrastructure was built based on the concept of function web services reserve. The obtained results allow stating that by developing of Web services and adding them to the respective functional reserves registers, companies will expand their businesses, which in turn will attract more users and developers and improve service quality.

## References

1. Channabasavaiah K., Holley K., Tuggle E. *Migrating to a service-oriented architecture*. IBM, 2004.
2. Linthicum D. *Cloud Computing and SOA Convergence in Your Enterprise*. Boston: Addison-Wesley, 2010.
3. GOST 27.002-89. *Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya [State standard 27.002-89 Reliability engineering. Basic concepts. Terms and definitions]*. Moscow: Standart inform, 2010. 33 p.
4. Svystunov Y. D. (2016) *Metody orhanizatsii vzaiemodii rozpodilynykh kompiuternykh system na osnovi servis-orientovano I arkhitektury [Methods of interaction of distributed computer systems based on service-oriented architecture]*. *Information processing systems: scientific research journal*, vol. 5, no. 142, pp. 142-147.
5. *Elements of Service Oriented Analysis and Design: an ointer disciplinary modeling approach for SOA project*. Available at: <http://www128.ibm.com/developerworks/library/wsoad1>. (accessed 28.11.2016).
6. *Introduction to Service Oriented*. Available at: <http://searchdatamanagement.techtarget.com/feature/Introduction-to-service-oriented-architecture>. (accessed 24.11.2016)
7. *OASIS Web Services Quality Model*. Available at: [https://www.oasis-open.org/committees/tc\\_home.php?wg\\_abbrev=wsqm](https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsqm). (accessed 26.11.2016).

Надійшла до редколегії 15.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЕБ-ПОСЛУГ

Ю.Д. Свистунов, Н.В. Лукова-Чуйко

*В даний час вже недостатньо того, щоб корпоративна інформаційна система забезпечувала простоту автоматизації інформаційних і обчислювальних бізнес-задач, корпоративна інформаційна система повинна змінюватися так само швидко, як швидко змінюються бізнес-вимоги і бізнес-процеси компанії. Це одна з основних передумов появи архітектури, орієнтованої на обслуговування, сервісів. У статті описуються основні параметри якості таких послуг, певні різними стандартами, і пропонується концепція функціонального резервування для забезпечення якості гарантованих послуг при створенні заявки.*

**Ключові слова:** веб-сервіс, SOA, якість, концептуальна модель, веб-сервіс.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ WEB

Ю.Д. Свистунов, Н.В. Лукова-Чуйко

*В настоящее время уже недостаточно того, чтобы корпоративная информационная система обеспечивала простоту автоматизации информационных и вычислительных бизнес-задач, корпоративная информационная система должна меняться также быстро, как быстро меняются бизнес-требования и бизнес-процессы компании. Это одна из основных предпосылок появления архитектуры, ориентированной на обслуживание, сервисов. В статье описываются основные параметры качества таких услуг, определенные различными стандартами, и предлагается концепция функционального резервирования для обеспечения качества гарантированных услуг при создании заявки.*

**Ключевые слова:** веб-сервис, SOA, качество, концептуальная модель, веб-сервис.

УДК 004.891:681.518.5

А.А. Смирнов, И.А. Лысенко

*Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький*

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

*В статье представлена усовершенствованная информационная технология проектирования тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению с использованием упорядоченных каскадных таблиц решений, обеспечивающая повышение полноты покрытия проектируемыми тестовыми наборами требований к программному обеспечению и достоверность самих тестов.*

**Ключевые слова:** *информационная технология, программное обеспечение, тестирование, проектирование, тестовый набор, таблица решений.*

### Введение

Современные информационно-коммуникационные системы (ИКС) характеризуются высоким уровнем сложности разрабатываемых компонент и, в первую очередь, их программным обеспечением (ПО). В свою очередь, указанная сложность разработки может оказывать существенное влияние на качество итогового программного продукта.

Одной из определяющих фаз жизненного цикла ПО, на которой осуществляется контроль его качества, является фаза тестирования ПО. Тестирование ПО это проверка соответствия между реальным и ожидаемым поведением программного продукта, осуществляемая на конечном множестве тестовых наборов. При этом ожидаемое поведение, как правило, представляется непосредственно в виде требований к ПО. В дальнейшем в работе рассматриваются вопросы проектирования тестовых наборов на основе требований к объектно-ориентированному ПО информационной подсистемы ИКС.

Проектирование тестовых наборов относится к наиболее трудоемким и вместе с тем интеллектуальным видам деятельности в процессе тестирования ПО. Сам процесс проектирования тестовых наборов предлагается рассматриваться в рамках соответствующей информационной технологии.

Одним из эффективных подходов к проектированию тестовых наборов при тестировании систем зависящих от принятия логических решений являются методы, базирующиеся на использовании таблиц решений (ТР) [1]. Вместе с тем, существующий аппарат ТР обладает недостатками, затрудняющими его эффективное использование в этом качестве, например, имеют место их ограниченные описательные возможности, сложность выявления вида неучтенных ситуаций в ТР и т.д. Таким образом, существует необходимость совершенствования как информационной технологии проектирования тестовых наборов на основе требований к ПО, в частности с

использованием ТР, так и непосредственно совершенствования аппарата, лежащего в их основе [2].

### Основная часть

По рассматриваемой тематике известны исследования Липаева В.В., Макгрегора Д. и Сайкса Д., Степанченко И.В., Канера С. и Фолка Дж., Тамре Л., Криспина Л. и Грегори Дж., Гленфорда Майерса и других [1, 2 - 8]. В тоже время, предложенные ими технологические подходы используют либо неформальные методы описания тестовых наборов (например, метод, основанный на использовании сценариев пользователя), либо ориентированные на довольно узкие классы задач (например, модели состояний), либо не содержат методов и средств контроля корректности разработанных тестов (например, метод всех пар) и т.д., что в свою очередь не позволяет получить эффективное и достаточно простое для практического использования формальное описание проходимых тестовых наборов для проверки выполнения требований к ПО информационной подсистемы ИКС.

*Целью исследования* является усовершенствование информационной технологии проектирования тестовых наборов на основе требований к ПО информационной подсистемы ИКС с использованием усовершенствованных ТР (упорядоченных каскадных таблиц решений (УКТР)), позволяющих повысить полноту покрытия проектируемыми тестовыми наборами требований к ПО и достоверность самих тестов. Информационную технологию проектирования тестовых наборов на основе требований к ПО информационной подсистемы ИКС предлагается формально рассматривать как систему функций-процессов, которые определенным образом связаны друг с другом, и реализуют приемы, способы и методы, которые обеспечивают проектирование и контроль качества соответствующих тестовых наборов.

Для визуализации структуры информационной технологии проектирования тестовых наборов на



основе требований к ПО информационной подсистемы ИКС (ИТПТ) предлагается использовать методологию системного моделирования IDEF0. Контекстная диаграмма верхнего уровня, описывающая

область и границы представления ИТПТ показана на рис. 1.

Верхняя дочерняя диаграмма, описывающая функции-процессы ИТПТ показана на рис. 2.

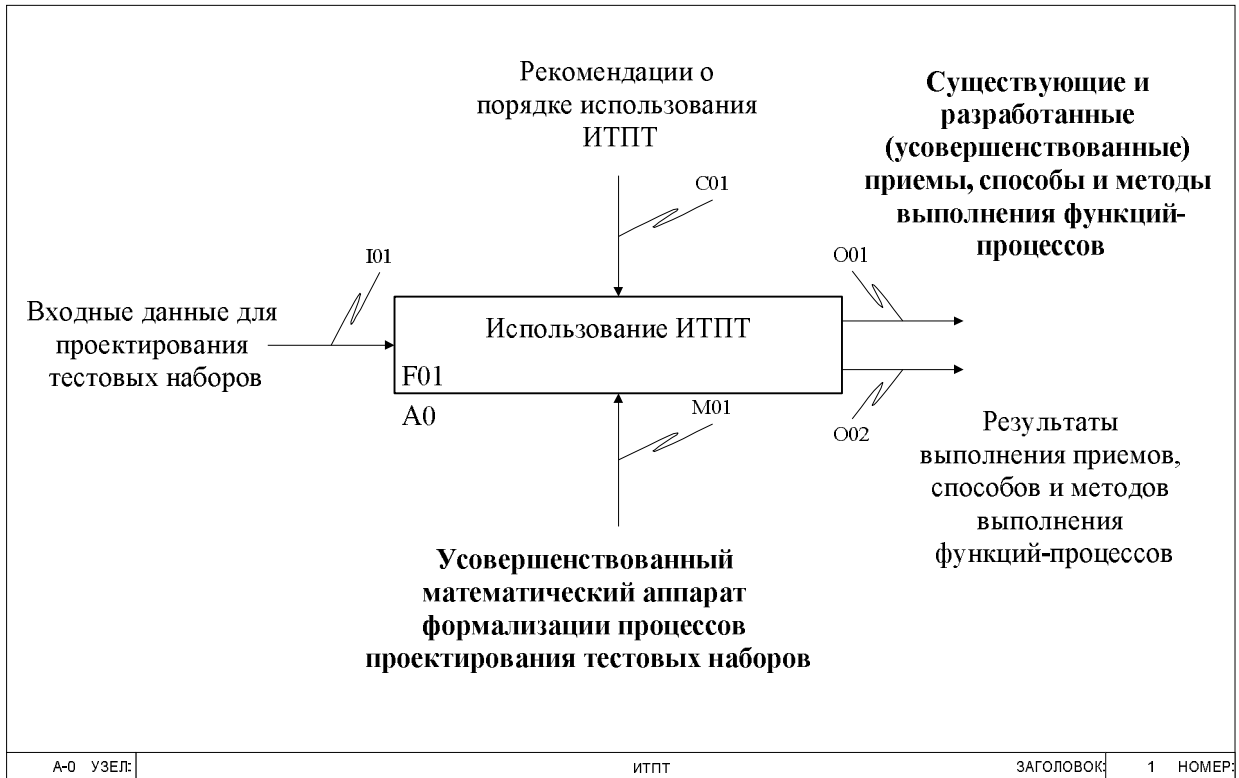


Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня, описывающая область и границы представления ИТПТ

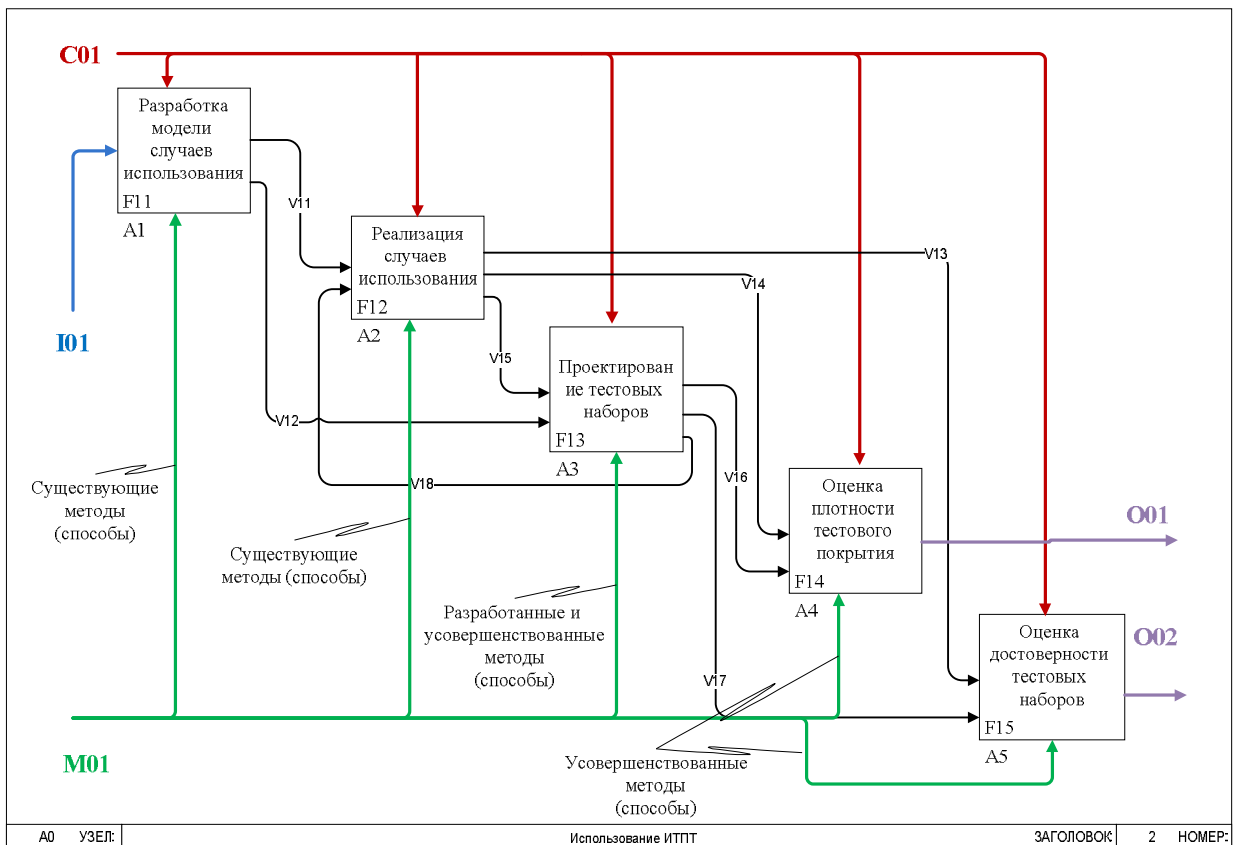


Рис. 2. Верхняя дочерняя диаграмма, описывающая основные функции-процессы ИТПТ

Рассмотрим содержание функций-процессов предлагаемой ИТПТ:

1. Для формального представления требований к информационной подсистеме ИКС в целом и, в частности, к его ПО в соответствии с объектно-ориентированной технологией (ООТ) разрабатывается модель случаев использования в виде множества случаев использования, множества актеров и множество отношений между элементами предыдущих множеств.

2. Осуществляется реализация случаев использования посредством описания всех или некоторых сценариев, составляющих случаи использования, в виде моделей взаимодействий программных объектов.

3. Осуществляется проектирование тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению информационной подсистемы ИКС с использованием соответствующего метода проектирования на основе УКТР, разработанного автором статьи.

4. Осуществляется оценка плотности покрытия проектируемыми тестовыми наборами требований к ПО и дополнительная оценка плотности тестового покрытия на базе анализа потоков управления.

5. Осуществляется оценка достоверности тестовых наборов, разработанных с использованием метода проектирования тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению информационной подсистемы ИКС с использованием УКТР.

Новизна разработанного метода проектирования тестовых наборов на основе требований к ПО информационной подсистемы ИКС в рамках третьей функции-процесса ИТПТ заключается:

- в расширении описательных возможностей ТР за счет модификации аппарата ТР в виде УКТР, позволяющих задавать порядок на множестве условий и действий конкретной ТР на основе введения матрицы следования для описания случаев использования с ациклическими сценариями и особых действий для композиции и рекурсии УКТР для описания иерархических случаев использования [9];

- в комплексной проверке избыточности и противоречивости ТР из состава УКТР на основе использования булевых матриц масок и решений; в проверке полноты ТР на основе выявления неучтенных в ТР ситуаций, описывающих условную часть тестовых случаев, с использованием алгоритма нахождения корней логического уравнения; в проверке корректности матрицы следования и ее совместности с ТР [10];

- в разработке процедуры преобразования УКТР в поток управления тестового набора на основе обобщенного метода дерева решений;

- в формализации процесса проектирования тестовых наборов в виде разработки последовательности взаимосвязанных сущностей «требования к ПО на основе модели случаев использования в нотации ООТ → сценарии случаев использования на основе моделей взаимодействия в нотации ООТ → тестовые наборы и тестовые случаи в виде корректных упорядоченных каскадных таблиц решений → потоки управления на основе моделей деятельности в нотации ООТ».

Структура разработанного метода проектирования тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению информационной подсистемы ИКС с использованием УКТР показана на рис. 3.

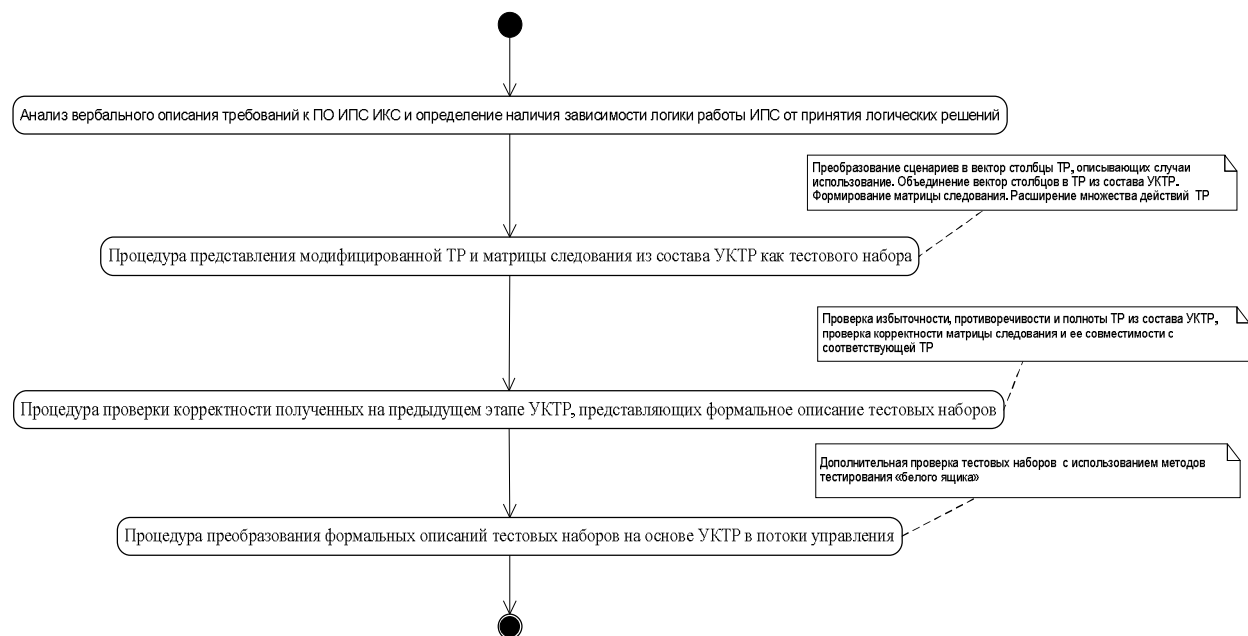


Рис. 3. Структура метода проектирования тестовых наборов на основе требований к ПО информационной подсистемы ИКС с использованием УКТР

## Выводы

Таким образом, предложенная усовершенствованная информационная технология проектирования тестовых наборов на основе требований к программному обеспечению позволяет:

1) за счет модификации аппарата таблиц решений на основе введения матрицы следования в составе упорядоченных каскадных таблиц решений и особых действий для композиции и рекурсии упорядоченных каскадных таблиц решений обеспечить повышение показателя полноты тестового покрытия на базе анализа потоков управления практически в 2 раза и в 1,5 раза показателя полноты тестового покрытия требований к программному обеспечению тестовыми наборами, разработанными в рамках усовершенствованной технологии;

2) за счет разработанных процедур проверки избыточности, противоречивости и полноты таблиц решений из состава упорядоченных каскадных таблиц решений, корректности матрицы следования и ее совместимости с таблицей решений, а также алгоритма преобразования упорядоченных каскадных таблиц решений на основе обобщенного метода дерева решений и вместе с модификацией аппарата таблиц решений обеспечивает повышение в 2 раза показателя достоверности тестовых наборов, разработанных в рамках усовершенствованной технологии.

## Список литературы

1. Тамре Л. Введение в тестирование программного обеспечения: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
2. Лысенко И.А. Исследование уровней тестирования программного обеспечения инфотелекоммуникационных систем / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов, Е.В. Мелешко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : науково-технічний журнал. – № 4(17). – Харків : ХУПС, 2014. – С.79-81.

3. Липаев В.В. Надежность и функциональная безопасность программ реального времени / В.В. Липаев. – М.: ИСП РАН, 2013. – 176 с.

4. Макгрегор Д., Сайкс Д. Тестирование объектно-ориентированного программного обеспечения. Практическое пособие: Пер. с англ.- К.: ООО «ТИД ДС», 2002. – 432 с.

5. Степанченко И.В. Методы тестирования программного обеспечения: Учебное пособие / И.В. Степанченко. – Волгоград : Волгоградский гос. техн. ун-т, 2006. – 74 с.

6. Канер С., Фолк Дж. и др. Тестирование программного обеспечения. К.: ООО «ТИД ДС», 2002. – 544 с.

7. Кристин Л., Грегори Дж. Гибкое тестирование: практическое руководство для тестировщиков ПО и гибких команд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2010. – 464 с.

8. Гленфорд Майерс, Том Баджетт, Кори Сандлер Искусство тестирования программ. – Диалектика-Вильямс, 2012. – 272 с.

9. Лысенко И.А. Исследование процесса разработки программного обеспечения инфотелекоммуникационных систем / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов, Л.И. Полищук // Системи озброєння і військова техніка : науковий журнал. – № 4(40) – X.: ХУПС, 2014. – С. 103-106.

10. Лысенко И.А. Исследование алгоритма выявления вида неучтенных тестовых случаев в процессе проектирования тестовых наборов / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов // Науково-виробничий журнал “Зв’язок”. - Київ: ДУТ, 2014. - № 2 (108). – С. 153-156.

Надійшла до редколегії 12.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕСТОВИХ НАБОРІВ, ЩО ЗАСНОВАНА НА ВИМОГАХ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

О.А. Смирнов, І.А. Лисенко

У статті представлена вдосконала інформаційна технологія проектування тестових наборів заснована на вимогах до програмного забезпечення з використанням впорядкованих каскадних таблиць рішень, що забезпечує підвищення повноти покриття тестовими наборами вимог до програмного забезпечення та достовірність самих тестів.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, програмне забезпечення, тестування, проектування, тестовий набір, таблиця рішень.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF DEVELOPING TEST KITS BASED ON SOFTWARE REQUIREMENTS

A.A. Smirnov, I.A. Lysenko

The article presents an advanced information technology of developing test kits based on software requirements using regulated cascading decision charts, providing the increase of coverage completeness by the projected test kits of software requirements and the accuracy of the tests themselves.

**Keywords:** information technology, software, testing, development, test kit, decision chart.

УДК 004.75.05

О.М. Тарасюк, К.П. Таранова, А.В. Горбенко

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

## АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НЕРЕЛЯЦІЙНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ

У статті дана загальна характеристика найбільш поширених типів нереляційних баз даних, а також виконана їхня класифікація за типами моделі даних, що використовуються, та нефункціональними характеристиками, базовими з яких є узгодженість даних, доступність та стійкість до розподілу.

**Ключові слова:** NoSQL, нереляційні бази даних, моделі даних, класифікація, теорема CAP.

### Вступ

Нереляційні, так звані NoSQL [1], бази даних дістали значного розвитку та поширення впродовж кількох останніх років при створенні розподілених інформаційних систем, які повинні зберігати та швидко обробляти великі обсяги інформації. Найбільш активно зараз вони використовуються розробниками Інтернет-додатків, зокрема соціальних мереж, в системах Internet-of-Things, пошукових сервісах, таких як Google або Yandex, тощо. У сучасному розумінні термін NoSQL був запропонований Джоем Оскарсоном та Еріком Евансом на початку 2009 року [2] для позначення все більшого числа нереляційних, розподілених сховищ даних, які досить часто не намагаються забезпечити атомарність, узгодженість, ізоляцію і довговічність.

Системи NoSQL також називають «Не Тільки (Not Only) SQL» [1], щоб підкреслити, що вони є альтернативою SQL. NoSQL бази даних використовують більш гнучкі моделі даних у порівнянні з традиційними реляційними базами. Перевагами такого підходу є простота архітектури, горизонтальне масштабування і більш точний контроль над доступністю даних. Нереляційні бази даних переважно зберігають інформацію у вигляді пар ключ-значення, що надає швидку обробку операцій пошуку і додавання нових записів, та в результаті призводить до значного виграшу у продуктивності з точки зору часу очікування та пропускну здатності. Однак, платою за легкість горизонтального масштабування, гнучкість моделі даних та велику швидкість виконання операцій читання/запису/оновлення є неможливість гарантії так званих ACID-властивостей (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability), притаманних традиційним реляційним базам даних [3].

Таким чином, метою статті є аналіз особливостей сучасних NoSQL баз даних, їхня класифікація та вироблення рекомендації щодо використання тої або іншої нереляційної бази даних в залежності від особливостей та задач, що постають перед розробниками сучасних розподілених інформаційних систем.

### Класифікація нереляційних баз даних на основі моделі даних

Існують різні підходи до класифікації нереляційних баз даних NoSQL, наприклад запропоновані у [2]. Через різні підходи щодо визначення нефункціональних вимог і набору виконуваних функцій, досить важко зробити єдиний вірний огляд ринку нереляційних баз даних. Проте, більшість погоджується, що найголовніша класифікація базується на основі використаної моделі даних.

Основними моделями даних, що використовуються нереляційними базами даних є такі [4]:

- *документно-орієнтовані (Document)*: Couchbase, MongoDB;
- *графові (Graph)*: Neo4J, Allegro, Virtuoso;
- *типу ключ-значення (Key-value)*: Dynamo, Riak, Redis, Cache, Project Voldemort;
- *об'єктно-орієнтовані (Object-oriented)*: db4o, GemStone/S, InterSystems Caché, JADE, NeoDatis ODB, ObjectDB, Objectivity/DB, ObjectStore, ODBABA, OpenLink Virtuoso, Versant Object Database, WakandaDB, ZODB;
- *стовпчикові (Column-oriented)*: Hbase, Accumulo, Cassandra.

**1. Документно-орієнтована модель даних.** Центральне поняття нереляційних баз даних цього типу – «документ». Хоча кожна реалізація документно-орієнтованої бази даних відрізняється деталями цього визначення, в загальному, всі вони погоджуються, що документи інкапсулюють і кодують дані в деяких стандартних форматах або кодуваннях [5].

Кодування відбувається з використанням однієї з наступних технологій: XML, YAML або JSON, а також бінарні форми, такі як BSON, PDF і документи Microsoft Office (MS Word, Excel, і так далі).

Різні реалізації пропонують різні способи організації та/або групування документів:

- збірники (Collections);
- ключові слова (Tags);
- невидимі метадані (Non-visible Metadata);
- ієрархія каталогів (Directory hierarchies).

У порівнянні з реляційними базами даних, наприклад, збірники можна розглядати як таблиці, а документи можуть розглядатися в якості записів. Однак є значна відмінність: кожен запис в реляційній таблиці має ту ж послідовність полів, в той час як документи в нереляційній колекції можуть мати поля, які повністю відрізняються.

Документи розрізняються в базі даних за допомогою унікального ключа, який представляє цей документ. Однак крім простого пошуку по ключу документів, бази даних такого типу мають спеціальні API або мову запитів, яка дозволяє отримувати документи на основі їх змісту.

Однак деякі документо-орієнтовані NoSQL [6] бази реалізують альтернативний спосіб отримання інформації з використанням методів MapReduce.

**2. Графова модель даних.** Графові бази даних зберігають дані, які можна представити у вигляді графу. Прикладами таких даних є опис суспільних відносин, громадського транспорту, дорожніх карт або мережевих топологій [5].

Бази даних цього типу використовують структури даних, наприклад RDF (Resource Description Framework), оптимізовані для представлення вузлів графу та зв'язків між ними, а також виконання операцій та алгоритмів на графах (наприклад, пошук найкоротшим маршрутів, тощо).

**3. Модель даних типу ключ-значення.** Модель даних типу ключ-значення (key/value) дозволяє зберігати дані у найбільш простому вигляді. Увесь кортеж даних (вся строчка у термінах реляційних баз даних, або ж увесь документ чи об'єкт) зберігаються цілком у вигляді послідовності байт у полі «value». Доступ до кожного такого поля виконується за допомогою унікального ключу «key». Нереляційні бази даних цього типу не підтримують API, що дозволяють виконувати доступ до окремих елементів/атрибутів, що зберігаються у полі «value». Усі дані повинні бути прочитанні/записані цілком, але ж підтримується можливість серіалізації/де серіалізації будь-якої структури даних або об'єкту мови програмування у послідовність бітів та навпаки.

Однією з найбільш поширених баз даних типу «ключ-значення» є Couchbase. Ця БД з'явилася за рахунок об'єднання проектів CouchDB і Membase, та є послідовником розподіленої системи кешування memcached, від якої успадкувала сумісність на рівні протоколу доступу і пріоритет зберігання даних в ОЗУ.

**4. Стовпчикова модель даних.** Дані в базах цього типу зберігаються у вигляді сімейств стовпчиків, об'єднаних в сімейства ключів.

На відміну від реляційної моделі даних, кількість колонок від рядка до рядка може бути змінна, а загальне число колонок може вимірюватися мільярдами. Також кожен рядок такої структури має унікальний ключ. Можна розглядати таку модель даних як хеш-таблицю хеш-таблиці, першим ключем якої є ключ рядку, а другим – ім'я колонки.

Стовпчикова модель даних часто розглядається в якості більш складного підкласу моделі даних типу «ключ-значення». Найбільш поширеною операцією, яка підтримується стовпчиковими базами даних є додавання нових колонок з відповідними значеннями до існуючих строк.

Однією з найбільш відомих нереляційних стовпчикових баз даних є СУБД Cassandra, яка була розроблена Facebook і передана для подальшого розвитку до співтовариства Apache в 2008 році. Є ідейним продовженням пропрієтарної бази даних Google BigTable.

Cassandra – єдина БД, операції запису в якій працюють швидше, ніж операції читання [7]. Це пояснюється тим, що запис успішно завершується (в найшвидшому варіанті) відразу ж після фіксації результату в таблиці Memtable, яка зберігається в оперативній пам'яті комп'ютера, та реєстрації операції запису у журналі транзакцій Commit-log на диску (для забезпечення довговічності). Оскільки журнал транзакцій дозволяє тільки дописувати дані у кінець, швидкість запису Cassandra фактично обмежена швидкістю послідовного запису на жорсткий диск. У той же час операція читання вимагає перевірок, кількох читань з жорсткого диску, вибору найсвіжішого запису, що є досить повільним. На сьогодні Cassandra – це надійний і досить швидкий масштабований архів даних.

Крім Apache Cassandra до баз даних стовпчикового типу відносяться: Google BigTable, Hadoop HBase, Druid, Hypertable, KAI, KDI, OpenNeptune, Qbase.

**5. Об'єктно-орієнтована модель даних.** Об'єктно-орієнтована СУБД – це система, що дозволяє створювати, зберігати і використовувати інформацію в формі об'єктів. Зазвичай об'єктно-орієнтована СУБД забезпечує також об'єктно-орієнтований інтерфейс взаємодії з користувачем.

Найбільш широке застосування об'єктно-орієнтовані бази даних знайшли в таких областях, як системи автоматизованого конструювання/виробництва (CAD/CAM), системи автоматизованої розробки програмного забезпечення (CASE), системи управління складовими документами – в областях не цілком традиційних для баз даних.

Низка американських компаній – Autotrol Technology, STEP Tools, DEC та інші – використовують об'єктно-орієнтовані СУБД (наприклад, Object Store виробництва компанії Object Design) для роботи зі складно організованими даними, відповідними стандарту STEP (Standart of Exchange of Product Model Data – Стандарт обміну даними моделей продуктів).

До найбільш популярних об'єктно-орієнтованих баз даних відносяться: db4o, GemStone/S, Inter Systems Caché, JADE, ObjectDatabase++, ObjectDB, Objectivity/DB, ObjectStore, ODABA, Perst, OpenLink Virtuoso, Versant Object Database, ZODB.

Порівняльна характеристика різних типів нереляційних та реляційних баз даних наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика нефункціональних властивостей баз даних

Характеристика Тип	Продуктивність (Performance)	Масштабованість (Scalability)	Гнучкість (Flexibility)	Складність (Complexity)	Функціональність (Functionality)
Key-Value Stores	висока	висока	висока	дуже низька	мінімальна
Column Store	висока	висока	помірна	низька	помірна
Document Store	висока	помірна	висока	низька	помірна
Graph Database	помірна	помірна	висока	висока	теорія графів
Relational Database	помірна	помірна	низька	помірна	реляційна алгебра

## Висновки

У статті розглянуто особливості сучасних нереляційних баз даних NoSQL. Їхня особливість полягає у підтримки гнучких моделей даних, легкості горизонтального масштабування, що дозволяє створювати розподілені сховища даних для зберігання дуже великих обсягів інформації. Однак, зворотню стороною є відсутність підтримки гнучкої мови структурних запитів SQL, а також неможливість одночасно гарантувати високу готовність та цілісність даних.

Таким чином, можна зробити висновок, що NoSQL бази даних не є повноцінною заміною традиційних реляційних СУБД, таких як Oracle, MySQL чи MS SQL. Вони повинні застосовуватися для вирішення специфічних задач зберігання та обробки інформації, з урахуванням найбільш пріоритетних характеристик, таких як висока швидкість доступу к даним та можливість горизонтального масштабування. Одночасно з тим, для вирішення задач, які потребують суворого дотримання цілісності даних, а також можливості виконання гнучких аналітичних запитів SQL без необхідності змінювати структуру бази даних повинні використовуватися реляційні СУБД.

## Список літератури

1. S. George. NoSQL – NOT ONLY SQL [Текст] / S. George // *International Journal of Enterprise Computing and Business Systems* ISSN, 2013. – 11р.
2. A Yes For a NoSQL Taxonomy [Електронний ресурс] // *High Scalability*. – Режим доступу: <http://highscalability.com/blog/2009/11/5/a-yes-for-a-nosql-taxonomy.html>.
3. Haerder, T. Principles of transaction-oriented database recovery [Текст] / T. Haerder, A.Reuter // *ACM Computing Surveys*. – 1983. – Vol 15(4). – P. 287–317.
4. Обзор и сравнительный анализ систем управления нереляционными базами данных [Текст] / С.И. Лисин // *Электронный журнал. Молодежный научно-технический вестник*. – М.: ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э.Баумана", 2013. – 12 с.
5. Tood Lipcon. Design Patterns for Distributed Non-Relational Databases [Текст] / Tood Lipcon. – Cloudera, 2009. – 48 p.
6. The NoSQL Alternative. [Електронний ресурс] // *DATABASE*. – Режим доступу: <http://www.drdoobs.com/database/224900500>.
7. Дмитрий Сиващенко. Распределённые хэш-таблицы на примере NoSQL СУБД Cassandra [Текст] / Дмитрий Сиващенко – М.: ДМК Пресс, 2010. – 45 с.

Надійшла до редколегії 24.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕРЕЛЯЦИОННЫМИ БАЗАМИ ДАННЫХ

О.М. Тарасюк, К.П. Таранова, А.В. Горбенко

В статье представлена общая характеристика наиболее распространённых типов нереляционных баз данных, а также выполнена их классификация по типу используемой модели данных и нефункциональным характеристикам, базовыми из которых являются согласованность данных, доступность и устойчивость к разделению.

**Ключевые слова:** NoSQL, нереляционные базы данных, модели данных, классификация, теорема CAP.

## FEATURES ANALYSIS AND CLASSIFICATION ON NON-RELATIONAL DATA BASE CONTROL MANAGEMENT SYSTEMS

O.M. Tarasyuk, K.P. Taranova, A.V. Gorbenko

The general characteristic of the most common types of non-relational data bases has been given in the article. These data bases have also been classified according to their used data models as well as non-functional characteristics such as consistency, availability and partition tolerance.

**Keywords:** NoSQL, non-relational data bases, data models, classification, CAP theorem.

УДК 004.9

В.О. Темніков

Національний авіаційний університет, Київ

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ

У статті викладені принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі управління інформаційною безпекою авіатранспортних підприємств. Розроблено принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень для обґрунтованого визначення психофізіологічного стану на ранніх стадіях його зміни з урахуванням психофізіологічного ресурсу авіадиспетчерів. Розроблено принципи побудови системи інформаційної підтримки прийняття рішень для забезпечення прийняття обґрунтованих рішень керівниками і операторами авіатранспортних підприємств. Наявність неповноти і невизначеності інформації, випадковий характер впливу внутрішніх та зовнішніх чинників при функціонуванні системи інформаційної підтримки прийняття рішень в реальних умовах експлуатації зумовили застосування при розробці системи ІНС, методів обчислювального інтелекту і теорії розпізнавання образів.

**Ключові слова:** система підтримки та прийняття рішень, авіатранспортне підприємство, людський фактор, психофізіологічний стан людини.

### Вступ

Особливої актуальності в даний час набуває створення систем, завданням яких є забезпечення безпеки інформації авіатранспортних підприємств (АТП) (в першу чергу - аеропортів).

Це обумовлено тим, що розголошення персональних даних пасажирів, помилки авіадиспетчерів, збої в роботі систем, що забезпечують переміщення вантажів і багажу пасажирів, інші подібні порушення можуть призвести до людських жертв, матеріальних втрат, проблем в житті багатьох людей.

Основними загрозами для інформації АТП є:

- ненавмисні помилки диспетчерів (в тому числі, авіадиспетчерів) і операторів, часто обумовлені їх перебуванням в неналежному психофізіологічному стані (ПФС), під яким розуміється емоційний стан (ЕмС), стан втоми, сонливості, тривоги;
- навмисні несанкціоновані дії зловмисників;
- збої в роботі (відмови) обладнання і ліній зв'язку обчислювальних систем;
- зовнішні впливи штучного та природного походження.

Особливу увагу в процесі забезпечення і управління безпекою інформації АТП повинна приділятися двом аспектам:

1. Запобігання порушень, пов'язаних з людським фактором – адже саме людський фактор є однією з основних причин аварій і аварійних ситуацій на авіаційному транспорті.

2. Надання особам, які приймають рішення (ОПР), оперативної інформації, що допомагає шви-

дше і більш обґрунтовано приймати рішення щодо запобігання навмисних несанкціонованих і ненавмисних (помилкових) дій, що можуть призвести до позаштатних ситуацій.

У цій статті наведені основні принципи та інформаційні технології (ІТ), покладені в основу побудови системи інформаційної підтримки прийняття рішень ЛПР (СІППР) в диспетчерських службах аеропортів як однієї з найважливіших складових систем управління безпекою інформації авіатранспортних підприємств.

Однією з основних функцій СІППР є контроль ПФС авіадиспетчерів, починаючи з проходження передзмінного і закінчуючи проходженням післязмінну контролю, з метою запобігання можливих помилок авіадиспетчерів на більш ранніх стадіях шляхом виявлення несприятливої тенденції зміни ПФС, визначення моменту переходу в стан втоми, сонливості або тривоги.

Особлива увага при розробці системи приділялася підвищенню швидкодії та достовірності роботи системи при проведенні внутрисменного моніторингу ПФС диспетчерів.

### Структура системи інформаційної підтримки прийняття рішень

Нижче коротко описані основні структурні елементи системи контролю ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, що є однією з основних складових СІППР в диспетчерських службах аеропортів.

1. Система передзмінного медичного і психофізіологічного контролю авіадиспетчерів

Крім зафіксованого в нормативних документах контролю медичних показників авіадиспетчерів, пропонується проводити також їх психофізіологічний (ПФ) контроль на основі визначення стану серцево-судинної системи (ССС) авіадиспетчерів.

Стан серцево-судинної системи людини є інтегральним показником стану регуляторних систем його організму, що свідчить, серед іншого, про знаходження людини в стані стомлення, сонливості або тривоги.

Стан серцево-судинної системи людини може бути визначено за параметрами електрокардіограми (зокрема, варіабельності серцевого ритму на основі робіт Баєвського Р.М., Кальниша В.В. та інших вчених [1]).

На основі результатів психофізіологічного передзмінного контролю авіадиспетчерів з урахуванням його психофізіологічного ресурсу (дані про психофізіологічні ресурси кожного авіадиспетчера повинні міститися в базі даних) здійснюється прогнозування змін ПФС диспетчера протягом робочої зміни.

2. Система внутрішньозмінного контролю ПФС авіадиспетчерів

Перманентний контроль (моніторинг) ПФС авіадиспетчера в процесі виконання ним функціональних обов'язків пропонується здійснювати за голосом [2].

Використання голосу в якості аналізованого способу дає можливість здійснювати контроль диспетчера безконтактно, дистанційно, не відволікаючи його від роботи.

Основними вимогами до системи внутрішньозмінного контролю ПФС за голосом є забезпечення роботи системи в режимі реального часу (тобто підвищені вимоги пред'являються до швидкодії системи) і проведення контролю за безперервною злитим мовленням диспетчера.

Для корекції прогнозу зміни психофізіологічного стану протягом робочої зміни, зробленого за результатами передзмінного психофізіологічного контролю, і уточнення значень ПФ ресурсу авіадиспетчера пропонується проводити додатковий контроль психофізіологічного стану авіадиспетчера в перервах в його роботі за станом серцево-судинної системи з застосуванням портативних електрокардіографів.

3. Система післязмінного психофізіологічного контролю авіадиспетчерів

Робота системи аналогічна роботі системи передзмінного ПФ контролю.

За результатами порівняння показників післязмінного та передзмінного психофізіологічного контролю здійснюється корекція значень психофізіологічного ресурсу у відповідній базі даних.

## **Побудова голосових систем інформаційної підтримки прийняття рішень**

Необхідність використання нормативно встановленої фразеології дозволяє звести моніторинг ПФС за безперервною мовою до моніторингу ПФС за окремими мовними фрагментами (командами).

Як мовні фрагменти, за якими проводиться моніторинг ПФС, використовуються словосполучення, слова (фрагменти слів), які часто застосовуються авіадиспетчерами в процесі роботи і входять до складу професійної фразеології, встановленої нормативними документами.

Система моніторингу ПФС авіадиспетчерів за їх безперервним злитим мовленням включає в себе такі підсистеми: сканування і дискретизації мовного сигналу; попередньої обробки сигналу, що полягає в шумозаглушенні; сегментації безперервної мови на мовні фрагменти; пошуку в безперервній мові і виділення ключових мовних фрагментів (моделі яких заздалегідь включені до відповідної бази даних - словник), моніторингу ПФС авіадиспетчерів за ключовими мовними фрагментами, проведеного на основі їх пофонемного аналізу.

Основними етапами моніторингу ПФС за ключовими мовними фрагментами є такі: сегментація ключового слова на фонеми, розпізнавання голосних фонем, параметризація голосних фонем, класифікація мовних сигналів і прийняття рішення про ПФС диспетчера. При цьому класифікацію станів авіадиспетчера пропонується проводити на основі порівняльного аналізу контрольних і еталонних інформативних параметрів, що характеризують окремі (в першу чергу, голосні) фонеми, що входять до складу ключових мовних фрагментів.

## **Застосування інформаційних технологій для побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень**

СІППР побудована як інтелектуальна інформаційна система на основі комплексного застосування сучасних інформаційних технологій.

У зв'язку з притаманними цій проблемній області неповнотою вихідної інформації, невизначеністю властивостей фізичного середовища, при побудові СІППР застосовані:

штучні нейронні мережі (ШНМ) [3],

методи обчислювального інтелекту, нечіткої логіки,

вейвлети для поділу безперервної мови на мовні фрагменти і придушення шумів в вихідному мовному сигналі [4].

Як система внутрішньозмінного моніторингу ПФС в цілому, так і підсистема виділення ключо-



вих мовних фрагментів з безперервного злитого мовлення авіадиспетчера, створюються із застосуванням методів теорії розпізнавання образів [5].

При цьому, модуль класифікації підсистеми виділення ключових мовних фрагментів з безперервного злитого мовлення авіадиспетчера пропонується будувати на базі дикторонезалежної ШНМ, навченої на розпізнавання ключових мовних фрагментів.

Застосування штучних нейронних мереж дозволяє істотно підвищити точність роботи підсистеми.

Однак, можливість застосування штучних нейронних мереж в якості основи для побудови її модуля класифікації обмежується кількістю параметрів сигналів, що надходять на її входи.

Для забезпечення можливості побудови модулів класифікації підсистем виділення ключових мовних фрагментів на основі штучних нейронних мереж було необхідно істотно зменшити кількість інформативних параметрів мовних сигналів, що подаються на вхід ШНМ.

Це було досягнуто в процесі розробки нової системи інформативних параметрів, застосування якої дозволило суттєво (більш ніж на порядок) зменшити кількість вхідних параметрів (нейронів) штучних нейронних мереж без будь-якого істотного зменшення вірогідності роботи.

## Висновки

1. Розроблено принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень для обґрунтованого визначення психофізіологічного стану на ранніх стадіях його зміни з урахуванням психофізіологічного ресурсу авіадиспетчерів, реалізація яких дозволяє контролювати психофізіологічний стан протягом всієї робочої зміни і таким чином знизити вплив людського фактора на ефективність роботи і безпеку інформації авіатранспортних підприємств.

2. Розроблено принципи побудови системи інформаційної підтримки прийняття рішень для

забезпечення прийняття обґрунтованих рішень керівниками і операторами авіатранспортних підприємств (в першу чергу - аеропортів). Система інформаційної підтримки прийняття рішень розробляється як інтелектуальна інформаційна система, що дає можливість планувати оперативні управлінські дії в умовах неповноти і невизначеності інформації, що циркулює і зберігається в базах даних аеропортів.

3. Наявність неповноти і невизначеності інформації, випадковий характер впливу внутрішніх та зовнішніх чинників при функціонуванні системи інформаційної підтримки прийняття рішень в реальних умовах експлуатації зумовили застосування при розробці системи ІНС, методів обчислювального інтелекту і теорії розпізнавання образів.

## Список літератури

1. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика / Р.М. Баевский // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – №1. – С.54-64.
2. Темников В.А. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу / В.А. Темников, Е.Л. Темникова // Вестник Восточноукраинского национального университета им.В.Далы. – №9 (151). – Ч.1. – 2010. – С. 143-148.
3. Хайкин С. Нейронные сети / С. Хайкин // 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
4. Темников В.А. Методика проведения шумоочистки речевого сигнала в процессе распознавания / В.А. Темников, Л.В. Пономаренко // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В.Далы. – №5 (111). – Ч.1. – 2007. – С. 123-127.
5. Рамишвили Г.С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу / Г.С. Рамишвили // М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
6. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. –/ М: Мир, 1978. – 848 с.

Надійшла до редколегії 28.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В.Козловський, Національний авіаційний університет, Київ.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

В.А. Темников

*В статье изложены принципы построения систем информационной поддержки принятия решений в процессе управления информационной безопасностью авиатранспортных предприятий.*

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, авиатранспортное предприятие, человеческий фактор, психофизиологическое состояние человека.

## PRINCIPLES OF BUILDING THE DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE AVIATION SECURITY SYSTEM PROCESS

V.O.Temnikov

*In the article sets out the principles of building the information management systems for decision-making in the process of security management of information assets of transport aviation enterprises.*

**Keywords:** management system for decision-making, air transport enterprise, human factor, psychophysiological state.

УДК 621.3

В.Ф. Третяк, А.А. Пашнева

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

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СХОВИЩА ДАНИХ У ВУЗЛАХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНОГО СЕРЕДОВИЩА

Головною ідеєю статті є аналіз методів і технологій роботи з великими даними, аналіз методів інтеграції додатків на рівні даних, а також показати підхід до оптимізації структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища. Особливу увагу було приділено ранговому підходу до рішення задачі оптимізації структури сховища даних у вузлах мережі хмарного середовища.

**Ключові слова:** великі дані, реплікація, ранговий підхід, сховище даних, інфокомунікаційна мережа, інтеграція, тиражування даних, хмарне середовище, фрагментація.

### Вступ

**Актуальність. Аналіз літератури.** "Хмарні" технології є частиною нової мережевої інтернет-архітектури, яка базується на трьох основних принципах: інформаційно-орієнтованої мережевої архітектури (information - centric networking); "хмарних" обчисленнях які інтегровані з мережею (cloud computing integrated with networking); відкритої конективності (open connectivity). "Хмари" відносяться до класу мережевих комп'ютерних систем, основними елементами яких є: комп'ютерна мережа з підвищеною надійністю і пропускнуою спроможністю; клієнт "хмари" - апаратне і програмне забезпечення, що взаємодіє з "хмарою" на основі стека протоколів TCP/IP; власне "хмара" - програмно-апаратний комплекс, що забезпечує роботу "хмарних" сервісів, взаємодію з клієнтом і динамічне управління ресурсами хмарного середовища. Особливостями "хмарних" технологій є наступні ознаки: сервісна модель обслуговування; самообслуговування; еластичність; використання поширених мережевих технологій. Зазвичай виділяють наступні базові класи "хмарних" сервісів: інфраструктура як послуга (Infrastructure as a Service, IaaS); платформа як послуга (Platform as a Service, PaaS); дані як послуга (Data as a Service, DaaS); програмне забезпечення як послуга (Software as a Service, SaaS); робоче місце як послуга (Workplace as a Service, WaaS); усе як послуга (All as a Service, AaaS).

Сучасним підходом до проектування інформаційних систем є напрям хмарних обчислень (Cloud Computing), який містить спеціалізований спектр технологій обробки і передачі даних, коли комп'ютерні ресурси і потужності надаються як Інтернет-сервіси. Специфіка Cloud Computing полягає в тому, що забезпечується динамічне масштабування ресурсів хмари, його внутрішня структура прихована від споживача сервісів, використовується концепція плати у міру використання, пред'являються високі вимо-

ги до надійності і доступності хмарної системи та ін. Вивченням питання організації та ефективної обробки великих даних активно займаються наукові групи під керівництвом провідних світових вчених: Я. Фостера [6], Е. Ділмана [3], Д. Тейна [8], Я. Гордона, Р. Буйя [1], Т. Хейя, Р. Продана [9], Ільїна В.А. [11].

**Метою даної статті** аналіз методів і технологій роботи з великими даними, аналіз методів інтеграції додатків на рівні даних, а також показати підхід до оптимізації структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища

### 1. Аналіз методів і технологій обробки великих даних

Аналіз показав, що при сучасних розрахунках на великих даних виникають наступні проблеми і тенденції:

- створення нових алгоритмів, які здатні масштабуватися при пошуку і обробці великих масивів даних;
- створення нових масштабованих технологій управління метаданими складних, гетерогенних і розподілених джерел даних;
- створення нових підходів в області високопродуктивних обчислювальних платформ для забезпечення рівномірного високошвидкісного доступу до мультитерабайтних структур даних;
- створення спеціалізованої комунікаційної гібридної архітектури для фільтрації і обробки потоків мультігігабайтних даних, що надходять від високошвидкісних мереж передачі цих, наукових вимірювальних систем і систем моделювання в режимі реального часу;
- розробка високонадійних високопродуктивних розподілених файлових систем, орієнтованих на обслуговування петабайтних масивів даних;
- створення нових алгоритмів для забезпечення мобільності розрахунків на вузлах, вартість передачі даних з яких на інший вузол занадто висока;

- поява гнучких і спрощених технологій, що забезпечують інтеграцію нових плагінів і програмних компонентів, що працюють на різних обчислювальних платформах;

- розвиток методів генерації підписів для даних з метою зменшення розмірності і збільшення швидкості їх обробки.

На сьогодні існує ряд підходів (парадигм), які були розроблені для успішного вирішення завдань обробки великих даних. Передусім, слід виділити два принципово різних режими обробки: пакетний і режим реального часу (потоківий). Пакетний режим припускає обробку статичних даних і зазвичай не накладає обмежень на час виконання розрахунків, орієнтовуючись в основному на результат обробки. Розглянемо найбільш відомі підходи до забезпечення цього режиму.

**Підхід на основі абстракції Грід** [12,10]. Представником класичної концепції обробки великих даних через Грід технології являється система, побудована в CERN, - Gfarm (Grid Datafarm). У основі Gfarm лежать декілька базових компонентів: розподілена файлова система (parallel file system), вузли ресурсів (nodes) і система виконання розрахунків. Розподілена файлова систем складається з розрахункових вузлів і сервісів метаданих, надає величезний об'єм дискового простору (який вимірюється в петабайтах) і включає можливості масштабування пропускну здатності на основні операції читання-запису, а також функціональність по забезпеченню відмовостійкості.

Системи, засновані на цій парадигмі, використовують як базу принцип Code-to-Data і виконують запуск обчислювальних розрахунків безпосередньо на вузлах даних, тим самим, ідеологічно не відділяючи їх від обчислювального типу вузлів. Переваги: масштабованість, що дозволяє працювати на рівні петабайтів; можливість планування з урахуванням вартості (у тому числі і за часом) передачі даних для розрахунку і запуску будь-яких пакетів усередині Грід; відмовостійкість. Мінуси: жорстка прив'язка до інфраструктурних особливостей Грід; відсутність підтримки сучасних технологічних рішень (наприклад, обчислювальних хмар).

**Підхід на основі абстракції WMS** [7]. WMS відділяє абстрактний опис завдання від конкретного ресурсу обчислювального середовища, саме середовище виходить за рамки конкретної системи організації інфраструктури і використовує Грід як один з можливих обчислювачів, тим самим дозволяючи уникати необхідності вивчення його внутрішньої структури і віддаючи право виконання розрахунків безпосередньо йому. Незважаючи на те що концепція, заснована на ланцюжках завдань, спочатку була створена для Грід, на даний момент вона з успіхом застосовується як в хмарних обчисленнях, так і в гетерогенних середовищах.

До основних плюсів цього підходу можна віднести незалежність від платформи, яка використовується, тобто відсутність прив'язки до конкретного обчислювального середовища; багатогранність реалізації алгоритмів оптимізації планування, у тому числі з урахуванням розрахунків великих даних; високий рівень абстракції при створенні самих ланцюжків завдань. До недоліків відносяться відсутність безпосереднього контролю розрахунків і високорівнева абстракція, які можуть привести до втрат продуктивності; висока невизначеність в оцінці часу виконання кроків ланцюжка задач (workflow, WF) із-за різноманіття параметрів гетерогенного середовища, що враховуються і не враховуються.

**Підхід на основі абстракції MapReduce** [2]. Основна ідея парадигми криється в операціях Map і Reduce. Перша потрібна для виконання операції обробки на певних даних, що поступають на вхід в наступному виді: map (ключ1, значення1). Результатом застосування Map є список виду (ключ2, значення2). Результат операцій Map подається на вхід завдання Reduce як (ключ2, список(значення2)). Reduce, у свою чергу, генерує список значень. Така проста схема дозволяє вирішувати величезний клас завдань. До явних переваг MapReduce можна віднести простоту використання (досить реалізації двох операцій, Map і Reduce); широкую застосовність і технічну підтримку співтовариством, що забезпечує розвиток парадигми; високу швидкість обробки даних завдяки можливості імплементації низькорівневих операцій. До мінусів можна віднести погану абстракцію - користувач не може думати інакше, як в логіці обробки MapReduce; прихильність до обчислювального середовища - традиційно MapReduce працює в єдиному кластері; наявність класів завдань (наприклад, завдань "селекції даних"), що демонструють погану продуктивність при використанні MapReduce за рахунок необхідності повного перебору; невисоку ефективність при виконанні операції Reduce в умовах значного об'єму даних і передпідготовки Shuffle.

**Підхід на основі абстракції All - Pairs** [5]. Ідея цього підходу полягає у використанні простої операції All - Pairs, яка отримує на вхід функцію F, дві множини A і B і буде на виході матрицю значень F(ai, bi). Проте незважаючи на уявну простоту не продумана реалізація операції може не лише не забезпечити зростання продуктивності, але і привести до її падіння порівняно з однопоточним режимом.

Реалізація All-Pairs дозволяє уникнути консервативної схеми доступу процесів обробки (завдань) до даних, коли система не знає, які дані якому процесу будуть потрібні, до схеми організації як обчислювальних потреб, так і необхідних даних для кожного процесу. Ідею підходу можна представити в чотирьох головних етапах виконання розрахунків: моделювання системи, розподіл даних, організація

процесів обробки, очищення системи. Моделювання системи полягає в оцінці розподілу даних по можливих потенційних процесах обробки з урахуванням вартості передачі даних в розподіленому середовищі, часу і об'єму самої обробки, що дозволяє говорити про наявність концепції Code-to-Data в цьому підході.

Головною перевагою підходу можна назвати "глибоку" участь системи на етапі планування розподілених обчислень, мінусами - вузьку спрямованість вирішуваних завдань, незрілість і відсутність широкої практичної реалізації. На даний момент наукового розвитку цього підходу не спостерігається.

**Підходи до обробки великих даних в режимі реального часу [4].** На відміну від пакетного режиму, обробка великих даних в режимі реального часу - відносно новий напрям розвитку ІКТ, і тут можна виділити традиційні підходи, засновані на реалізації загальної черги завдань (task queue) і процесів обробників (workers), і рішення, які подібні Storm і Spark streaming.

Перший підхід широко застосовується внаслідок простої ідеї організації єдиної черги завдань (можливо, і розподіленою) і підключення масштабованого числа розподілених процесів обробки, завдання яких - у міру виконання забрати з черги наступне завдання.

Головним недоліком, і перевагою подібного підходу являється його свобода в реалізації і самостійність в уточненні деталей, що призводить як до вдалих, так і невдалих рішень.

## 2. Аналіз методів інтеграції додатків на рівні даних

Слід зазначити, що нині жодне велике підприємство не може обходитися без системи, що забезпечує функції сховища даних. Все більше організацій прагнуть до активних операційних сховищ, тому оперативна обробка транзакцій є найважливішим засобом взаємодії з інформацією, що знаходиться в сховищах даних. Бізнес процеси сховища даних представлено на рис. 1 – 5.

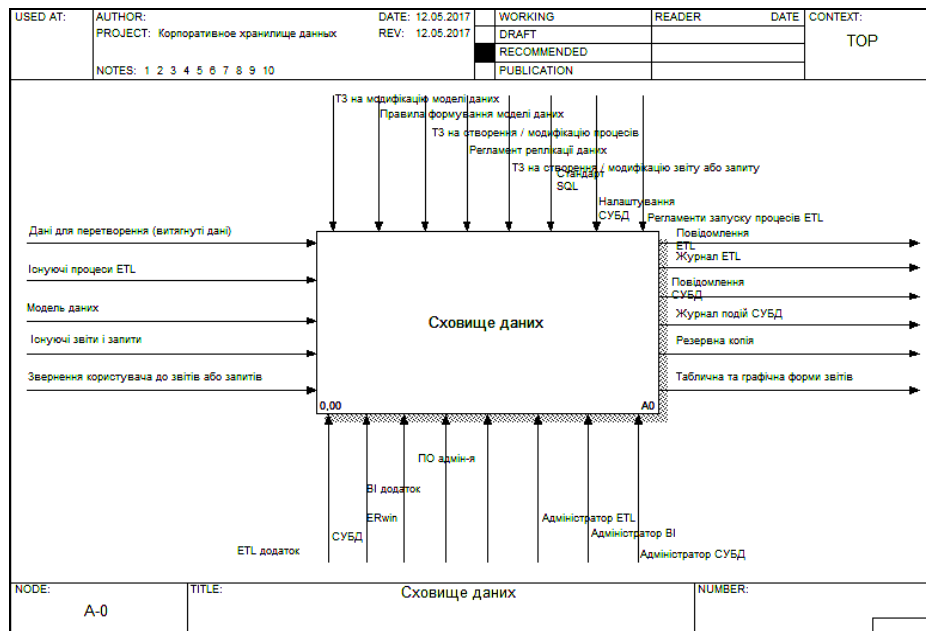


Рис. 1. Контекстна діаграма «Сховище даних»

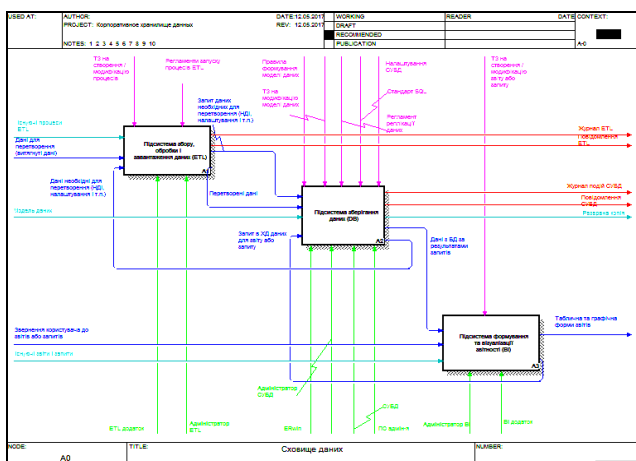


Рис. 2. Декомпозиція задачі «Сховище даних»

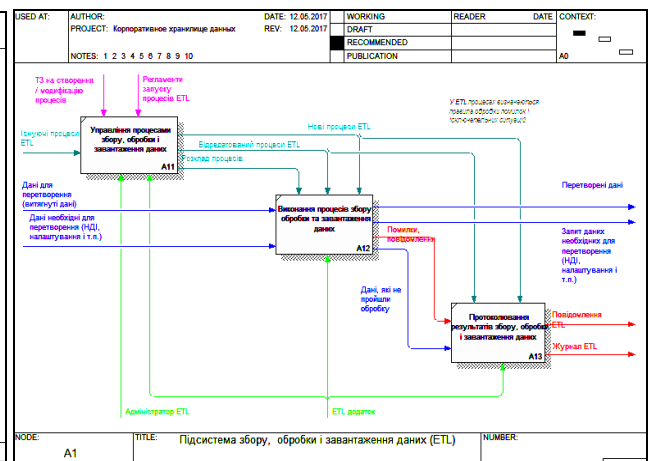


Рис. 3. Підсистема збору, обробки і завантаження даних

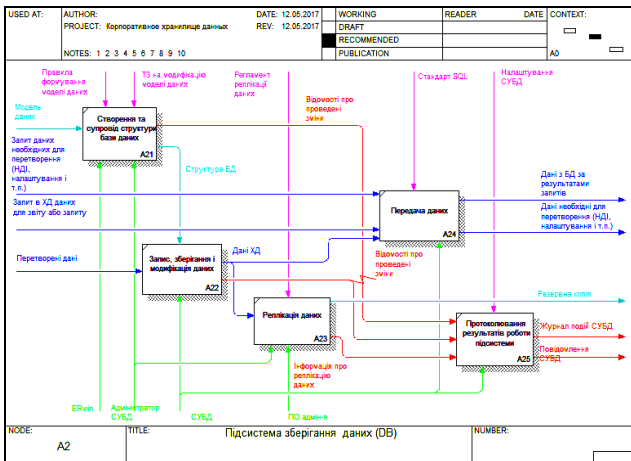


Рис. 4. Підсистема обробки даних

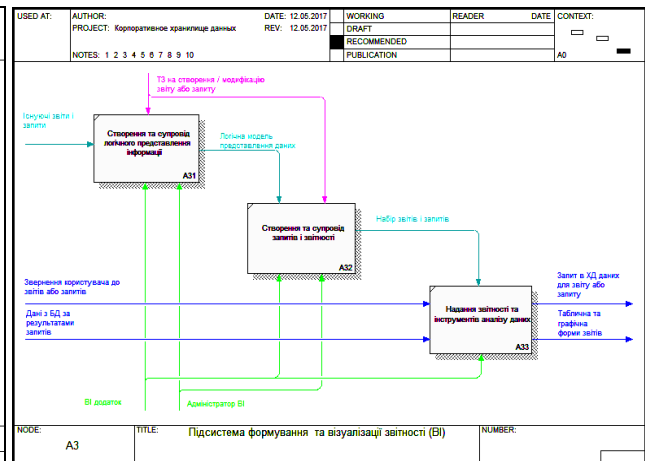


Рис. 5. Підсистема формування звітності

Аналіз публікацій дозволив виділити наступні існуючі методи інтеграції додатків на рівні даних:

- консолідація даних. Технологія, що застосовується при такому методі, має назву ETL (Extract-Transform-Load, тобто Витягування-Перетворення-Завантаження). Цей метод призначений для вилучення необхідної інформації з різноманітних систем, перетворення між вихідним і цільовим форматом і завантаження в цільову систему (наприклад, в сховище даних). Основними недоліками цього методу є: затримка поновлення даних, оскільки дані копіюються з систем з певною періодичністю; підвищені вимоги до потужності цільового місця зберігання;

- федералізація даних. При такому методі кожен з n джерел містить n-1 фрагментів коду, що забезпечують трансляцію запитів до інших джерел федерації і перетворення результатів. Це забезпечує єдину віртуальну картину різноманітних джерел даних. Цей метод позбавляє від необхідності копіювати дані (наприклад, в сховище даних) і дозволяє використовувати дані безпосередньо з джерела. Основним недоліком цього методу є нелінійно зростаюча складність забезпечення віртуальної картини при збільшенні кількості джерел даних;

- поширення даних. За допомогою спеціальних програмних компонентів здійснюється копіювання даних між різними додатками. Копіювання може відбуватися в синхронному або асинхронному режимі. До основних недоліків цього методу можна віднести: підвищені вимоги до потужності споживача даних; обов'язкову присутність кожної програми в мережі при синхронному режимі, а при асинхронному режимі може виникнути ситуація, коли дані в додатках, що синхронізуються не будуть співпадати;

- системи з медіатором. Медіатор - це програмний компонент, який забезпечує єдину точку входу для користувача запитів і єдиний віртуальне бачення різноманітних джерел даних. Медіатор транслює запит користувача до джерел даних на основі загальної схеми і перетворює результати від джерел в єдину форму подання. Кожне джерело даних має

адаптер, який перетворює запит із загальної схеми медіатора в схему джерела, а, потім, результати запиту перетворює назад в загальну схему. При підключенні нового джерела даних потрібно створити відповідний адаптер. Основним недоліком такого методу є те, що дані доступні, як правило, тільки для читання;

- системи з посиланням на масив. При такому методі тиражуються в єдине місце зберігання не всі дані з кожного запису, а тільки частина, що використовується для пошуку джерел даних, в яких містяться необхідні записи. До основних недоліків цього методу відноситься відсутність історичності даних і складна процедура емпіричного формування багатогранної структури єдиного довідкового масиву, зокрема, при додаванні нових джерел даних. Якщо контрольний масив оновлюється з деякою затримкою, то це негативно позначається на актуальності даних. Якщо ж оновлюється без затримки, то це може привести до нестачі ресурсів, необхідних для стабільного функціонування всієї системи (особливо при великій кількості джерел даних).

Розглянуті методи інтеграції даних є варіаціями двох основних механізмів підтримки розподілених СД:

- фрагментація даних - це розбиття СД або будь-якої її таблиці на фрагменти, які фізично зберігаються в різних БД, розташованих на різних вузлах комп'ютерної мережі і, можливо, управляються різними СУБД. Фрагментація даних дозволяє користувачам сприймати ці фрагменти так, як ніби вони працюють з локальною БД. Виділяють два основних види фрагментації таблиць: горизонтальна і вертикальна - це, відповідно, коли рядки і стовпці однієї логічної таблиці розподілені по декільком вузлам.

- реплікація даних - це процес копіювання даних з вихідного СД в цільову БД. При цьому дані можуть копіюватися інтенсивним або інертним способом. Інтенсивний спосіб передбачає, що зміни даних у вихідному СД будуть синхронно внесені в цільову БД як частина однієї транзакції. Інертний

спосіб передбачає, що зміни даних з вихідної БД будуть асинхронно внесені в цільову БД в рамках вже іншої транзакцією. Практично перевага віддається інертному способу, щоб підвищити надійність роботи розподілених ІС, оскільки можна вносити зміни в вихідну БД без необхідності чекати внесення змін до цільової БД, але, оскільки зміни переносяться з певною затримкою, то в якийсь момент дані можуть відрізнятись.

**Спосіб оптимізації структури сховища даних у вузлах мережі хмарного середовища.**

Розглядаються:  $n$  – кількість вузлів мережі з довільною структурою;  $m$  – кількість незалежних фрагментів розподіленої бази даних (РБД);  $K_j$  –  $j$ -й вузол мережі,  $j = \overline{1, n}$ ;  $F_i$  –  $i$ -й фрагмент РБД,  $i = \overline{1, m}$ ;  $L_i$  – об'єм  $i$ -го фрагмента;  $b_j$  – об'єм пам'яті вузла  $K_j$  призначеного для розміщення фрагментів;  $s$  – кількість класів запитів (наприклад, читання, додавання, оновлення, видалення записів БД);  $\lambda_{ij}^k$  – інтенсивність запитів  $k$ -го класу ( $k = \overline{1, s}$ ) до фрагмента  $F_i$  ініційованих у вузлі  $K_j$ ;  $\alpha_{ij}^k$  – обсяг запиту  $k$ -го класу ( $k = \overline{1, s}$ ) до фрагмента  $F_i$ , ініційованого у вузлі  $K_j$ ;  $\beta_{ij}^k$  – об'єм даних по запиту при виконанні запиту  $k$ -го класу ( $k = \overline{1, s}$ ) до фрагмента  $F_i$ , що поступив у вузол  $K_j$  [14].

Таким чином об'єм даних, що пересилаються, при виконанні запиту  $k$ -го класу до фрагмента  $F_i$ , ініційованого у вузлі  $K_j$ , визначається таким чином  $(\alpha_{ij}^k + \beta_{ij}^k)(1 - x_{ij})$ . При цьому  $x_{ij} (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$  визначається таким чином:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо фрагмент } F \text{ знаходиться у вузлі } K_j; \\ 0, & \text{в інакшому випадку.} \end{cases} \quad (1)$$

Оскільки інтенсивність  $\lambda_{ij}^k$  породжує об'єм даних  $\lambda_{ij}^k (\alpha_{ij}^k + \beta_{ij}^k)(1 - x_{ij})$ , що потребують пересилки, то загальний об'єм даних, які необхідно переслати по каналам зв'язку між вузлами внаслідок функціонування розподіленої системи впродовж одиниці часу, визначається:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s \lambda_{ij}^k (\alpha_{ij}^k + \beta_{ij}^k)(1 - x_{ij}). \quad (2)$$

Якщо покласти, що  $\lambda = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s \lambda_{ij}^k$ , то цільова

функція задачі оптимального розподілу фрагментів по вузлах ОМ буде мати вигляд:

$$V = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s \lambda_{ij}^k (\alpha_{ij}^k + \beta_{ij}^k)(1 - x_{ij}). \quad (3)$$

Очевидно, чим менше значення середнього об'єму даних  $V$ , що пересилаються в одиницю часу, тим вище швидкість обслуговування запитів в системі. Усі повідомлення, що поступають у вхідні черги вузлів, розподіляються на два типи:

тип 1 – повідомлення, складові запити, для обробки яких необхідні фрагменти які не зберігаються в БД вузла, і відповіді на ці запити;

тип 2 – повідомлення, що становлять запити, для обслуговування яких потрібні фрагменти які зберігаються в БД відповідного вузла. При цьому вважаємо, що запит типу 1, для свого обслуговування у віддалений вузол, перетворюється на запит типу 2.

Оскільки кожен фрагмент  $F_i (i = \overline{1, m})$  повинен знаходитися в одному з вузлів ОС, тоді

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq 1, i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Щоб наблизити модель до реальних систем, необхідно ввести коефіцієнт реплікації фрагментів RC. Цей параметр визначає кількість копій кожного фрагмента, розподілених по вузлах мережі. При цьому можливі два варіанти застосування цього коефіцієнта :

- коефіцієнт реплікації фрагментів RC визначає точну кількість копій кожного фрагмента (строга умова), тобто  $\sum_{j=1}^n x_{ij} = RC, i = \overline{1, m}$ .

- коефіцієнт реплікації фрагментів, який визначає максимальну кількість копій кожного фрагмента (нестрога умова), тобто  $\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq RC, i = \overline{1, m}$ .

Тоді обмеження по кількості реплік фрагментів виглядатиме таким чином:

для строгої умови:  $1 \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} = RC, i = \overline{1, m}$ .

для нестрокої умови:  $1 \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq RC, i = \overline{1, m}$ .

Крім того, об'єм локальної БД кожного вузла  $K_j (j = \overline{1, n})$  не повинен перевищувати об'єм пам'яті цього вузла, призначений для розміщення фрагментів. Тому

$$\sum_{i=1}^m L_i x_{ij} \leq b_j, j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Таким чином, завдання оптимального розподілу фрагментів по вузлах ОМ полягає в тому, щоб визначити значення змінних  $x_{ij}$ , де  $x_{ij} = \{0; 1\} (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$ , які задовольняють умовам і дають

мінімум лінійної функції. Отримана математична модель є задачею цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними. Сутність запропонованого способу полягає у наступному [13, 15]. В блоці сортування даних по відношенню значення коефіцієнтів функціонала до різниці між максимальним та мінімальним значенням ваги матриці обмежень 1 виконується сортування:

$$\Psi_j = c_j / \left( \max_i a_{ij} - \min_i a_{ij} \right), \quad (6)$$

де  $a_{ij} = a_{ij}/b_i$ .

Обчислювальний пристрій 3 здійснює обчислення локальних екстремумів при заданому функціоналі та обмеженні, а також визначення (обчислення) номеру вершини, у якій локальний екстремум (ЛЕ) визначений за правилом

$$d_c(\mu_{sp}^r) + \gamma_p < \max_{\{c_j\}} \{d_c(\mu_{sp}^r)\}. \quad (7)$$

З вершини  $s$  графа  $\Delta D$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}$ ,  $j = (\overline{1, n})$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і в множинах  $m_{sj}^{r=1}$  визначаються шляхи максимальної довжини  $\{\mu_{sj}^r\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  визначається вага:

$$\gamma_j = c_{j+1} + c_{j+2} + \dots + c_n, \quad \gamma_n = 0; \quad j = (\overline{1, n-1}). \quad (8)$$

Виключаються шляхи  $\{\mu_{sp}^r\}$ ,  $p = (\overline{r, n})$  у множині  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжини якої  $d_c(\mu_{sp}^r)$  задовольняють нерівності

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad (9)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \quad j = (\overline{1, n}), \quad a_{ij} > 0, \quad c_j > 0. \quad (10)$$

Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}$ ,  $p = (\overline{1, n})$  наступного рангу, що задовольняє

властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі правила відсікання неперспективних варіантів рішень по вибору мінімального значення довжини шляху в графі за вагою обмеження на основі принципу оптимізації за напрямком

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \min_{\{\alpha_j\}} \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \} \quad p = \overline{r+1, n}, \quad j = \overline{r, n}, \quad j \neq p. \quad (11)$$

У визначених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяються щонайдовші шляхи  $\{\mu_{sp}^{r=r+1}\}$ . Якщо визначиться

декілька шляхів мінімальної довжини за вагою обмеження, то серед них вибирається шлях з найбільшим значенням довжини за вагою функціонала  $c_j$ .

Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо умова виконується, то в множинах виділяється шлях максимальної довжини за вагою функціонала і алгоритм закінчує роботу. Якщо умова не виконується, то перевіряється  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності в множині виділяється шлях максимальної довжини за вагою функціонала і алгоритм закінчує роботу, інакше  $r$  збільшується на 1 і виконується обчислення.

Кожен процесорний елемент 4 обчислювального пристрою 3 виконує обчислення паралельно та здійснює обмін даними між сусідніми процесорними елементами після завершення обчислень. Блок реєстрів 5 кожного процесорного елемента 4 зберігає і забезпечує мікрооперації передачі даних між регістрами блока реєстрів сусідніх процесорних елементів. Арифметичний обчислювач 6 обчислює локальні екстремуми на підставі даних, що надходять з блока реєстрів, вибирає локальний екстремум за правилом (10) і пересилає його в обчислювальний пристрій формування вектора шляху 8 для обчислення глобального екстремуму та формування вектора шляху. Блок ідентифікації 7 визначає номер вершини, у якій локальний екстремум визначений (рис. 6).

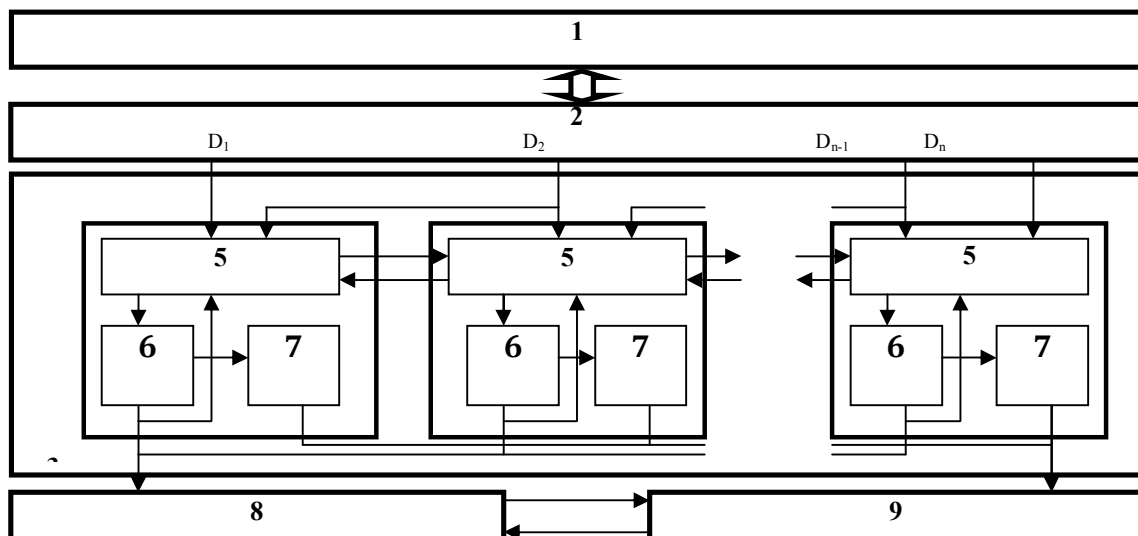


Рис. 6. Пристрій для рішення задач на графах

Модуль пам'яті 9 зберігає номери вершин локальних екстремумів на кожному рангу обчислень. Дані  $D_1, D_2, \dots, D_n$  надходять одночасно в кожен систолічну комірку обчислювального пристрою, в яких здійснюється обчислення. Введення даних здійснюється за допомогою блока управління систолічним процесом 2 із блока сортування даних по відношенню значення коефіцієнтів функціонала до різниці між максимальним та мінімальним значенням ваги матриці обмежень 1.

## Висновки

В ході проведення досліджень виконано аналітичний огляд технологій зберігання і обробки великих даних, аналіз методів інтеграції додатків на рівні даних, а також показано підхід до оптимізації структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища.

## Список літератури

1. Buaya R. et al. *Big Data Analytics-Enhanced Cloud Computing: Challenges, Architectural Elements, and Future Directions* // *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2015 IEEE 21st Int. Conference on. - IEEE, 2015. - С. 75-84.*
2. Dean J., Ghemawat S. *MapReduce: simplified data processing on large clusters* // *Communications of the ACM. - 2008. - Т. 51. - №. 1. - С. 107-113.*
3. Deelman E., Chervenak A. *Data management challenges of data-intensive scientific workflows* // *Cluster Computing and the Grid, 2008. CCGRID'08. 8th IEEE International Symposium on. - IEEE, 2008. - С. 687-692.*
4. *Hadoop Cluster Setup [Електронний ресурс]:* *руководство пользователя. - Режим доступа: [http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/cluster\\_setup.html](http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/cluster_setup.html). - Загл. с экрана (дата обращения: 30.05.2017. [Electronic resource].*
5. Phillips P. J. et al. *Overview of the face recognition grand challenge* // *Computer vision and pattern recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE computer society conference on. - IEEE, 2005. - Т. 1. - С. 947-954.*
6. Ranganathan K., Foster I. *Decoupling computation and data scheduling in distributed data-intensive applications*

// *High Performance Distributed Computing, 2002. HPDC-11 2002. Proceedings. 11th IEEE International Symposium on. - IEEE, 2002. - С. 352-358.*

7. Szabo C. et al. *Science in the cloud: Allocation and execution of data-intensive scientific workflows* // *Journal of Grid Computing. - 2013. - С. 1-20.*

8. Tian Y. et al. *From "think like a vertex" to "think like a graph"* // *Proceedings of the VLDB Endowment. - 2013. - Т. 7. - №. 3.*

9. Wiczeorek M., Prodan R., Fahringer T. *Scheduling of scientific workflows in the ASKALON grid environment* // *ACM SIGMOD Record. - 2005. - Т. 34. - №. 3. - С. 56-62.*

10. Афанасьев А. П. и др. *Программный комплекс для решения задач дискретной оптимизации на распределенных вычислительных системах* // *Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2006. - Т. 25. - С. 5-17.*

11. Ильин В. А. и др. *Способ запуска и обработки в гриде заданий, подготовленных для различных сред исполнения* // *Вычислительные методы и программирование. - 2008. - Т. 9. - №. 2*

12. Кореньков В. В., Кутковский Н. А., Семенов Р. Н. *Опыт адаптации прикладных программных пакетов для работы в грид-средах* // *Компьютерные исследования и моделирование. ISSN. - 2012. - С. 2076-7633.*

13. Місюра О.М., Третьяк В.Ф., Більчук В.М. *Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах мережі хмарного середовища. /Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, №1 (26). - 2017. - С. 92-96*

14. Патент на корисну модель № 92968, Україна, МПК G06 F15/00. *Спосіб обробки та захисту інформації в розподілені сховищах даних / В.Ф. Третьяк, В.В. Бараннік та ін. - № u201403994; заяв. 14.04.2014; опубл. 10.09.2014; Бюл. № 17. - 5 с.*

15. Третьяк В.Ф., Корнієнко А.А. *Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах мережі хмарного середовища. Наука. Економіка. Інновації / Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, Чернівці, 15-16 січня 2017 р. - Т. 1. - Київ: Науково-видавничий центр «Лабораторія думки», 2017. - С. 7-9.*

Надійшла до редколегії 16.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.І. Бараннік, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ В УЗЛАХ ИНФОКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ

В.Ф. Третьяк, А.А. Пашнева

Главной идеей статьи является анализ методов и технологий работы с большими данными, анализ методов интеграции приложений на уровне данных, а также показать подход к оптимизации структуры хранилища данных в узлах инфокоммуникационной сети облачного среды. Особое внимание было уделено ранговому подходу к решению задачи оптимизации структуры хранилища данных в узлах сети облачного среды.

**Ключевые слова:** большие данные, репликация, ранговый подход, хранилище данных, инфокоммуникационная сеть, интеграция, тиражирование данных, облачная среда, фрагментация.

## OPTIMIZATION OF REPOSITORIES UNITS INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK CLOUD ENVIRONMENTS

V.F. Tretiak, A.A. Pashnyeva

The main idea of the article is to analyze the methods and technologies for working with large data analysis methods of integration applications data and see approach to optimize the structure of data storage nodes in the network cloud environment. Particular attention was paid Ranked approach to solving the problem of optimizing the structure of data storage network nodes in the cloud environment.

**Keywords:** big data replication rank approach, data storage, information and communication network, integration, replication of data cloud environment, fragmentation.



УДК 528.8

И.Б. Туркин, О.С. Бутенко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДИ ТАЯНИЯ ЛЕДНИКОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Рассмотрены существующие методы мониторинга изменения геометрических характеристик ледников. Проведен тематический анализ космических снимков ледникового покрова Гренландии. На основе анализа статистических данных относительно изменения температуры и уровня мирового океана за период с 1999 по 2012 гг., была сформирована методика изменения геометрических характеристик ледников с учетом известных значений разнородных факторов влияния по архивным данным. Был произведен расчет прогнозных коэффициентов, построена картографическая модель изменения площади ледников до 2020г.*

**Ключевые слова:** таяние, ледники, температура, геометрические характеристики, данные космического мониторинга, факторы влияния, космические снимки, статистические данные.

### Актуальность проблемы

Как известно, ледники – природные образования, представляющие собой скопление льда атмосферного происхождения. На поверхности Земли ледники занимают более 16 млн. кв. км, то есть около 11% всей площади суши, а их общий объем достигает 30 млн. куб. км. Поэтому, при современных климатических изменениях, в частности, с постепенно продолжающимся повышением температуры воздуха у поверхности Земли, наблюдается усиленное таяние ледников [1]. Существенное увеличение темпов сокращения ледниковых покровов отмечается практически во всех районах земного шара, что в свою очередь, дает возможность не только изучить зависимость таяния ледников от повышения температуры, но и проанализировать полученные данные для оценки динамики и определения тенденций дальнейшего изменения геометрических характеристик ледников. Особенно это касается площади и толщины ледяного покрова.

В условиях глобального потепления, которое влечет за собой ряд неблагоприятных изменений в состоянии окружающей среды, начиная с повышения земной температуры, что в свою очередь приводит к таянию ледников, дисбалансу в экосистемах и к повышению уровня мирового океана. Как следствие, возрастает необходимость исследований, связанных с определением коэффициентов усиления воздействия различных факторов, вызывающих максимальные изменения и выявлением определенных закономерностей коэффициентов степени максимального влияния (согласно алгоритму Флойда-Уоршелла) с увеличением негативного воздействия на окружающую среду [2]. В связи с этим, согласно выводам Межправительственной комиссии по изменениям климата, несмотря на достигнутые к на-

стоящему времени результаты, выявление особенностей и определение динамики оледенения остается одной из самых актуальных задач [3].

Таким образом, целесообразным является разработка методики формирования геоинформационных моделей оценки текущего состояния и изменения геометрических характеристик ледников на основе данных космического мониторинга.

### 1. Анализ методов мониторинга ледников по данным ДЗЗ

Как правило, основным способом получения данных о ледовой обстановке являются визуальные наблюдения с наземных метеорологических станций, судов и самолетов. Однако, существующие методы обработки данных, полученных таким способом, достаточно трудоемки и малоэффективны. Обработке данными методами свойственны недостаточная точность определения характеристик и привязки к месту съемки, субъективность количественных оценок, малая обзорность, высокая стоимость и ограниченность во времени и пространстве. Все вышеперечисленные факторы сделали процесс наблюдения за ледниками крайне сложным [4, 5].

Зачастую, для решения такого класса задач используются такие методы наблюдения как:

1) спутниковая альтиметрия (спутниковые лазерные альтиметры с высоким разрешением для определения динамики изменений толщины быстро движущихся прибрежных ледников);

2) оценка состояния ледников по данным спутниковой гравиметрии GRACE (спутниковые измерения направлены на изучение временных вариаций гравитационного поля Земли, связанных, в частности, с процессами изменения климата);

3) глобальное позиционирование (GPS) (состоящее из 18 рабочих искусственных спутников,

размещенных симметрично на трех круговых орбитах, системы управления и пользователей). Каждый спутник из подсистемы А системы глобального позиционирования снабжен микропроцессором для обработки данных, приемником и передатчиком для связи с наземной системой управления и для передачи сигналов пользователям. Система управления объединяет операторов и наблюдателей, рассредоточенных по всей планете. Такой подход позволяет в полевых условиях проводить съемку поверхности ледника и строить карты высоты поверхности, а сам прибор достаточно прост в эксплуатации [6];

4) интерферометрические исследования ледников (метод радарной интерферометрии основан на съемке с близких параллельных орбит. Разность фаз полученных сигналов зависит от разности расстояний до цели. Интерферограмма определяет разность фаз от вариаций высоты рельефа и типа подстилающей поверхности. Данные радарной интерферометрии используются, как правило, для обнаружения и измерения подвижек ледников, при численном моделировании пространственно-временных вариаций баланса массы ледника).

В настоящее же время исследование ледников трудно представить без использования спутниковых методов и технологий [1]. Система непрерывного и комплексного отслеживания состояния ледников, контроля и учета количественных и качественных характеристик во времени, а также система прогноза сохранения и развития состояния ледниковых объектов — неотъемлемая составляющая оценки текущего состояния [3].

## 2. Мониторинг ледников Гренландии

**2.1 Анализ площадных характеристик ледников Гренландии на основе данных космического мониторинга.** Слои замороженной морской воды, известной просто как морской лед, представляют собой «шапку» Северного Ледовитого океана. Увеличение ледяного покрова стремительно возрастает каждую зиму и обычно достигает своего максимума к марту. Совершенно очевидно, что стремительное таяние ледников происходит летом, достигая своего минимума в сентябре. Для определения количественных характеристик, определяющих концентрацию арктического морского льда были использованы космические снимки, временной ряд которых определялся в период с 1999 по 2012 годы для «пиковых» месяцев сентября и марта соответственно [7].

Анализ данных, полученных в результате тематической обработки космических снимков, показал, что летом 2007 года площадь арктического морского льда установила рекордно низкий уровень в начале августа — более чем за месяц до конца сезона таяния. В последующие годы, лед летом на море показывал

относительно нормальную степень таяния. В 2012 году был установлен новый рекордный минимум — более чем на 700 000 квадратных километров ниже минимума в 2007 году. При этом, определено, что движущим фактором в 2012 году было большое количество тонкого льда, который более восприимчив к плавлению от потепления температуры и к распаду ветрами и волнами [8].

Таблица 1

Данные о площади ледников за 1999 – 2012 гг.

Года <sup>¶</sup> (Сентябрь-/март) <sup>□</sup>	Сентябрь-средней- протяженности <sup>¶</sup> (млн.кв.км) <sup>□</sup>	Март-средней- протяженности <sup>¶</sup> (млн.кв.км) <sup>□</sup>
1999/2000 <sup>□</sup>	6,2 <sup>□</sup>	15,3 <sup>□</sup>
2000/2001 <sup>□</sup>	6,3 <sup>□</sup>	15,6 <sup>□</sup>
2001/2002 <sup>□</sup>	6,8 <sup>□</sup>	15,4 <sup>□</sup>
2002/2003 <sup>□</sup>	6,0 <sup>□</sup>	15,5 <sup>□</sup>
2003/2004 <sup>□</sup>	6,2 <sup>□</sup>	15,1 <sup>□</sup>
2004/2005 <sup>□</sup>	6,1 <sup>□</sup>	14,7 <sup>□</sup>
2005/2006 <sup>□</sup>	5,6 <sup>□</sup>	14,4 <sup>□</sup>
2006/2007 <sup>□</sup>	5,9 <sup>□</sup>	14,7 <sup>□</sup>
2007/2008 <sup>□</sup>	4,3 <sup>□</sup>	15,2 <sup>□</sup>
2008/2009 <sup>□</sup>	4,7 <sup>□</sup>	15,2 <sup>□</sup>
2009/2010 <sup>□</sup>	5,4 <sup>□</sup>	15,1 <sup>□</sup>
2010/2011 <sup>□</sup>	4,9 <sup>□</sup>	14,6 <sup>□</sup>
2011/2012 <sup>□</sup>	4,6 <sup>□</sup>	15,2 <sup>□</sup>

**3.2 Анализ изменения температуры за период с 1999 по 2012 гг.** Глобальное потепление является собой необычно быстрое увеличение средней температуры на поверхности Земли. За последние сто лет, в основном, это происходило за счет парниковых газов, образуемых в результате сжигания топлива людьми. Мировая средняя температура выросла на 0,6 - 0,9 градуса по Цельсию (1,1 до 1,6 F) между 1906 и 2005. Еще больше скорость роста температуры удвоилась за последние 50 лет и продолжает стремительно повышаться (рис. 1) [3].

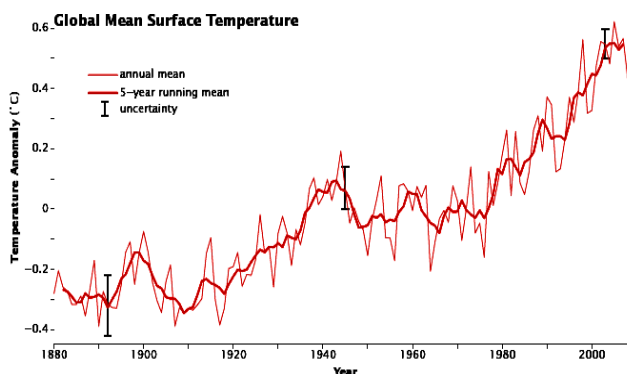


Рис. 1. График изменения приземной температуры Земли

Имея среднестатистические данные, можно заключить, что за период 1999-2012 годов, происходили некоторые скачки в температурном режиме, а средняя температура по сентябрю за 2012 относи-

тельно 1999 увеличилась больше чем на 2°, что свидетельствует о глобальном потеплении (рис. 1).

**2.3 Анализ изменений уровня мирового океана.** Если провести анализ причин и последствий глобального потепления, то изменение погоды - не единственное на что влияет глобальное потепление. Таяние ледников приводит к повышению уровня моря, следствием чего станут более частые затопления прибрежных регионов. Некоторые островные государства исчезнут. Это является очень серьезной проблемой, потому что до 10 процентов населения мира живет в уязвимых районах, менее 10 метров над уровнем моря [9].

Анализ статистических данных показал, что между 1970 и 2000 годами, уровень моря возрос где-то на 1,7 миллиметра в год, в среднем. Если рассматривать общее повышение уровня моря, то оно достигает 221 миллиметров. Начиная с 1993 года, спутники НАСА показали, что уровень моря поднимается быстрее, примерно в 3 миллиметра в год, а в общей сложности - повышение уровня моря на 48 миллиметров (0,16 футов или 1,89 дюйма) в период между 1993 и 2009 годами (рис. 2).

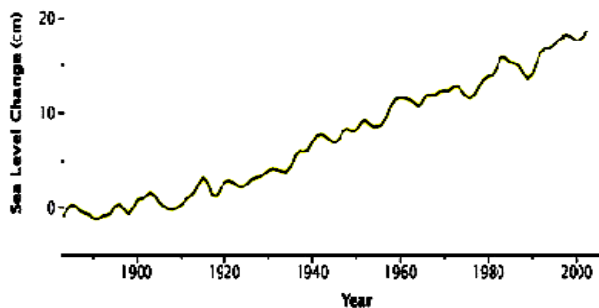


Рис. 2. График изменения уровня мирового океана

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) считает, что уровень Мирового океана поднимется от 0,18 до 0,59 в год.

### 3. Математическое моделирование изменений геометрических характеристик ледников

При оценке текущего состояния и исследовании динамики геометрических изменений состояния ледников, в упрощенном варианте предлагается за основу для построения математической модели взять классическое уравнение плоскости  $Z=AX+BY+C$ . Поскольку уравнение содержит три неизвестных составляющих, то для их определения была составлена система из трех уравнений:

$$\begin{cases} Z_1 = AX_1 + BX_1 + C, \\ Z_2 = AX_2 + BX_2 + C, \\ Z_3 = AX_3 + BX_3 + C, \end{cases}$$

где  $X_1$  – max значение температуры;  
 $X_2$  – min значение температуры ;

$X_3$  – среднее значение температуры;  
 $Y_1$  – max значение уровня мирового океана;  
 $Y_2$  – min значение уровня мирового океана;  
 $Y_3$  – среднее значение уровня мирового океана;  
 $Z_1$  – max значение площади ледового покрова по данным ДЗЗ, взятое из табл. 1;  
 $Z_2$  – min значение площади ледового покрова по данным ДЗЗ ;  
 $Z_3$  – среднее значение площади ледового покрова по данным ДЗЗ;

$A, B, C$  – искомые коэффициенты, позволяющие определить показатель, определяющий силу максимального воздействия факторов, влияющих на прогнозный показатель динамики объекта [10].

Неизвестные коэффициенты  $A, B, C$  являются основными компонентами для дальнейшего изучения изменений геометрических характеристик ледников. Для их определения был использован программный продукт MathCAD, в который были занесены две системы уравнений с известными значениями.

Коэффициенты  $A, B, C$  были подсчитаны автоматически и представлены в табл. 2.

Таблица 2  
 Значения прогнозных коэффициентов

Коэффициент	Значение за сентябрь	Значение за март
<b>A</b>	-0,099	-0,583
<b>B</b>	0,374	0,465
<b>C</b>	3,128	25,654

Определенные коэффициенты  $A, B, C$  (табл. 2) по сентябрю и марту, дают возможность для анализа и определения дальнейшей тенденции изменений геометрических характеристик ледников.

В соответствии с полученными коэффициентами была создана карта прогнозирования изменений площади ледников Гренландии до марта 2020 года.

Анализ научной литературы по данной тематике показал, что в результате статистических исследований, связанных с изучением изменения климата на Земле, рядом ученых был сделан вывод о том, что уровень мирового океана поднимается приблизительно на 0.7 мм ежегодно, а среднегодовая температура к 2020 году повысится где-то на 1 градус С.

Для проверки адекватности построенного прогноза был проведен сравнительный анализ реальных данных с рассчитанными. Расхождение в прогнозе и реальных данных составило порядка 2%. Учитывая известные показатели и реальные данные за 2012 год рассчитанная площадь ледникового покрова на прогнозируемый год ( $Z^* = 13,84$ ) и реальный, а также построенный прогноз до 2020 года отображен в виде карты и представлен на рис. 3.

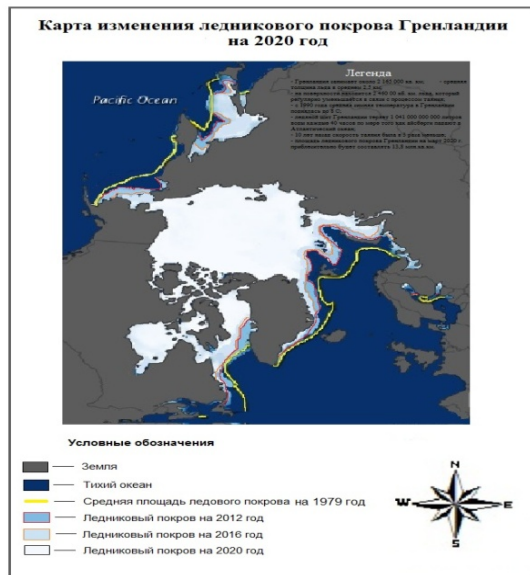


Рис. 3. Картографическая модель состояния ледникового покрова на март 2020 года

## Выводы

В современном мире наиболее целесообразным является не проведение натуральных экспериментов в реальных условиях, а их моделирование с использованием мощных технических средств и последних достижений науки. Особенно это касается математического моделирования, которое используется для приближенного описания какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженного с помощью математической символики.

Предложенная методика построения геоделей позволяет не только определить дальнейшую тенденцию изменений объекта мониторинга, но и смоделировать прогнозируемые изменения геометрических характеристик ледников за счет определения основных компонент, характеризующих степень влияния разнородных факторов, в единой системе уравнений. Такой подход может служить основой

для оперативного принятия решений по предупреждению негативных последствий, обусловленных изменением климата и в будущем.

## Список литературы

1. Mapexpert - [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=24&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=24&table=news). – 24.05.2013
2. Gorelik S.I. Method of creating a comprehensive geo-model of potentially under floodable zones with limited a priori information [Text] / S.I. Gorelik, O.S. Butenko, G.Y. Krasovsky // *News of Science and Education*. – 2014. – № 21 (21). – С. 28-36.
3. Электронный учебно-методический комплекс. - [http://www.kgau.ru/distance/zuf\\_05/nezamov-monitoring/00d\\_biblio.html](http://www.kgau.ru/distance/zuf_05/nezamov-monitoring/00d_biblio.html). - 24.05.2012
4. Российская академия наук институт географии – <http://igras.ru/index.php>, /r-172i-38 – 24.05.2013 Лундсей, RW, Дж. Чжан: Истончение арктического морского льда 2005 год.
5. Бутенко О.С. Синтез методов комплексного анализа данных мониторинга экосистем в условиях информационной неопределенности [Текст] / О.С. Бутенко // *Системы обработки информации: сб. науч. пр. / ХУПС*. – X., 2012. – Вып. 9 (107). – 237–241 с.
6. Паркинсон С.Л., Cavalieri D.J., Gloersen H.J.: Арктический морской лед степени, областей и направлений, - 1978-1996 год, 104 (С9):20837-20856.
7. Курбатова И.Е. Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных объектов.
8. Российская академия наук институт географии – <http://igras.ru/index.php>, /r-172i-38 – 24.05.2013 Лундсей, RW, Дж. Чжан: Истончение арктического морского льда 2005 год.
9. Алексеева Т.А., Фролов С.В. Сравнительный анализ спутниковых и судовых данных о ледяном покрове в морях Российской Арктики//*Исследование Земли из космоса*. 2012 №6. С. 69-76.
10. Бутенко О.С. Метод определения индикаторов прогнозируемого состояния экологических объектов [Текст] / О.С. Бутенко // *Системы обработки информации: сб. науч. пр. / ХУПС*. – X., 2012. – Вып. 7 (105). – 270–272 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяев, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ФОРМУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВИКІВ ЗА ДАНИМИ ДДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

І.Б. Туркін, О.С. Бутенко

У даній статті розглянуті існуючі методи моніторингу зміни геометричних характеристик льодовиків. Проведений аналіз космічних знімків льодовикового покриву Гренландії. На основі аналізу статистичних даних відносно зміни температури і рівня світового океану за період з 1999 по 2012 рр., була сформована методика зміни геометричних характеристик льодовиків з урахуванням відомих значень різнорідних чинників впливу за архівними даними. Був проведений розрахунок прогнозних коефіцієнтів і побудована картографічна модель змін площі льодовиків до 2020 р.

**Ключові слова:** танення, льодовики, температура, геометричні характеристики, дані космічного моніторингу, фактори впливу, космічні знімки, статистичні дані.

## FORMING OF GIS MODEL OF CHANGE OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS GLACIER ON REMOTE SENSING DATA

I.B. Turkin, O.S. Butenko

In this paper reviewed the existing methods of monitoring changes in the geometric characteristics of the glaciers. We analyzed satellite images of the ice sheet in Greenland. Based on the analysis of statistical data regarding changes in temperature and global sea level during the period from 1999 to 2012. Was formed technique changes the geometric characteristics of glaciers in view of the known values of diverse influences. Was calculated unknown coefficients and cartographic visualization techniques formulated.

**Keywords:** melting glaciers, temprache, geometric characteristics, diverse influences, satellite images, statistical data.

УДК 004.932

В.Г. Худов<sup>1</sup>, О.М. Маковейчук<sup>2</sup>, І.А. Хижняк<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Львів<sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕВОЛЮЦІЙНОГО МЕТОДУ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ, ЩО ОТРИМАНО З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Проведено сегментування еволюційним методом зображення, що отримане з бортових систем оптико-електронного спостереження. Для оцінки ефективності еволюційного методу сегментування у якості порівняльного методу обраний метод виділення контурів Канні. Проаналізовані відомі показники оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень. У якості показника оцінки сегментування еволюційним методом і методом Канні обрано інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера. Наведена залежність інформаційного розходження (виграшу) Кульбака-Лейбнера від зміни масштабу зображення для двох методів сегментування. Встановлено, що сегментування еволюційним методом дає виграш у значенні інформаційного показника на 7-16%.*

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, еволюційний метод, оцінка якості, система спостереження, інформаційний показник, відстань Кульбака-Лейбнера, масштаб зображення.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

У теперішній час велика кількість публікацій, що присвячені сегментуванню оптико-електронних зображень, присвячена розробці, модернізації та застосуванню багатьох методів сегментування зображення [1 – 8]). Таким чином, перед розробниками систем обробки зображень стає непроста проблема вибору найбільш адекватних їх задачам методів з множини тих, що запропоновані у відомій літературі. Це, в свою чергу, зумовлює розробку методик та методів оцінки якості сегментування зображень.

**Мета статті** – оцінити якість сегментування еволюційним методом зображення, що отримано з борта системи спостереження, з використанням інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На теперішній час основні критерії і показники розроблені для двох основних підходів до сегментування зображення [1, 2, 4, 5]:

1) розділення зображення контурами на області зі схожими характеристиками (в англійській термінології – edge-based methods (boundary-based, contour-based);

2) об'єднання пікселів зображення в групи на основі близькості деяких кількісних ознак (region-based methods).

Для оцінки результатів роботи методів першої групи використовуються, в основному критерії і показники такі ж самі, що і для детекторів границь (такі показники наведені в [5-7, 9]). Критерії оцінки якості методів сегментування зображення, що відносяться до другої групи наведені в [9].

Основні відмінності методів оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень наступні [1, 5, 8, 9]:

- різні набори тестових зображень, які відрізняються як по типу зображення (реальні або синтезовані), так і по розміру, кількості, джерелам (оригінальні зображення або зображення з доступних баз даних) і т.і.;

- різні процедури вибору оптимальних параметрів методів обробки;

- різні критерії оцінки якості сегментування (кількісні або якісні; ті, що використовують еталонні сегментовані зображення або ні).

Відомі показники якості сегментування зображення класифікуються наступним чином [5, 6-9].

1. Перша група – це показники, які засновані на порівнянні з еталонним сегментуванням, наприклад:

- кількість пікселів, що віднесені при сегментуванні не до свого сегменту;

- показники, що характеризують неправильне місце розташування класифікованих пікселів;

- показники, що характеризують ступінь фрагментації зображення;

- показники, що характеризують значення характеристик вихідного зображення, що використовуються для сегментування.

2. Друга група – показники, які не потребують наявності еталонного сегментування, наприклад:

- показник, що враховує однорідність сегментів, який заснований на обчисленні дисперсії величини відповідної ознаки зображення, що використовується для сегментування;

- показник, що враховує контраст між сегментами;

- комплексний показник, який, наприклад, враховує як однорідність сегментів, так і їх кількість.

Однак, наведені вище показники оцінки якості сегментування зображення мають такі недоліки [5]:

- іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;
- не враховується розташування помилкових пікселів відносно відповідного сегменту – тому помилка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;
- не враховується різниця у важності окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;
- відсутня інформація по клас пікселів, що вносить найбільшу помилку.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Еволюційний метод сегментування роботі зображення, що отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження представлений в роботах [10, 11]. Сегментування зображення еволюційним методом можна представити як сукупність наступних ділянок руху агентів: вихідна точка маршруту (ВТМ), прямі ділянки, кінцева точка маршруту (КТМ). Прямі ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна напрямку руху агенту [10, 11]. В кожній ітерації ітераційного процесу  $m$  агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на знайденому маршруті. Кожний  $m$ -й агент при сегментуванні зображення починає шлях з ВТМ, послідовно проходить вибрані методом ПТМ і завершує шлях в одній з КТМ. Вибір ПТМ з  $J$  можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає

ймовірність  $P_i^m(t)$  переходу  $m$ -го агента в  $i$ -у ПТМ з врахуванням привабливості  $i$ -ї ділянки маршруту  $L_i$  та концентрації феромонів на цій ділянці  $F_i$  в момент часу  $t$  наступним чином:

$$P_i^m(t) = F_i(t)^\alpha \cdot L_i^\beta / \sum_{j=1}^J (F_j(t)^\alpha \cdot L_j^\beta), \quad (1)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри, що задають вагу феромона і привабливості ділянки, відповідно.

Вважаємо, що привабливість ділянки маршруту  $L_i$  в еволюційному методі обернено пропорційна затратам на подолання ділянки, тобто:

$$L_i = 1/D_i, \quad (2)$$

де  $D_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки маршруту.

На початку ітераційного процесу кількість феромону на ділянках маршруту приймається однаковою і рівною деякому невеликому числу  $F_0$ . Після кожної ітерації концентрація феромонів на вибраних агентами ділянках оновлюється за правилом:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (3)$$

де  $\rho \in [0,1]$  – швидкість випаровування феромону;

$\Delta F_i^m$  – концентрація феромону на  $i$ -й ділянці маршруту, що створюється проходженням  $m$ -го агента.

В результаті проведення певної кількості ітерацій визначаються найпривабливіші за вибраним критерієм маршрути, концентрація феромону на яких максимальна. Феромон на непривабливих маршрутах поступово «висихає» і непривабливі маршрути зникають. У якості вихідного обрано вихідне зображення (рис. 1, а) [12]. Результат сегментування еволюційним методом вихідного зображення (рис. 1) наведений на рис. 1, б [10, 11].



Рис. 1. Вихідне зображення [12] (а) та результати його сегментування еволюційним методом [10, 11] (б) та методом Канні (в)

Для порівняння якості сегментування оптико-електронного зображення (рис. 1, а) еволюційним методом проведемо сегментування цього зображення (рис. 1, а) методом виділення контурів Канні [13]. Метод виділення контурів Канні є оптимальним по

таким параметрам [13]: критерії виділення контурів – метод повинен виділяти як можна більше існуючих на зображенні границь; локалізації країв – контури, що виділені, повинні розташовуватися як можна ближче до границі на зображенні; мінімізація

кількості відкликів одного краю – кожен контур повинен відмічатися один раз і, якщо можливо, контури не повинні створюватися з причини шумів.

В роботах Канні, наприклад [13], введено поняття Non-Maximum Suppression, яке означає, що пікселями границь є точки, в яких досягається максимум градієнта у напрямку вектору градієнта. Етапи методу Канні наводяться нижче.

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

$$f(x, y) = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{(2\sigma^2)}\right) / (2\pi\sigma), \quad (4)$$

де  $(x, y)$  - координати пікселя;  $f(x, y)$  - яскравість зображення;  $\sigma$  - параметр розмиття.

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

2. Пошук градієнту. Для визначення градієнту на зображенні після фільтру Гауса (4) будемо використовувати оператор Собеля [14], схема просторової фільтрації з використанням якого наведена на рис. 2 [14]. Основою перетворення Собеля є припущення, що функція розриву яскравості на гранях естановиться значно більше. З цього припущення можна зробити висновок, що для знаходження граней достатньо здійснити диференціювання функції яскравості  $f(x, y)$ :

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \Delta x = \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \Delta y = \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}. \quad (6)$$

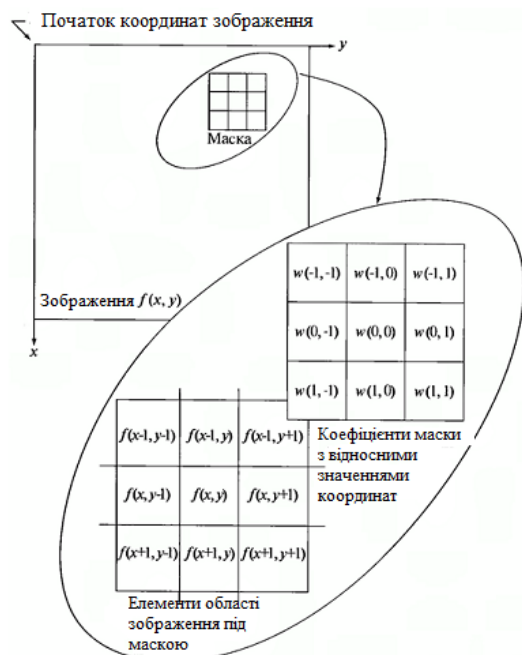


Рис. 2. Схема просторової фільтрації з використанням оператора Собеля [14]

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

$$\Delta x = f(i + 1, j) - f(i, j), \quad (7)$$

$$\Delta y = f(i, j + 1) - f(i, j). \quad (8)$$

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

$$G = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \quad (9)$$

а напрямком  $\theta$  (вираз (10):

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right). \quad (10)$$

У виразах (9), (10) оцінка градієнту проводиться з використанням масок (2x2):

$$\Delta x = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$\Delta y = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Основний недолік використання масок (11), (12) – велика кількість помилок з причини наявності шуму [14]. Крім того, використання масок парного порядку не дає можливості проводити оцінку на основі пікселя, що розташований по центру маски. Тому в роботі використовується оператор Собеля з масками:

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

З аналізу виразів (13), (14) (у порівнянні з (11), (12)) видно використання коефіцієнту 2 для середніх елементів. Цей факт використаний з роботи [15], а збільшене значення коефіцієнту використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам. Значення та напрямком величини градієнту  $G$  приймають вигляд:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (15)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_x|}{|G_y|}\right). \quad (16)$$

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

3. Придушення хибних максимумів. Мета цього етапу – перетворити «розмити» границі в «чіткі». Це досягається збереженням локальних максимумів та видаленням всього іншого. Для кожного пікселя виконуються наступні дії:

- напрямком градієнту округлюється до найближчого значення, що кратне  $45^\circ$  (рис. 3, а) [13];

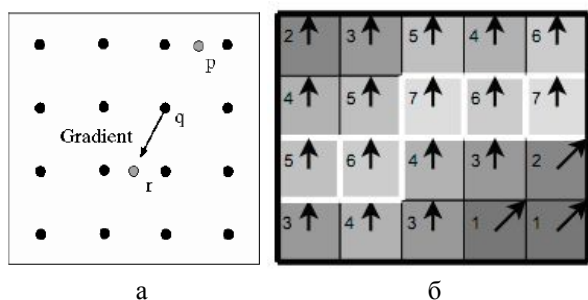


Рис. 3. Пошук локальних максимумів [13]:  
 а – максимуми р та г інтерполюються (видаляються);  
 б – принцип придушення хибних максимумів

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

- у протилежному випадку точка видаляється (рис. 3).

Принцип придушення проілюстрований на рис. 3, б. Всі пікселі на рис. 3, б мають «орієнтацію вгору», тому значення градієнту в цих точках буде порівняно з нижче та вище розташованими пікселями. Пікселі, що обведені білим кольором на рис. 3, б залишаться у вихідному зображенні, інші – будуть придушені.

4. Подвійна порогова фільтрація (рис. 4 [13]). Сутність – кожен піксель, що перевищує верхній поріг, відмічається як «сильний», кожен піксель, що попадає між двома порогами, - «слабий» (яскравість таких пікселів приймає фіксоване середнє значення та буде уточнюватися на наступному етапі), пікселі, що менше нижнього порогу, видаляються.

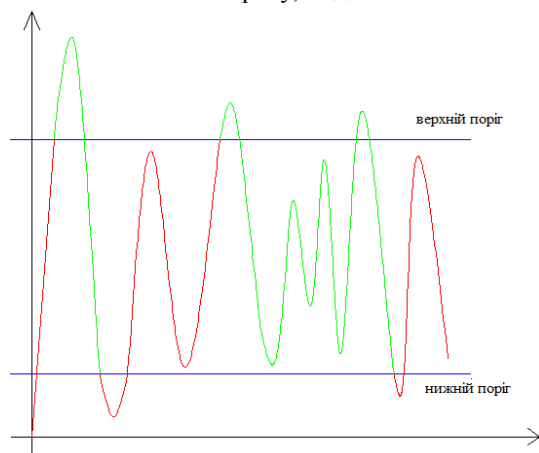


Рис. 4. Використання двох порогів в методі Канні [13]

Використання подвійного порогу дозволяє зменшити вплив шуму (за рахунок верхнього порогу) та не втратити «хвості» (за рахунок нижнього порогу).

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

Результат сегментування вихідного зображення (рис. 1, а) методом Канні наведений на рис. 1, в.

Показником якості сегментування вихідного зображення (рис. 1) еволюційним методом та методом Канні оберемо інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера  $K(p_{\xi}, p_{\eta})$  [16-19]:

$$K(p_{\xi}, p_{\eta}) = \int_{R^2} p_{\xi}(x) \log(p_{\xi}(x)/p_{\eta}(x)) dx, \quad (17)$$

де  $p_{\xi}, p_{\eta}$  – розподіли яскравості на вихідному (рис. 1, а) та сегментованих зображеннях (рис. 1, б, в);  $R^2$  - площа зображення.

На рис. 5 наведені криві залежності відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування  $\mu$  вихідного зображення (рис. 1) при сегментуванні зображення з використанням еволюційного методу (безперервна крива) з використанням методу Канні (пунктирна крива). Відстань Кульбака-Лейбнера розраховувалась за виразом (17) з використанням логарифму за основою 2, отже відстань Кульбака-Лейбнера вимірюється у бітах, а для зображення в градаціях (0...2555) максимальне значення відстані Кульбака-Лейбнера дорівнює 8.

$K(p_{\xi}, p_{\eta})$ , біт

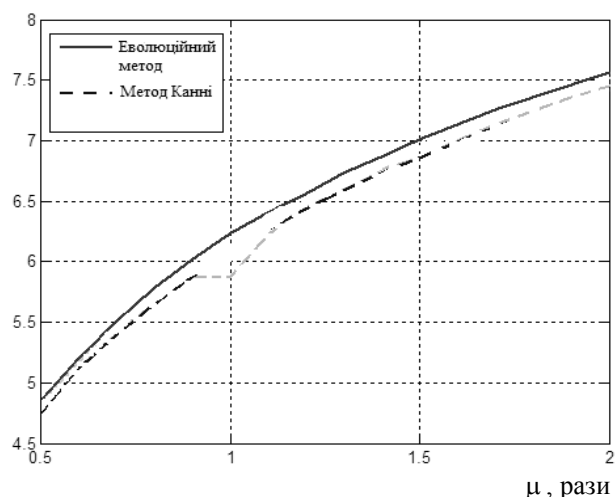


Рис. 5. Залежність відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування вихідного зображення (рис. 1) при сегментуванні зображення еволюційним методом (безперервна крива) та методом Канні (пунктирна крива)

З аналізу рис. 7 видно, що виграш у інформаційному показнику при сегментуванні вихідного зображення еволюційним методом складає від 7% до 16% при зміні масштабу вихідного зображення.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, проведено сегментування еволюційним методом зображення, що отримане з бортових систем оптико-електронного спостереження. Для оцінки ефективності еволюційного методу сегментування у якості порівняльного методу обраний метод виділення контурів Канні. У якості показника оцінки сегментування еволюційним методом і методом Канні



ні обрано інформаційний показника – відстань Кульбака-Лейбнера. Наведена залежність інформаційного розходження Кульбака-Лейбнера від зміни масштабу зображення для двох методів сегментування. Встановлено, що сегментування еволюційним методом дає вигоду у значенні інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера на 7-16%.

**Напрямок подальших досліджень** є порівняння еволюційного методу сегментування з іншими відомими методами та оцінка якості сегментування не тільки при зміні масштабу зображення, в при впливі інших спотворюючих факторів.

## Список літератури

1. Захаров А.В., Кольцов П.П. и др. Критерии оценки качества сегментации изображений. Труды НИИСИ РАН. 2012. Том 2. № 2. С. 87-99.
2. Смеляков К.С., Романенко И.А., Рубан И.В., Кириллова Н.И., Шитова О.В. Методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида, особенности их применения и перспективы развития. Сборник научных работ ХУПС. 2010. Вып. 2 (24). С. 92-97.
3. Режим доступа <http://ieeexplore.ieee.org>.
4. Zhang H. Fritts J.E., Goldman S.A. Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods. *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. Vol. 110. Issue 2. PP.260-280.
5. Рубан И.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. Вып. 2 (42). С. 143-146.
6. J.Liu and Y.H.Yang Multiresolution color image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 16. № 7. 1994. PP. 689-700.
7. M.Borsotti, P.Campadelli and R.Schettini Quantitative evaluation of color image segmentation results. *Pattern Recognition Letters*. Vol. 19. № 8. 1998. PP. 741-747.
8. H.D.Cheng, X.H.Jiang, Y.Sun and J.Wang Color image segmentation: advanced and prospects. *Pattern Recognition*. Vol. 34. № 12. 2001. PP. 2259-2281.
9. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ. Труды НИИСИ РАН, 2012. Том 2. № 1. С. 4-13.
10. Худов В.Г. Мультиагентный метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. Системи озброєння та військова техніка. 2016. № 3 (47). С. 116-119.
11. Худов В.Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультиагентним методом. Системи управління, навігації та зв'язку. 2016. Вып. 1 (37). С. 107-110.
12. <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>.
13. Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. № 8. PP. 679-698.
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2005. – 1072 с.
15. Senthikumarani N., Rajesh R. Edge Detection Techniques for Image Segmentation – A Survey of Soft Computing Approaches. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. Vol. 1. № 2. May 2009. PP. 26-37.
16. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд. ин. лит., 1963. 829 с.
17. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация: 5-е изд. М.: КомКнига, 2007. 512 с.
18. Лидовский В.В. Теория информации. М.: Спутник+. 2004. 111 с.
19. Теребиж В.Ю. Восстановление изображений при минимальной априорной информации. *Успехи физических наук*. 1995. Т. 165. № 2. С. 143-176.

Надійшла до редколегії 19.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В.Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭВОЛЮЦИОННОГО МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО С БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В.Г. Худов, А.Н. Маковейчук, И.А. Хижняк

Проведена сегментация эволюционным методом изображения, полученного с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Для оценки эффективности эволюционного метода сегментации в качестве сравнительного метода выбран метод выделения контуров Канни. Проанализированы известные показатели оценки качества сегментации оптико-электронных изображений. В качестве показателя оценки сегментации эволюционным методом и методом Канни выбран информационный показатель – расстояние Кульбака-Лейбнера. Приведена зависимость информационного расхождения (выигрыша) Кульбака-Лейбнера от изменения масштаба изображения для двух методов сегментации. Установлено, что сегментация эволюционным методом обеспечивает выигрыш в значении информационного показателя на 7-16%.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, эволюционный метод, оценка качества, система наблюдения, информационный показатель, расстояние Кульбака-Лейбнера, масштаб изображения.

## EVALUATION OF THE QUALITY OF THE EVOLUTION METHOD OF SEGMENTATION OF THE OPTICAL-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEMS IMAGE

V.G. Khudov, A.N. Makoveychuk, I.A. Khizhnyak

It is established that the use of known methods of image segmentation obtained from on-board optical-electronic surveillance systems does not ensure the resistance of segmentation methods to variations in various image parameters. Theoretically, the possibility of using the roving method of optical-electronic image segmentation was substantiated, and the objective function was determined when solving the problem of clustering a multispectral image. Segmentation by the evolutionary method of the optical-electronic surveillance systems image. To evaluate the effectiveness of the evolutionary segmentation method, the method of isolating Canny contours is chosen as a comparative method. Analyzed are the known indicators for assessing the quality of segmentation of optical-electronic images. As an indicator of the segmentation estimation by the evolutionary method and the Canny method, the information indicator Kulbak-Leibner distance is chosen. The dependence of Kulbak-Leibner's information divergence (gain) on the change in image scale for two methods of segmentation is given. It is established that segmentation by the evolutionary method provides a gain in the value of the information indicator by 7-16%.

**Keywords:** optic-electronic image, segmentation, evolutionary method, quality assessment, surveillance system, information indicator, Kulbak-Leibner distance, image scale.

УДК 621.396

Д.В. Шимонець, О.Л. Лугина, М.Ю. Харьков, І.В. Нечитайло, Г.В. Худов

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

## ПАСИВНІ РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАЛІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*В роботі проаналізовано особливості радіолокаційного виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, основні організаційні та технічні заходи щодо підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів. Для підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів запропоновано використання пасивних радіолокаційних систем, що працюють по сигналам сторонніх джерел підсвіту. У якості таких систем підсвіту обрано сучасні бездротові телекомунікаційні системи. Проаналізовано геометричну побудову однопозиційних та багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем та основні характеристики сигналів підсвіту. Встановлено, що найбільш ефективною системою підсвіту є сучасна система цифрового телебачення стандарту DVB-T2.*

**Ключові слова:** пасивна радіолокація, повітряний об'єкт, телекомунікаційна система, однопозиційна система, багатопозиційна система, ефективна поверхня розсіяння, дальність дії, сигнал підсвіту.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** В умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн побудова надійної системи протиповітряної оборони (ППО) значно ускладнюється появою малорозмірних повітряних об'єктів (ПО) [1-4]. Малорозмірним ПО притаманні специфічні льотно-технічні характеристики, а саме [2, 5-7]: малі ефективні поверхні розсіяння (ЕПР), широкий діапазон швидкостей руху, здійснення скритих польотів на середніх, малих та гранично малих висотах з використанням рельєфу місцевості. Указані особливості значно ускладнюють задачу виявлення малорозмірних ПО.

**Мета статті** – проаналізувати можливості пасивних радіолокаційних систем виявлення малорозмірних ПО за рахунок використання сигналів телекомунікаційних систем.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Аналіз особливостей виконання завдань частинами та підрозділами радіотехнічних військ (РТВ) при веденні антитерористичної операції (АТО) свідчить про актуальність питання виявлення малорозмірних та малопомітних ПО [1, 2, 8, 9]. Так, наприклад, боротьба з малорозмірними ПО, такими, як БПЛА велася окремими радіолокаційними взводами шляхом своєчасного виявлення радіолокаційними засобами та постами візуального спостереження з видачею бойової інформації на командні пункти зенітних ракетних підрозділів [8, 9]. Окремі радіолокаційні взводи були оснащені радіолокаційними станціями (РЛС) метрового (П-18, в тому числі П-18 «Малахіт») та сантиметрового (19Ж6) діапазону [8, 9]. Особливостями радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО (на прикладі БПЛА) є [8-10]:

- мала дальність виявлення;

- знаходження БПЛА в зоні засвіток від місцевих предметів, що вимагає включення апаратури захисту від пасивних завад, що, в свою чергу, зменшує дальність виявлення;

- відсутність оповіщення про дії БПЛА від інших підрозділів внаслідок того, що БПЛА, як правило, діють в зоні лише одного підрозділу.

Малорозмірні БПЛА, що діяли на малих та гранично малих висотах, засобами РТВ в ході ведення АТО не виявлялися [10].

Для підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малорозмірних ПО застосовується низка організаційних та технічних заходів [6, 11-13]:

- ущільнення розташування РЛС на небезпечних напрямках (створення смуг виявлення маловисотних та малорозмірних об'єктів);

- використання РЛС усіх діапазонів частот;

- використання РЛС з кращими можливостями (найбільшим енергетичним потенціалом) та інше.

Використання традиційних методів підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшення енергетичного потенціалу РЛС та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання радіолокаційного поля.

В теперішній час при удосконаленні методів виявлення малорозмірних ПО РЛС знаходять широке використання нові інформаційні технології [14-17]:

- послідовно-паралельний електронний огляд зони по куту місця та двомірне електронне сканування діаграми спрямованості антен;

- активні, полуактивні та пасивні на передачу фазовані антени решітки (ФАР);

- цифровий синтез зондуючих сигналів з різними параметрами: несучою частотою, видом модуляції, шириною смуги, тривалістю, частотою посилок імпульсів;

- цифрове діаграмоутворення ФАР на прийом;
- автоматичний аналіз завадової обстановки та адаптивний вибір засобів та режимів захисту від завад;
- автоматична топографічна прив'язка та орієнтування РЛС по інформації космічних навігаційних систем;
- комплексування РЛС з засобами вторинної радіолокації;
- можливість нарощування РЛС до активно-пасивного комплексу;
- використання нетрадиційних методів радіолокації.

В статті основну увагу приділимо пасивним радіолокаційним системам, загальний принцип дії яких зображено на рис. 1 [18].

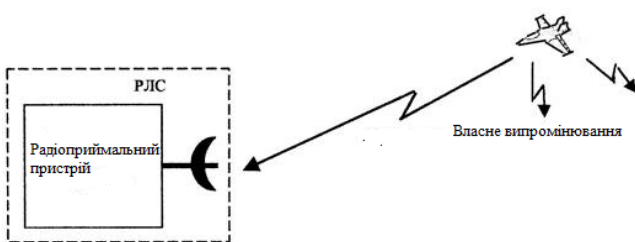


Рис. 1. Принцип пасивного методу радіолокації [18]

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Розглянемо використання радіолокаційних систем, що працюють по сигналам сторонніх джерел підсвіту, у якості яких будемо розглядати бездротові телекомунікаційні системи. Робота пасивних радіолокаційних систем спряжена з рядом проблем, що обмежують дальність дії, а також ускладнюють виявлення радіолокаційних цілей та знижують точність оцінки їх параметрів. Однією з таких проблем є мала потужність джерела випромінювання підсвіту, що знижує дальність дії пасивної радіолокаційної системи. Для підвищення дальності дії системи проводиться накопичення відбитого від радіолокаційної цілі сигналу, що, в свою чергу, приводить до значного збільшення обчислювальної складності [19]. Інша проблема полягає в том, що прямий сигнал джерела підсвіту по боковому пелюстку діаграми спрямованості антени пасивної радіолокаційної системи поступає в основний канал пасивної радіолокаційної системи. При цьому потужність прямого сигналу джерела підсвіту в декілька разів перевищує потужність відбитого від радіолокаційної цілі сигналу [19].

Геометрія пасивної радіолокаційної системи, що використовує телекомунікаційні сигнали, що відбиваються від радіолокаційних цілей, наведені на рис. 2 [19].

Джерелом сигналу підсвіту (рис. 2) може бути базова станція системи мобільного зв'язку, переда-

вач цифрового ефірного телебачення, передавач цифрового радіо та інше. Робота пасивної радіолокаційної системи проводиться наступним чином: джерелосигналу підсвіту випромінює радіосигнал, який відбивається від радіолокаційної цілі (повітряного об'єкту) та поступає в приймальний канал пасивної радіолокаційної системи. Крім цього, пасивна радіолокаційна система приймає прямий сигнал від передавача, який необхідний для синхронізації та подальшої обробки. Просторова локалізація (виявлення) радіолокаційної цілі проводиться в результаті приймання та обробки сигналів, що відбиваються від радіолокаційних цілей, а також прямих сигналів від передавача. Пасивна радіолокаційна система може мати однопозиційну та багатопозиційну структуру.

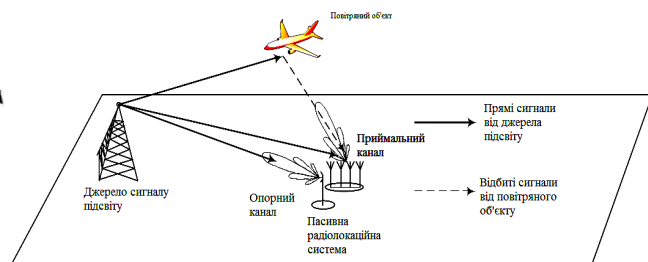


Рис. 2. Геометрія пасивної радіолокаційної системи, що використовує телекомунікаційні сигнали, що відбиваються від радіолокаційних цілей [19]

Однопозиційні пасивна радіолокаційні система працює по одному джерелу сигналу підсвіту (рис. 2) [19]. При такій структурі пасивної радіолокаційної системи приймаються прямий сигнал та відбитий від радіолокаційної цілі сигнал, що випромінюється одним джерелом сигналу підсвіту. Просторова локалізація радіолокаційної цілі може бути проведена за допомогою далекомірно-пеленгаційного методу [20].

Однопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по декількох джерелам підсвіту, зображена на рис. 3 [19]. В цьому випадку просторова локалізація радіолокаційної цілі може бути проведена з використанням сигналів відбитих від радіолокаційної цілі від декількох джерел. Для оцінки координат радіолокаційної цілі можуть бути використані наступні методи: далекомірно-пеленгаційний, різницево-далекомірний [21].

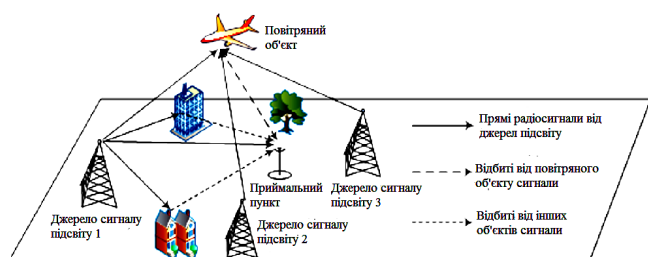


Рис. 3. Геометрія однопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по декількох джерелам підсвіту [19]

Багатопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по одному джерелу сигналу підсвіту, зображена на рис. 4 [19].

Сигнал від джерела приймається в декількох рознесених приймальних пунктах. Для просторової локалізації радіолокаційної цілі використовується далекомірно-пеленгаційний метод та різницево-далекомірний метод [21].

Багатопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по декількох джерелах сигналів підсвіту, зображена на рис. 5 [19]

Така конфігурація багатопозиційної системи дозволяє з більшою точністю оцінити координати радіолокаційної цілі, тому що в цьому випадку можуть бути сумісно використані всі вищеперераховані методи визначення координат.

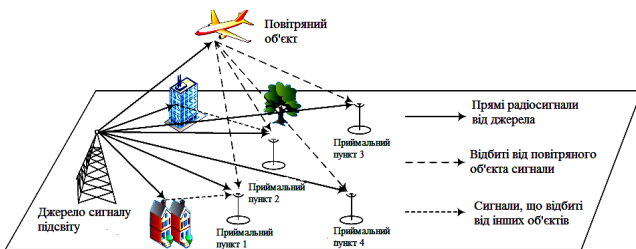


Рис. 4. Геометрія багатопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по одному джерелу сигналу підсвіту [19]

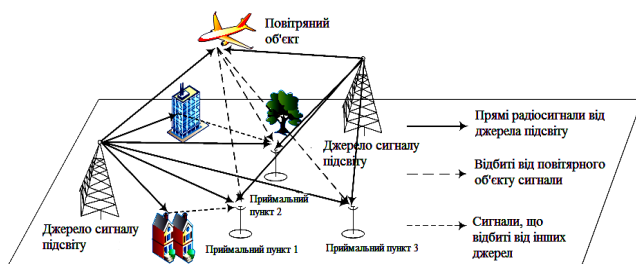


Рис. 5. Геометрія багатопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по декількох джерелах сигналів підсвіту [19]

Основні переваги однопозиційних пасивних радіолокаційних систем, геометрія котрих наведена на рис. 2, 3:

- висока мобільність розгортання системи;
- відносно низька вартість системи;
- відсутність необхідності синхронізації.

Недоліки однопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- обмежена зона дії;
- відсутність резервування.

Переваги багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- висока надійність та достовірність інтерпретація радіолокаційних даних за рахунок обробки інформації, що отримана на від декількох джерел:

- різні кути, поляризація,
- частоти;

- більш ефективно виявлення та супроводження об'єктів, що рухаються в широкому діапазоні швидкостей в різних напрямках (під різними кутами, з різних відстаней);

- можливість використання режимів радіолокаційної системи, що є недоступні або неефективні в моностаціонарних конфігураціях;

- можливість зміни параметрів спостереження (взаємного просторового положення і напрямку векторів швидкості, частотного діапазону, поляризації, законів модуляції сигналів) та алгоритму обробки з метою найбільш ефективного використання;

- більш висока надійність.

Недоліки багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- необхідність взаємної часової та фазової синхронізації, визначення взаємних векторів положення;

- необхідність використання високопродуктивних обчислювальних засобів та підвищена вартість системи.

Розглянемо, для прикладу, сигнали сучасних телекомунікаційних систем, які можуть використовуватися у якості джерел сигналів підсвіту. Такі сигнали повинні задовольняти наступним вимогам [19]:

- потужність джерела підсвіту повинна бути достатньою для визначення координат радіолокаційної цілі на необхідній дальності;

- сигнали повинні мати достатню полосу для досягнення визначеної розрізняльної здатності по дальності;

- джерела сигналів, що використовуються в пасивних радіолокаційних системах, повинні мати широко спрямовані антенні системи;

- координати джерел сигналів підсвіту повинні бути відомі з необхідною точністю.

В табл. 1 наведені основні параметри джерел сигналів підсвіту сучасних телекомунікаційних систем.

З аналізу табл. 1 видно, що по вимогам до потужності сигналів підсвіту такими, що задовольняють вимогам, є сигнали аналогового та цифрового телебачення.

На рис. 6 для прикладу наведена залежність дальності дії  $R$  пасивної радіолокаційної системи від ефективної поверхні розсіяння (ЕПР) повітряного об'єкта  $\sigma$  при роботі по сигналам системи 4G (LTE) та системи цифрового телебачення стандарту DVB-T2.

Результати, що наведені на рис. 6, отримані при вихідних даних, наведених в табл. 2 [19].

З аналізу рис. 6 видно, що найбільш ефективною системою підсвіту є система цифрового телебачення DVB-T2.

Основні параметри джерел сигналів підсвіту сучасних телекомунікаційних систем

Джерело сигналу підсвіту	Частота, МГц	Полоса, МГц	Потужність, Вт	Модуляція
FM та УКХ	66-108	$(3-20) \cdot 10^{-3}$	100-4000	Аналогова FM
Аналогове телебачення	50-800	8	50000	Аналогова AM та FM
Стільникові системи зв'язку GSM	900-1800	25	20	GMSK
Системи зв'язку 3G	1920-2110	5	20	Кодова модуляція CDMA
Системи зв'язку 4G (WiMAX, LTE)	2400-2500	1,4-28	20	Цифрова модуляція, OFDM
Цифрове телебачення	174-834	8	50000	Цифрова модуляція, OFDM

Таблиця 2

Параметри сигналів систем підсвіту LTE та DVB-T2

Параметри сигналів систем підсвіту	LTE	DVB-T2
Потужність, Вт	20	50000
Коефіцієнт підсилення передавальної антени, дБ	15	10
Коефіцієнт підсилення приймальної антени, дБ	10	10
Несуча частота, МГц	2500	800
ЕПР радіолокаційної цілі, м <sup>2</sup>	0,8-40	0,8-40
Шумова полоса приймача, МГц	25	10
Час накопичення, с	0,01	0,01
Втрати в передавальному тракті, дБ	3	3
Втрати в приймальному тракті, дБ	3	3

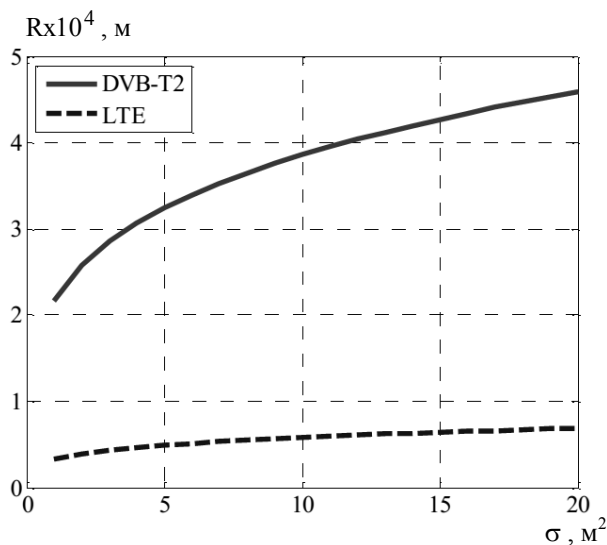


Рис. 6. Залежність дальності дії  $R$  пасивної радіолокаційної системи від ЕПР повітряного об'єкту  $\sigma$  при роботі по сигналам системи 4G (LTE) та системи цифрового телебачення стандарту DVB-T2 [19]

### Висновки і напрями подальших досліджень

Таким чином, використання пасивної радіолокації а саме багатопозиційних РЛС які працюють завдяки вторинного випромінювання мають ряд переваг над активною радіолокацією. Використання

таких РЛС є скритним, вони працюють в широкій смузі частот, потребують мало енергії і мають високу завадозахищеність. Недоліком є те що потрібно використовувати декілька РЛС для точнішого виміру координат. Точності вимірювання кутових координат пасивними і активними РЛС приблизно однакові, точність визначення дальності у пасивних РЛС, як правило, нижче. Розвиток таких систем стає більш популярним. З часом такі системи замінять старі зразки які досі стоять на озброєнні.

### Список літератури

1. Артеменко А.М., Певцов Г.В. Тенденції розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України на основі аналізу досвіду проведення АТО. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. Харк. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С. 16.
2. Шамко В.Є. Особливості застосування Повітряних Сил в умовах гібридної війни. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017). Х.: ХУПС, 2017. С. 10-11.
3. Воробьев И.Н., Киселев В.А. От современной тактики к тактике сетецентрических действий. Военная мысль. 2011. № 8. С. 19–27.
4. Савин Л.В. Сетецентрическая и сетевая война. Введение в концепцию. М.: Евразийское движение, 2011. 130 с.
5. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації: Алімпієв А.М.,

Певцов Г.В., Гриб Д.А. (ред. Алімпієв А.М.). Х.: Оригінал, 2015. 732 с.

6. Информационный сборник «Особенности боевого применения высокоточных средств поражения и способы повышения эффективности борьбы с ними»: Кибалко И.П., Черный Ю.Н. (ред.). Минск: 1034 ЦВВиИ, 2008. 102 с.

7. Романченко І.С., Загорка О.М., Бутенко С.Г., Дейнега О.В. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія. Житомир: Полісся, 2011. 344 с.

8. Артеменко А.М., Гамора В.В., Жарик О.М., Коваль В.В., Котляр С.О. Развитие форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних операціях (бойових діях). Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. ХУПС (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С 10–13.

9. Вишневський С.Д., Бейліс Л.В. Погляди на розвиток радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. Харк. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С. 15.

10. Вишневський С.Д., Бейліс Л.В., Климченко В.Й. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативного-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Х.: ХНУПС. 2017. № 2 (27). С. 92-98.

11. Кругликов С., Кругликов В. Способ защиты объектов от ударов высокоточного оружия. Наука и военная безопасность. 2008. № 1. С. 26–31.

12. Загорюла Б. Предложение по совершенствованию разведывательно-огневой системы малой дальности для борьбы с крылатыми ракетами. Наука и военная безопасность. 2008. № 3. С. 9–13.

13. Скосьєв В.Н., Усачев В.А. Технические пути повышения энергетического потенциала радиолокаторов. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Приборостроение». 2009. С. 78–89.

14. Образцов Е.А., Пушков О.В. Маловысотные РЛС: шаг за шагом. Воздушно-космическая оборона. 2012. № 4. С. 17–22.

15. Ковалевський С.М., Певцов Г.В., Худов Г.В. Пропозиції щодо створення скритого маловисотного радіолокаційного поля в умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2015. № 1(8). С.77–81.

16. Ковалевський С.М., Тютюнник В.О., Худов Г.В. Метод розрахунку ефективної поверхні розсіяння малорозмірних повітряних об'єктів при однопозиційному та рознесеному прийомах сигналів в оглядових радіолокаційних станціях. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2015. Вип.2(43). С.28–31.

17. Певцов Г.В., Худов Г.В., Ковалевський С.М. Підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів на основі об'єднання методів однопозиційного та рознесеного прийому сигналів. Наука і оборона. 2016. № 1. С. 49–55.

18. Мальшикин Е.А. Пассивная радиолокация. Воениздат. 1961. 72 с.

19. Рогожников Е.В. Методы оценки параметров сигналов телекоммуникационных источников подсвета в пассивных радиолокационных системах: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2015. 21 с.

20. Зырянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А. Основы радиотехнических систем: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ «ТГТУ». 2011. 144 с.

21. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация: научное издание. М.: Радио и связь. 1993. 416 с.

22. Великанова Е.П., Гельцер А.А., Ворошилин Е.П., Рогожников Е.В., Киселев П.С. Исследование многопозиционной РЛС на основе системы связи WiMAX. Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. С. 67–74.

Надійшла до редколегії 19.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С.Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ПАССИВНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д.В. Шимонец, А.Л. Лугина, М.Ю. Харьков, И.В. Нечитайло, Г.В. Худов

В работе проанализированы особенности радиолокационного обнаружения малоразмерных воздушных объектов, основные организационные и технические мероприятия по повышению эффективности обнаружения малоразмерных воздушных объектов. Для повышения эффективности обнаружения малоразмерных воздушных объектов предложено использование пассивных радиолокационных систем, которые работают по сигналам внешних источников подсвета. В качестве таких систем подсвета выбраны современные беспроводные телекоммуникационные системы. Проанализировано геометрическое построение однопозиционных и многопозиционных пассивных радиолокационных систем и основные характеристики сигналов подсвета. Установлено, что наиболее эффективной системой подсвета является современная система цифрового телевидения стандарта DVB-T2.

**Ключевые слова:** пассивная радиолокация, воздушный объект, телекоммуникационная система, однопозиционная, многопозиционная система, эффективная поверхность рассеяния, дальность действия, сигнал подсвета.

## PASSIVE RADAR SYSTEMS FOR DETECTING SMALL-DIMENSIONAL AIR OBJECTS USING SIGNALS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS

D.V. Shimonets, A.L. Lugina, M.Yu. Kharkov, I.V. Nechitailo, G.V. Khudov

The paper analyzes the features of radar detection of small-sized air objects, the main organizational and technical measures to improve the detection efficiency of small-sized air objects. To increase the efficiency of detecting small-sized air objects, it is proposed to use passive radar systems that operate on the signals of external illumination sources. As such systems of illumination modern wireless telecommunication systems are chosen. The geometric construction of single-position and multi-position passive radar systems and the main characteristics of the illumination signals are analyzed. It is established that the most effective system of illumination is a modern DVB-T2 digital television system.

**Keywords:** passive radar, air facility, telecommunications system, single-position, multi-position system, effective scatterer surface, range, illumination signal.

УДК 614.8:519.711

С.І. Шматков, Н.Г. Кучук, Ж.О. Коломієць

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО НАВЧАННЯ

*У статті проведено аналіз інформаційних технологій систем мобільного навчання. Розглянуто основні можливості таких систем, їх недоліки та переваги. Досліджено подальший процес розвитку систем мобільного навчання. На основі аналізу було сформовано список вимог до оптимального функціонування інформаційних технологій у системах мобільного навчання. Запропоновано макет навчального курсу у системі мобільного навчання на основі сформованих вимог. Макет дозволяє отримати швидкий доступ до матеріалів навчальної дисципліни за допомогою мобільного пристрою.*

**Ключові слова:** мобільне навчання, середовище, інформаційні технології, системи мобільного навчання, навчальний курс, мобільний додаток, мобільні пристрої, мобільна платформа.

### Вступ

Термін «мобільне навчання» (m-learning), що з'явився в англомовній літературі близько 10 років тому, останнім часом став все частіше використовуватися в нашій країні.

Багато вчених і педагогів впевнені, що майбутнє навчання з підтримкою інформаційних комп'ютерних технологій пов'язано і залежить саме від розповсюдження мобільних засобів зв'язку, популярності смартфонів і планшетів, появи великої кількості навчальних програм, а також нових технологій типу жестикуюльційного інтерфейсу, які розширюють можливості і якість освіти, здешевлення послуг мобільного зв'язку та бездротового доступу в Інтернет [1, 11].

Технологія m-learning наступною стадією розвитку технології електронного навчання (E-learning). Дж. Тракслер стверджує, що m-learning змінює повністю сам процес навчання, оскільки мобільні пристрої модифікують форми подачі матеріалу, доступу до нього та сприяють створенню нових форм пізнання та менталітету [18].

Технологія мобільного навчання передбачає наявність системи дистанційного навчання, яка включає в себе підсистему доступу до локального та віддаленого контенту. У порівнянні з традиційним, мобільне навчання надає можливість моніторингу навчання в реальному часі та забезпечує високу насиченість контенту, що дозволяє розглядати його не лише як засіб навчання, а і як інструмент спільної роботи, спрямований на підвищення якості навчання [4, 5].

Сучасні мобільні апаратні платформи можуть бути успішно інтегровані до системи дистанційного навчання, тим самим збільшивши кількість тих, хто навчається, та підвищити інтерактивність процесу навчання. Крім того, впровадження елементів мобі-

льного навчання в навчальний процес дозволить уникнути негативних наслідків неконтрольованого використання мобільних пристроїв через їх активне залучення до процесу навчання.

Основними напрямками розвитку мобільного навчання є тестування; навчальні дослідження та навчання в процесі роботи; контекстне навчання, чутливе до часу та місця; мобільні навчальні соціальні мережі [3].

З технологічної точки зору, мобільне навчання – це передача і отримання навчальної інформації з використанням технологій WAP або GPRS на будь-який портативний мобільний пристрій, за допомогою якого можна вийти в Інтернет, отримати або знайти матеріали, відповісти на питання у форумі, зробити тест тощо [7].

Мобільність і гнучкість m-learning дозволяє відображати інформацію в тому вигляді, який необхідний на даний момент і створює умови для продуктивності навчання, дозволяє здійснювати навчальний процес не тільки в аудиторії, а у зручний для суб'єкта навчання час [2].

Технологічне оснащення дає можливість більше 80% студентам мати вільний доступ в Інтернет, використовувати онлайн-книжки, словники, слухати аудіо-файли [17].

Для реалізації мобільного навчання у вищих навчальних закладах потрібно створити середовище мобільного навчання (СМН), визначальними особливостями якого є можливість завантаження і встановлення програмного забезпечення та наявність розвинених засобів отримання та опрацювання контенту.

Технічно реалізація мобільного навчання можлива у кількох варіантах: WAP-інтерфейс; клієнт-серверна система на основі однієї із систем мобільного навчання; статичні та динамічні Java-додатки (в т.ч. на основі технології Google Android) [8].

При реалізації мобільного навчання використовуються такі комунікаційні стандарти: GSM, GPRS, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth. Технічні недоліки мобільних пристроїв обумовлені переважно сучасним станом розвитку технології: обмежений розмір пам'яті, менша (порівняно з ПК) потужність процесора, обмежений ресурс акумуляторів, обмежені роздільні характеристики екрану.

Для реалізації концепції мобільного освітнього середовища найбільш придатні клієнт-серверні мобільні технології [9].

Сьогодні у вищих навчальних закладах, як правило, застосовуються гібридні мережі, в які об'єднуються як стаціонарні, так і мобільні пристрої. Включення до традиційної мережі вищих навчальних закладів засобів мобільного навчання реалізується через систему управління навчанням (Learning Management System – LMS), що базується на Web-послугах з обміну XML-контентом за стандартами Simple Object Access Protocol (SOAP), Web Services Description Language (WSDL), Universal Description Discovery and Integration (UDDI). На їх основі створюються необхідні передумови для переходу від PC-центричних до розподілених мобільних систем, в яких з різних пристроїв (мобільні комп'ютери, PDA, Tablet PC, смартфони та ін.) можна здійснювати доступ до освітніх XML-ресурсів з будь-якого місця [10, 12].

У відповідності до потреб суб'єктів навчання, якими виступають студенти з мобільними пристроями, розробляються системи управління мобільним навчанням (Mobile Learning Management System – MLMS). Через різноманітність мобільних пристроїв MLMS повинні бути гнучкими і автоматично пристосовуватися до пристроїв, тому що не всі мобільні телефони і КПК є однаковими, оскільки оснащені різними екранами, процесорами, пам'яттю та засобами введення даних. MLMS є тією стороною мобільного навчання, яку користувач не бачить, але постійно використовує. Використання в процесі навчання MLMS надає можливість студентам отримувати контрольований доступ до навчальних матеріалів, викладачам здійснювати управління процесом навчання та відслідковувати його ефективність.

Використання MLMS повинно забезпечувати проведення навчально-адміністративної роботи: складання навчальних груп, підтримка розкладу занять, формування різних відомостей і звітів; контроль кількості пройденого матеріалу; оцінювання навчальних досягнень студентів; роботу в асинхронному режимі з можливістю індивідуального підходу до кожного студента; колективну роботу студентів і викладача (вебінар, конференція); підтримку електронної пошти, форуму, чату, відеоконференцій, обміну файлами, повідомленнями, спільного використання прикладних додатків, віртуальної кла-

сної кімнати; розподіл учасників навчального процесу за ролями: гість, студент, викладач, адміністратор; підтримку різних типів навчальних матеріалів: електронних підручників, тестів, симуляцій та лабораторних робіт; підтримку різних апаратних засобів.

Також MLMS має задовольняти такі вимоги: відповідати міжнародним стандартам SCORM; надавати можливість здійснювати гнучке управління навчальним процесом; забезпечувати підтримку різних способів подання навчальних матеріалів; допускати мовну локалізацію; мати інтерфейс, адаптований до різних типів мобільних пристроїв; мати різні можливості доступу до навчальних матеріалів, зокрема, доступ до курсу повинен бути однаковим як з комп'ютера, так і з мобільного пристрою; у випадку якщо деякі елементи курсу не відтворюються на мобільних пристроях, необхідно їх виділяти для зручності користування; при кожному зверненні користувача до MLMS з мобільного пристрою повинно здійснюватися автоматичне тестування на сумісність з системою. На сьогодні існує багато мобільних систем підтримки навчання як комерційних (Blackboard, Mobile ELDIT, Amadeus LMS Mobile тощо), так і вільнопоширюваних (Mobl21, MLE-MOODLE, Learn Cast, Mo Sync, Hot Lava Mobile (HLM), Mobile Learning Engine (MLE)) [13, 14].

У процесі навчання студент виконує, як правило, стандартний набір навчальної роботи, такої як:

- робота з текстами електронних гіпертекстових підручників, розміщених на освітньому порталі навчальної організації адаптованому для мобільних пристроїв;
- робота з додатковими інформаційними ресурсами, розміщеними в Інтернеті, вихід до яких забезпечено посиланнями в тексті електронних підручників;
- виконання тестових завдань для самоконтролю, проміжного та підсумкового контролю;
- участь в електронних дискусіях;
- виконання практичних і лабораторних робіт, індивідуальних і групових проєктів, творчих завдань з дисципліни;
- консультація з викладачем.

З використанням технологій мобільного навчання можливо досить ефективно реалізувати весь дидактичний цикл з вивчення дисципліни, що включає в себе віртуальні лекції, семінари, практичні заняття, іспити тощо.

## Результати дослідження

Розроблена програма призначена для використання у системі мобільного навчання, для надання студентам швидкого доступу до матеріалів курсу. Основною метою навчального курсу з вибраної дисципліни заплановане надання користувачам базових знань з обраного напрямку. Маючи власний профіль



у системі студент зможе відстежувати пройдені підрозділи курсу, робити нотатки та завжди мати швидкий доступ до матеріалів курсу. На рис. 1 представлення основні можливості слухача курсу.

Таким чином, кожна підтема буде містити коротке відео за темою, текстовий матеріал, для підвищення ступеня засвоєння матеріалу, а також корисні посилання для вивчення додаткового матеріалу стосовно теми. На рис. 2 зображено матеріали, які можуть входити до курсу.

Smart-підхід до створення електронних навчальних курсів полягає у поєднанні не лише наявних електронних ресурсів інформаційно-освітнього середовища (ІОС), а й відкритих зовнішніх інформаційних ресурсів та Веб-сервісів [6]. Вони слугуватимуть джерелами навчально-інформаційних матеріалів для електронного курсу, засобами спілкування та співпраці. Електронний курс повинен забезпечувати гнучке навчання студентів в інтерактивному навчальному середовищі, яке дозволяє йому максимально швидко адаптуватися до навколишнього середовища, навчатися у будь-якому-місці і у будь-який час на основі вільного доступу до контенту по всьому світу.

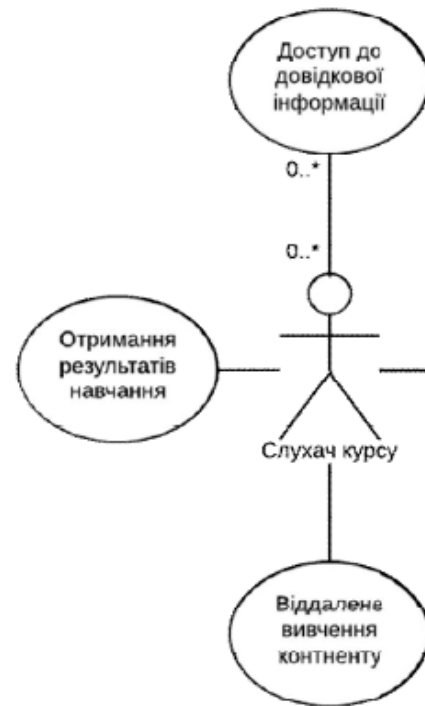


Рис. 1. Основні можливості слухача курсу



Рис. 2. Матеріали курсу

Це певний сценарій або траєкторія навчальних подій по роботі з електронними ресурсами у вигляді карти-знань, що приводить до досягнення навчального ефекту та має такі властивості, як:

- гнучкість – забезпечення можливості швидкого редагування ресурсів;
- наявність індивідуальної траєкторії навчання – тобто можливість скласти з набору навчальних елементів індивідуальну програму навчання для кожного студента;
- інтеграція навчальних елементів з іншими відкритими інформаційними ресурсами;
- фокусування на навчальні потреби студента, персоналіфікація контенту;

- інтерактивність навчальних елементів курсу;
- максимальне використання мультимедійних технологій; зворотній зв'язок між викладачем і студентом в курсі;

- наявність навчальних елементів, які забезпечують ефективну комунікацію та співпрацю студентів між собою та з викладачем, зокрема, заснованих на проектній технології;

- забезпечення комунікації за допомогою сучасних сервісів соціальних мереж.

З технічної точки зору дані будуть зберігатися на сервері. Після завантаження мобільного додатку, користувач отримує доступ до матеріалів у зручному та звичному для нього форматі (рис. 3).

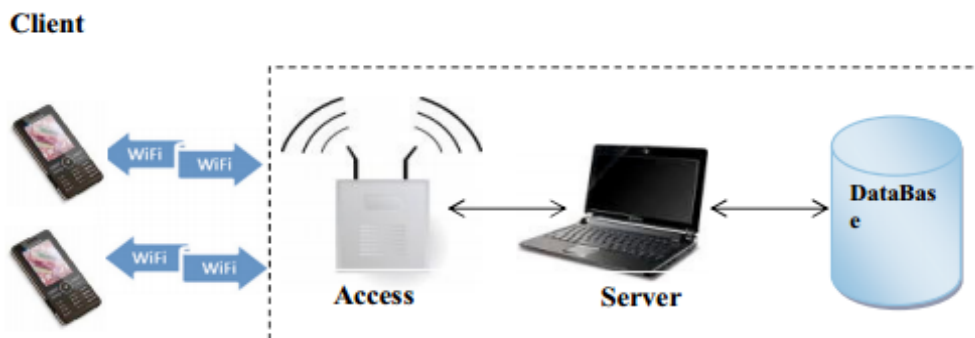


Рис. 3. Представлення даних користувачу

Система має два типи користувачів: сервер (інструктор) і клієнти (учні). Кожен користувач має різні привілеї і може виконувати різні завдання.

**Сервер** виконує такі завдання:

- адміністрування всіх завдань системи,
- додати, оновити і видалити інформацію студента (їх реальне ім'я, студент ID та пароль),

**Клієнт.** Ця частина пов'язана зі студентами, які мають дозвіл на використання системи, її можливості:

- увійти в систему, використовуючи правильне ім'я користувача і пароль, за допомогою мобільного пристрою,
- отримати доступ до матеріалів
- змінити пароль.

Навчально-методичні матеріали, що розташовуються на сервері, синхронізуються з додатком, що встановлено на мобільному пристрої студентів. Студенти використовуючи мобільний додаток мають змогу вивчати навчально-методичні матеріали у синхронному та асинхронному режимах (online and offline mode). Під час підключення мобільного додатку до глобальної мережі Internet відбувається синхронізація даних з сервером системи дистанційного навчання.

Існує декілька шляхів можливих реалізацій моделі навчального курсу у системі мобільного навчання.

По-перше, визначемо технології: формування вимог до системи мобільного навчання; вибір апаратних засобів мобільного навчання; вибір напрямку реалізації мобільного навчання; вибір моделі мобільного навчання; вибір фреймворку; формування структури програмного комплексу.

Отже, після формування вимог до системи мобільного навчання було реалізовано:

1. Портативність і доступність до використання скрізь, де користувач може вчитися;
2. Ненав'язливість матеріалу і пошуку знань.
3. Адаптивність;
4. Фізична доступність протягом тривалого періоду часу;
5. Адаптивність під різні операційні системи, розміри екранів;

6. Невеликий розмір та вага;
7. Можливість росту з часом.

Вибираючи напрям реалізації мобільного навчання ми вирішили зосередитися на мініелектронних технологіях навчання. Тобто мініелектронні технології навчання – мобільні, бездротові і портативні технології, які використовуються для повторного впровадження рішень і підходів, що вже використовуються у традиційних електронних засобах навчання.

Існує багато можливих шляхів використання мобільного навчання: функція аудіо запису, перегляд відео, чат і онлайн форум, використання QR-кодів тощо.

Було обрано наступні: відео, статті, корисні посилання.

Західні вчені виділяють такі моделі мобільного навчання [14, 15]:

1. Web-модель;
2. App-модель (прикладна модель);
3. Стільникова модель.

У роботі була обрана та реалізована прикладна модель.

Під час вибору фреймворку головними умовами були: вільний доступ, кросплатформеність, модульна архітектура, бажано живе перезавантаження, швидкість роботи та важкість кінцевого продукту. Більше за всіх чим вимогам відповідав React Native, тож його було обрано для використання.

Після вирішення всіх питань та вибору шляху реалізації було сформовано структуру програми M-learning (рис. 4).

Запропоновано наступний вигляд програми.

По перше, основні можливості користувача програми:

- вхід;
- реєстрація;
- редагування особистих даних;
- доступ до матеріалів курсу.

Перехід по ключових екранах додатку відбувається за допомогою бокового меню, яке містить наступні пункти (рис. 5): «Моя сторінка»; «Матеріали»; «Налаштування»; «Допомога»; «Вихід».

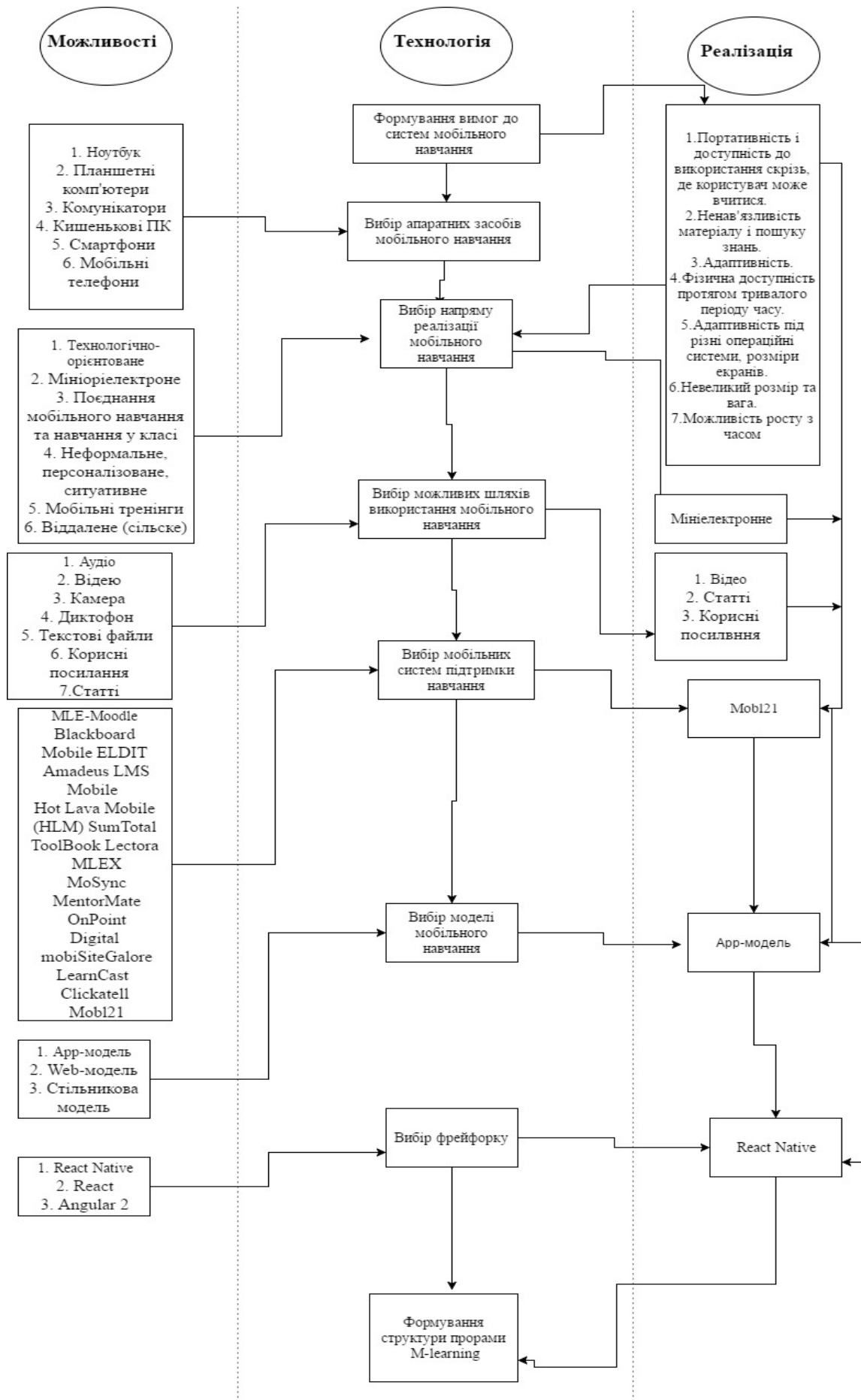


Рис. 4. Шляхи реалізації програмного макету курсу у системі мобільного навчання



Рис. 5. Бокове меню

Розділ «Моя сторінка» надає користувачу доступ до його персональної сторінки. Тут він може відредагувати свої персональні данні та переглянути свою результати.

Сторінка «Матеріали» містить список тем доступних у рамках курсу. У програмі матеріали курсу розбиті на окремі теми. Кожна тема містить основний матеріал, додаткові посилання на корисні ресурси, презентації, відеоматеріали. Користувач може сам відмітити чи пройшов він цей урок чи ні.

Розділ «Налаштування» надає можливість внески зміни у роботу програми. «Допомога» містить у собі короткий опис програми та її можливостей.

Необхідно зазначити, що під час розробки мобільного додатку системи дистанційного навчання я дотримувалися відповідних вимог щодо створення мобільних засобів навчального призначення. Зокрема, мобільний додаток розроблено відповідно технічних вимог, які висуваються до програмних засобів навчального призначення, реалізованих для використання на мобільних пристроях. Отже, згідно міжнародного стандарту ISO/IEC 9126 представлено перелік основних вимог:

- функціональність (functionality);
- надійність (reliability);
- легкість та простота використання (usability);
- ефективність (efficiency);
- зручність супроводу (maintainability);
- переносимість (portability) [19].

Головною метою програми є надання швидкого доступу до матеріалів курсу. Програма націлена надати можливість користувачу в будь-який момент часу отримати доступ до матеріалу та повторити потрібні йому частини.

Основною метою продукту є надання студентам доступу для швидкого повторення матеріалів курсу, не обтяжуючи їх зайвою інформацією.

Нижче приведено приклади головних екранів програми (рис. 6).



Рис. 6. Ключові екрани програми

## Висновки

У результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки стосовно систем мобільного навчання вцілому:

1. Системи мобільного навчання є інноваційними технологіями, на основі яких у вищих навчальних закладах повинно створюватися нове навчальне середовище, де студенти можуть отримати доступ до навчальних матеріалів у будь-який час та в будь-якому місці, що робить процес навчання більш привабливим, демократичним, комфортним і стимулює

студента до самоосвіти та навчання протягом усього життя.

2. На основі технологій мобільного навчання сьогодні можна забезпечувати доступ до широкого кола інформаційних ресурсів – від допомоги у виконанні конкретної роботи та автономних навчальних курсів, що завантажуються на мобільний пристрій студента, до повністю мережних навчальних курсів з проблемно орієнтованим програмним забезпеченням, що функціонує на сервері.

3. Відкритість, розширюваність, швидкий розвиток систем управління мобільним навчанням

сприяє їх застосуванню у різних видах навчальної діяльності як викладачів, так і студентів, забезпечуючи гнучкість і задоволення широкого кола освітніх потреб. Представлено опис макету навчального курсу у системі мобільного навчання з використанням прикладної моделі. У майбутньому планується розробити розділ «Налаштування» та «Допомога».

Отже, використання сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі та його керуванні дає можливість підвищити якість навчального процесу й посилити освітні ефекти від застосування інноваційних педагогічних програм і методик, оскільки дає додаткові можливості для побудови індивідуальних освітніх траєкторій студентів, а також підвищує ефективність та зацікавленість навчального процесу.

### Список літератури

1. Бугайчук К. Мобильное обучение в высшей школе // *Мобильное обучение*. – 2008. – № 2. – С. 48-49.
2. Ключева И.А. Требования к программным средствам учебного назначения // *Среднее профессиональное образование*. – 2006. – № 3. – С. 23-26.
3. Рашевська Н. В. Програмні засоби мобільного навчання / Рашевська Наталя Василівна // *Інформаційні технології і засоби навчання*. – 2011. – № 1 (21). – Режим доступу: <http://journal.iitta.gov.ua>.
4. Семеріков С. О. Фундаменталізація навчання інформаційних дисциплін у вищій школі: Монографія / Науковий редактор академік АПН України, д. пед. н., проф. М. І. Жалдак. – Кривий Ріг: Мінерал; К.: НПУ ім. Драгоманова, 2009. – 340 с.
5. Семуріков С.О. Фундаменталізація навчання інформаційних дисциплін у вищій школі / С.О. Семуріков. – К.: Мінерал, 2009. – 340 с.
6. Тихомирова Н.В. Глобальная стратегия развития smart-общества. МЭСИ на пути к Smart-университету / *Smart Education*. – Режим доступу: <http://smartmesi.blogspot.com/2012/03/smart-smart.html>
7. Дванадцять принципів мобільного навчання. – Режим доступу: <http://www.teachthought.com/technology/12-principles-of-mobile-learning/>.
8. Дослідження компанії TNS Infatest за замовленням Google. – Режим доступу: <http://ua.korrespondent.net/ukraine/3396435-v-ukraini-korystuvachiv-smartfoniv-stalo-u-try-razy-bilshе>
9. Alexander, B. *Going Nomadic: Mobile Learning in Higher Education*. *Educause Review*, 39 (5), 28-35.
10. Ally M. *Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training* // M. Ally. – Athabasca, AB: Athabasca University Press, 2009. – 297 p.
11. Banks, K. *Mobile Learning in Developing Countries: Present Realities and Future Possibilities*. In S. Hirtz, & D. M Harper (Eds.), // *Education for a Digital World: Advice, Guidelines, and Effective Practice from Around the Globe* p. 51-56.
12. El-Hussein, M. O. M., & Cronje, J. C. *Defining Mobile Learning in the Higher Education Landscape*. Vancouver, Canada: *Commonwealth of Learning/ Educational Technology & Society*, 13 (3), 12-21.
13. Gillett F. *Why Tablets Will Become Our Primary Computing Device* [http://blogs.forrester.com/frank\\_gillett/12-04-23-why\\_tablets\\_will\\_become\\_our\\_primary\\_computing\\_device](http://blogs.forrester.com/frank_gillett/12-04-23-why_tablets_will_become_our_primary_computing_device)
14. Madhvani A. *5 key advantages of React Native* / <http://www.icapps.com/5-key-advantages-of-react-native/>.
15. Naismith, L., Lonsdale, P., Vavoula, G. & Sharples, M. (2005) // *Literature Review in Mobile Technologies and Learning*. Report 11, NESTA Futurelab. Bristol: NESTA Futurelab.
16. Pappas C. *Mobile Learning Trends For 2016* // <https://elearningindustry.com/6-mobile-learning-trends-for-2016>.
17. Samsiah Bidin and Azidah Abu Ziden // *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 90 ( 2013 ), 720 – 729.
18. Traxler J. *Defining, Discussing, and Evaluating Mobile Learning: The moving finger writes and having writ...* // *International Review of Research in Open and Distance Learning*. – 2007. – June. Vol. 8. – Number 2. *What is m-learning?* Attached to: <http://www.m-learning.org/knowledge-centre/whatismlearning>.
19. *Models of mobile learning* / <http://www.mobl21.com/blog/14/models-of-mobile-learning>. ISO/IEC 9126-1:2001 *Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model*.

Надійшла до редколегії 22.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяєв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

### АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

С.И. Шматков, Н.Г. Кучук, Ж.А. Коломиец

В статье проведен анализ информационных технологий систем мобильного обучения. Были рассмотрены основные возможности таких систем, их недостатки и преимущества. Также рассмотрены дальнейший процесс развития систем мобильного обучения. На основе анализа был сформирован список требований к оптимального функционирования информационных технологий в системах мобильного обучения. Далее было предложено макет учебного курса в системе мобильного обучения на основе сложившихся требований. С помощью макета можно получить быстрый доступ к материалам учебной дисциплины с помощью мобильного устройства.

**Ключевые слова:** мобильное обучение, среда, информационные технологии, системы мобильного обучения, учебный курс, мобильное приложение, мобильные устройства, мобильная платформа.

### THE ANALYSIS OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN SYSTEMS OF MOBILE LEARNING

S.I. Shmatkov, N.G. Kucuk, ZH.O. Kolomic

The aim of the thesis: the analysis of modern information technologies in mobile learning system and the creation of mobile app for M-learning system. In this paper, the analysis of mobile information technologies in mobile learning systems. It was considered the main features of these systems, their advantages and disadvantages. In addition, it was considered the future development of mobile learning. With help of analysis was generated list of requirements for information technologies in mobile learning systems. It was proposed course in mobile learning system based on existing requirements.

**Keywords:** mobile learning environment, information technologies, mobile learning system, mobile app, mobile devices, mobile platform.

## FILTERING AND FORECASTING SIGNALS ALGORITHM BASED ON EXPONENTIAL BROWN'S FILTER

*In the article we reviewed exponential smoothing method, proposed by Robert Brown and field of its use in control systems and measurement systems. We proposed smoothing and forecasting signal algorithm, using nonius principle of Brown's filter structure increasing. This method gives an opportunity partly compensate disadvantages of exponential smoothing such as defects of introducing a lag relative to the input data. This algorithm might be implemented as program for digital information processing devices.*

**Keywords:** exponential smoothing, noise, forecast, original signal, low-pass filter, smoothing factor.

### Introduction

Exponential smoothing is data processing algorithm that is used for filtration and forecasting of time series data. Such processing information technique might be used as low-pass filter for signals that works using window function principle.

This method is widely used in the creation of statistics, signal processing, financial mathematics, smart transport, communications, automatic, astronomy, engineering and most other applied sciences that might describe processes as time series data.

One of the possible applications of this algorithm is its integration into the system of virtual and augmented reality [2], which nowadays are in current trends.

It should be noticed that exponential smoothing as usually can not guaranty strict accuracy during all time of data processing. This is because of the fact that even filtering systems with optimal parameters can be put under influence of the different noise with amplitudes that exceed values of determined noise amplitude.

Nowadays analysis and time series forecasting become more complicated because of non stationarity of different systems where it can be integrated. This problem can be solved by using adaptive smoothing and forecasting algorithm and filter structure improving.

### Formulation of the problem

Brown's model assumes that the signal value at a certain time moment consists of two components. The first component is the product of the current signal value and weight coefficient  $\alpha$ . The second component is product of the difference in the form  $(1 - \alpha)$  and the smoothed value of the signal in the previous time moment. The sum of these components can be represented as:

$$\hat{x}(k) = \alpha \cdot x(k) + (1 - \alpha) \cdot \hat{x}(k - 1), \quad (1)$$

where  $\hat{x}(k)$  – smoothed signal value at time  $k$ ;  $\alpha$  – smoothing factor;  $x(k)$  – current signal value at step time

$k$ ;  $(1 - \alpha)$  – the second member of the infinite geometric progression series in model of Brown, that is weight coefficient of the filtered signal value second component;  $\hat{x}(k - 1)$  – filtered signal value at step time  $(k-1)$ .

Let us consider the result of this algorithm on the example of linear function signal with determined amplitude noise. We see that the signal which consists of the linear function signal and imposed noise is fed to the system input. After the exponential smoothing process we observe that the filtered signal eliminates distortion caused by a noise superimposed on it. In the same time it lags for some time.

This process was modeled using the package of applied programs and programming language Matlab.

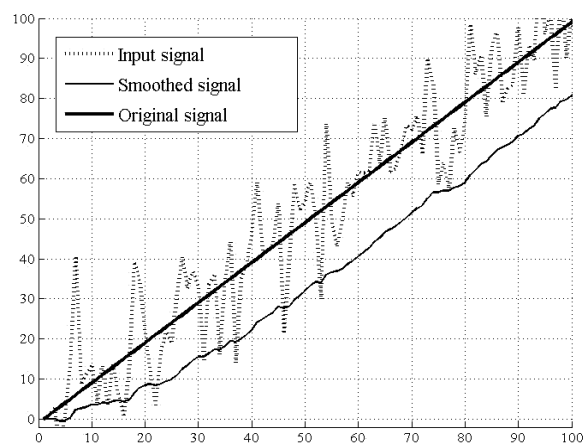


Fig. 1. Linear signal exponential smoothing process by Brown's filter

This negative effect can be ignored in a case when we need to analyze the signal after the researched process has finished and therefore there is no necessity to determine the accurate signal values, but it is possible to determine its form instead. The result of smoothing process gets worse if input original signal is nonlinear. Let us simulate exponential smoothing process when input signal is a quadratic function with imposed noise on it.

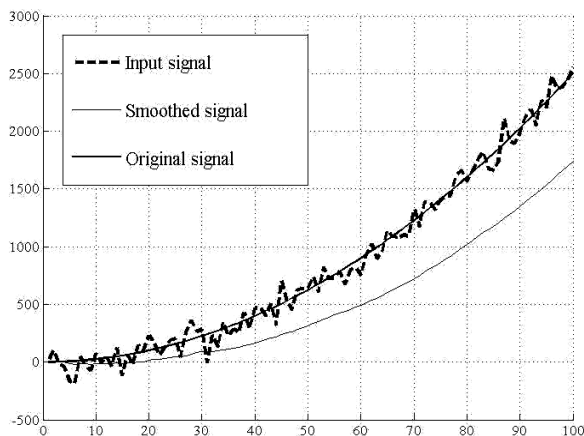


Fig. 2. Parabolic shape signal exponential smoothing process by Brown's filter

In this case we see that lag grows during the working time. As a result output data that we get after smoothing process does not give us information about real values of a signal but only can describe approximate shape of the signal. The difference between original signal and filtered signal grows that is why it does not give us opportunity to analyze even real shape of a signal and values of signal in a current time moment.

To summarize, the use of the exponential smoothing based on the Brown's model in determination of accurate values of the input signal is inappropriate. The algorithm of this process should be improved.

### Nonius principle of filter structure increasing

During our research we used two filters connected in series that work according to the formula (1) – double exponential smoothing (Brown's DES 1). As a result we get well filtered signal  $\hat{x}(k)$  but with substantial lag relative to the input data.

In the following step we should subtract smoothed signal values  $\hat{x}(k)$  from input signal  $x(k)$  (the sum of original signal and random noise). As a result we get lag values with noise disturbance. In order to get rid of distortion of signal  $\varepsilon_1(k)$  we use exponential smoothing (Brown's DES 2) that has the same working principle with previous one. After we got filtered signal  $\hat{\varepsilon}_1(k)$  values we add it to smoothed signal  $\hat{x}(k)$  values from Brown's DES filter 1. In this way we can get rid of lag we had before getting signal  $\hat{x}_1(k)$ . Let us exemplify the work of given algorithm using linear shape original signal with added noise.

If original signal is a signal with parabolic shape then we can observe the following tendency. The lag will stay and it will be soaring in determined diapason but it will not grow as it is shown on Fig. 2.

For compensation this lag we should expand the data processing algorithm structure similar to previous increasing.

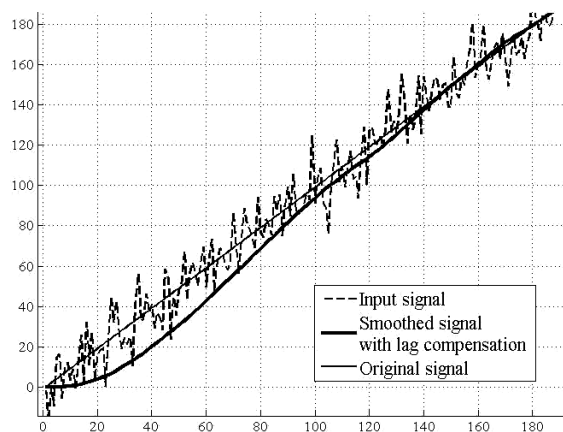


Fig. 3. Lag compensation process

The following data processing is based on determination of the second lag. This information can be got in a next way. We subtract smoothed signal  $\hat{x}_1(k)$  with compensated first lag from input disturbed signal  $x(k)$ . That is how we get second lag values  $\varepsilon_2(k)$  with added noise. To get rid of disturbance we filter this signal with Brown's DES filter 3 (Brown's DES 3). In order to compensate second lag we need to add smoothed signal  $\hat{\varepsilon}_2(k)$  with compensated first lag to smoothed second lag  $\hat{\varepsilon}_2(k)$ .

As a result the signal smoothing process with compensation of the first and second lags is presented on the Fig. 4.

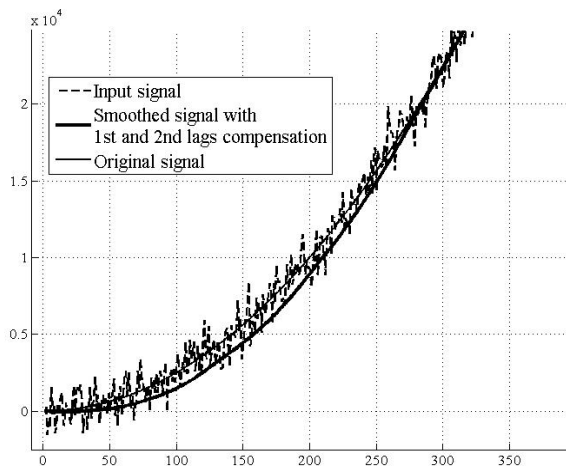


Fig. 4. The first and the second lags compensation process

The configure process takes some time due to the generation of the smoothing signal in the current time moment, which is determined basing on the previous observations. In addition, time that is needed for the filtered signal values to approximate to the original signal values depends on the smoothing factors which defines the smoothing value. With  $\alpha$  decrease configure time is increased, however, in consequence we get a signal that is better smoothed.

According to Brown's method double exponential smoothing gives an opportunity to get the forecast with representation of  $\hat{x}(k)$  by Taylor series. For the  $m$  steps linear forecast it is sufficient to use first two elements of Taylor series:

$$\hat{x}(k+m) = \hat{x}(k) + m \cdot \Delta t \cdot \hat{\dot{x}}(k), \quad (2)$$

where  $\hat{x}(k+m)$  –  $m$  steps forecast;  $m$  – steps amount of forecast;  $\Delta t$  – sample time;  $\hat{\dot{x}}(k)$  – derivative of double smoothed signal, can be presented as:

$$\hat{\dot{x}}(k) = [\hat{x}(k) - \hat{x}(k-1)] \cdot \Delta t^{-1}, \quad (3)$$

Inserting formula (3) into formula (2) we will get:

$$\hat{x}(k+m) = \hat{x}(k) + m \cdot [\hat{x}(k) - \hat{x}(k-1)], \quad (4)$$

Due to the nonius principle of filter structure increasing as it is shown Fig. 4 this structure gives a possibility to get the forecast for  $m$  steps and compensate lags  $\hat{x}(k+m)$ .

### Conclusions

As a result of the research the method of simple exponential filters connection was developed. Functioning of the filters is based on the Brown model. The filters give a possibility to get the smoothed value of the signal which is fed to the system input with noise in a current time moment. The given data processing algorithm also allows getting the forecast signal value.

One of the algorithm issues is a specific for the exponential smoothing configuring process that depends on the smoothing factor. The other issue is lack of the filter adaptation during the alteration of the noise amplitude.

#### АЛГОРИТМ ЗГЛАДЖУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СИГНАЛУ НА ОСНОВІ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОГО ФІЛЬТРА МОДЕЛІ БРАУНА

Б.Р. Боряк, А.М. Сильвестров

У статті було проведено огляд методу експоненціального згладжування, запропонованого Робертом Брауном та можливості його застосування у системах керування та вимірювання. Запропоновано алгоритм згладжування та прогнозування сигналу використовуючи ноніусний принцип нарощування структури експоненціального фільтра моделі Брауна. Даний метод дає можливість частково компенсувати негативні ефекти експоненціального згладжування, такі як похибка слідування першого і другого порядків. Даний алгоритм може бути реалізований у вигляді програми на цифрових пристроях обробки інформації.

**Ключові слова:** експоненціальне згладжування, шум, прогноз, корисний сигнал, фільтр низьких частот, коефіцієнт фільтрації.

#### АЛГОРИТМ СГЛАЖИВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ФИЛЬТРА МОДЕЛИ БРАУНА

Б.Р. Боряк, А.М. Сильвестров

В статье было рассмотрен метод экспоненциального сглаживания, предложенный Робертом Брауном, и возможности его применения в системах управления и измерения. Предложено алгоритм сглаживания и прогнозирования сигнала, с использованием ноніусного принципа наращивания структуры экспоненциального фильтра по модели Брауна. Этот метод дает возможность частично компенсировать негативные составляющие экспоненциального сглаживания, такие как погрешность следования первого и второго порядков. Данный алгоритм может быть реализован в виде программы на цифровых устройствах обработки информации.

**Ключевые слова:** экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, полезный (искомый) сигнал, фильтр низких частот, коэффициент фильтрации.

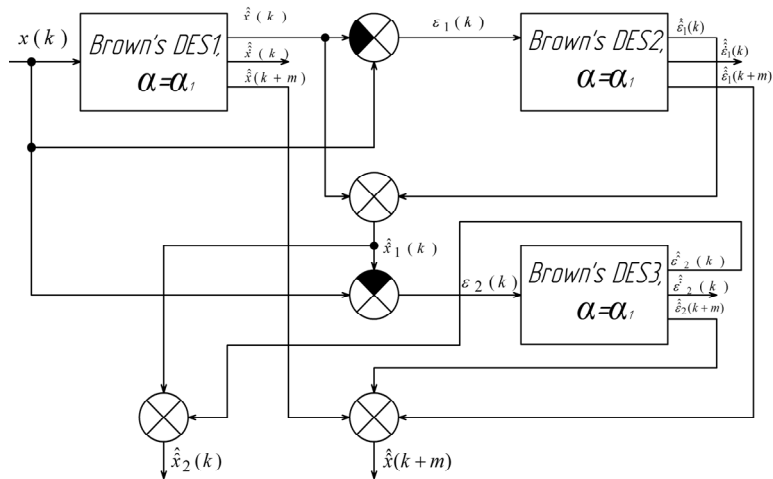


Fig. 5. Nonius principle of filter structure increasing

One of the algorithm advantages is a pretty high operation speed under conditions of its appliance to a system with small sample time. Another advantage is an algorithm flexibility that is accomplished due to the possibility to set up the connection between the smoothing factors of the different filters and due to the possibility of the independent functioning of the given elements with defined parameters.

### References

1. Brown R. *Exponential Smoothing for Predicting Demand* [Електронний ресурс] / Robert G Brown // Cambridge, Massachusetts: Arthur D. Little Inc. – 1956. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.industrydocumentslibrary.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=jzlc0130>.
2. LaViola J. *Double Exponential Smoothing: An Alternative to Kalman Filter-Based Predictive Tracking* [Електронний ресурс] / J. LaViola. – 2003. – Режим доступу: [http://cs.brown.edu/~jvl/pubs/kfvsxp\\_final\\_laviola.pdf](http://cs.brown.edu/~jvl/pubs/kfvsxp_final_laviola.pdf).

Надійшла до редколегії 22.04.2017

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



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ГЕРЦЕЛЯ И СПОСОБА АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ОТДЕЛЬНЫХ ТОНОВ СИГНАЛА

*Рассмотрен алгоритм Герцеля селективного спектрального анализа, предложен способ линейной алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций при обнаружении отдельных тонов в спектре сигнала. Произведен анализ эффективности известного и предложенного способа селективного спектрального анализа.*

**Ключевые слова:** быстрое преобразование Фурье (БПФ), фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры), система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), цифровая обработка сигналов.

### Введение

В современных условиях, характеризующихся сложностью задач, решаемых радиосистемами, и разнообразием помеховой обстановки, разработка достаточно совершенных систем возможна лишь на базе современных методов оптимизации. Общую проблему синтеза радиотехнических систем условно можно подразделить на две частные задачи: выбор «наилучших» сигналов для достижения требуемого результата с учетом реальной обстановки и оптимальная обработка принимаемых сигналов.

Традиционным методом первичного выявления параметров и демодуляции контролируемых сигналов в настоящее время является их анализ на основе алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). Использование алгоритмов БПФ для обработки OFDM сигнала предполагает наличие точной информации на приемной стороне о ряде параметров сигнала. При решении задач радиомониторинга и демодуляции эти данные, как правило, неизвестны [1].

Аппарат БПФ, оптимизированный по вычислительным затратам на основе алгоритмов прореживания по частоте или времени, не всегда является предпочтительным с точки зрения избыточной размерности задачи. К примеру, если спектр сигнала на интервале дискретности канала состоит из малого числа квадратурных частотных компонент  $f_1, f_2, \dots, f_m \gg 0$ , то для его полной обработки достаточно вычислить только  $m$  амплитудных коэффициентов. Если использовать БПФ, то на основании свойств вычислительного алгоритма определение осуществится для  $2 \cdot T \cdot f_m \gg m$  амплитуд, т.е. решится чрезмерно избыточная задача [2].

В связи с этим, развитие программно-аппаратных средств цифровой обработки сигналов, ориентированных только на использование алгоритмов БПФ не всегда является оправданным. Представляет интерес разработка теоретических и практических основ

применения обычного аппарата линейной алгебры для оптимизации вычислительных затрат и повышения характеристик точности распознавания и демодуляции сложных сигналов. Рассмотрим некоторые алгоритмы и методы обработки сигналов, которые позволяют обнаруживать отдельные тоны сигнала, не решая избыточную задачу.

### 1. Алгоритм Герцеля обнаружения отдельных гармонических компонент

Алгоритм Герцеля представляет собой процедуру вычисления дискретного преобразования Фурье. Он позволяет уменьшить число необходимых умножений, но на очень малый множитель. Сложность данного алгоритма равна  $n^2$ , поэтому он не принадлежит к алгоритмам БПФ. Алгоритм Герцеля полезен в тех случаях, когда требуется вычислить малое количество компонент преобразования Фурье, – как правило, не более чем  $\log_2 n$  из  $n$  компонент. Так как БПФ-алгоритмы вычисляют все компоненты преобразования, то в этих случаях приходится отбрасывать ненужные компоненты [3]. Алгоритм Герцеля позволяет вычислять значение  $k$ -го бина  $N$ -точечного ДПФ:

$$S_N(k) = \sum_{n=0}^{(N-1)} x(n) \cdot W_N^{kn}, \quad W_N^{kn} = \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} nk\right) \quad (1)$$

и представляет собой БИХ-фильтр второго порядка с двумя действительными коэффициентами в обратной связи и одним комплексным коэффициентом в прямой связи фильтра. Структура цифрового фильтра Герцеля приведена на рис. 1.

Для получения указанных значений  $k$ -го коэффициента ДПФ в алгоритме Герцеля сохраняется только каждое  $(N-1)$ -е значение этого коэффициента, что обеспечивает проведения одной операции комплексного умножения в прямой цепи фильтра и  $N$  действительных операций по вычислению промежуточных результатов в обратной цепи фильтра.

Отметим, что именно отказ от получения всех выходных отсчетов (следовательно, и их сохранения) в прямой цепи фильтра обеспечивает алгоритму Герцеля экономию в числе вычислений по сравнению с определением  $k$ -го коэффициента ДПФ  $S_N(k)$ , «в лоб», согласно соотношению (1).

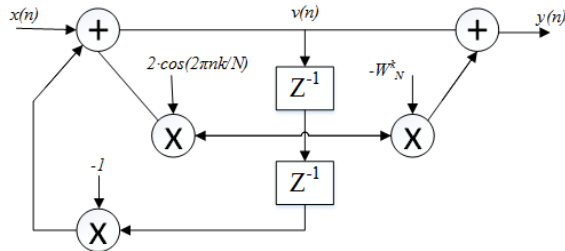


Рис. 1. Структура БИХ-фильтра, реализующая алгоритм Герцеля

Выходной сигнал фильтра  $y(n)$  равен отсчету ДПФ  $X(m)$  в момент времени  $n = N$ , если индекс первого отсчета сигнала  $n = 0$ . Чтобы результат был эквивалентен ДПФ, индекс частотной области  $m$  должен быть целым числом в диапазоне  $0 \leq m \leq N-1$ .

Передаточная функция фильтра Герцеля имеет следующий вид:

$$H_G(z) = Y(z) / X(z) = \frac{1 - e^{-j2\pi m/N} \cdot z^{-1}}{1 - 2 \cos(2\pi m/N) \cdot z^{-1} + z^{-2}}, \quad (2)$$

где  $z^{-1} = e^{-j\omega t}$ , а  $z^{-2} = e^{-j2\omega t}$ .

Разностные уравнения фильтра Герцеля во временной области задаются следующим образом:

1. Вычисляются коэффициенты обратной связи фильтра:

$$v(n) = 2 \cos(2\pi m/N) \cdot v(n-1) - v(n-2) + x(n). \quad (3)$$

2. Вычисляются коэффициенты прямой связи фильтра:

$$y(n) = v(n) - W_N^k \cdot v(n-1). \quad (4)$$

Таким образом, основные преимущества алгоритма Герцеля перед стандартным БПФ по основанию 2 при обнаружении отдельного тона заключаются в следующем:

- $N$  может не быть целой степенью двух.
- Частота тона может быть любой в диапазоне от нуля до частоты дискретизации.
- Объем памяти коэффициентов фильтра меньше, чем объем поворачивающих множителей.
- Не требуется накопление блока данных до начала вычисления. Обработка может начинаться с приходом первого входного отсчета.
- Алгоритм Герцеля не требует бит-реверсивной сортировки.
- Если алгоритм Герцеля реализуется  $M$  раз для обнаружения  $M$  разных тонов, то он более эффективен, чем БПФ, при  $M < \log_2 N$ .

• При вычислении значения отсчета  $N$ -го ДПФ  $X(m)$ , вычисление выражения (3) выполняется  $N$  раз, в то время как выражение (4) – вычисляются только один раз при подаче на вход  $N$ -го входного отсчета. Для действительной входной последовательности  $x(n)$  фильтр выполняет с целью вычисления  $X(m)$   $N+2$  действительных умножения и  $2N+1$  действительных сложений [4].

Одним из недостатков данного алгоритма является то, что он не позволяет вычислить большое количество компонент коэффициентов Фурье. И в задачах, когда необходимо рассчитать компоненты коэффициентов сразу для нескольких компонент, этот алгоритм будет не эффективен. Применение БПФ также не позволит уменьшить количество вычисляемых коэффициентов Фурье. В таких случаях предлагается использовать метод линейной алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций.

## 2. Метод линейной алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций

Применение алгоритма Герцеля и метода БПФ для вычисления параметров спектра сигналов является вычислительно затратным и сложно реализуемым. Для упрощения вычислений коэффициентов спектра сигналов предлагается использовать метод алгебраической демодуляции сложных сигнальных конструкций. Идея данного метода заключается в статистическом выявлении количества наблюдающихся фиксированных значений фаз гармонических колебаний на поднесущих частотах.

Для этого составляется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида:

$$A \cdot X = B, \quad (5)$$

где  $A$  – матрица амплитуд квадратурных компонент на интервале модуляции;  $B$  – вектор значений сигнала в цифровом представлении в каждом отсчете интервала модуляции;  $X$  – вектор искомых значений амплитуд для заданного интервала модуляции.

Размерность матрицы  $A$  определяется количеством отсчетов  $N$ , принимаемых во внимание при анализе сигнала на одном интервале модуляции, и числом учитываемых квадратур гармоник ( $2 \cdot n_{f_{\max}}$ ). В зависимости от соотношения вертикального и горизонтального размеров матрицы, система (5) может быть недоопределенной ( $N < 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ), определенной ( $N = 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ) или переопределенной ( $N > 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ). Рассмотрим эти случаи подробнее.

Наиболее простым является случай, когда система (5) может быть строго определенной ( $N = 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ), поскольку при этом, практически всегда, СЛАУ является совместной и решение сис-

темы существует и единственно. Число уравнений равняется числу искомых неизвестных ( $2 \cdot n_{f_{\max}}$ ), определяющих амплитуды квадратурных компонент сигнала. Для решения СЛАУ на  $i$ -м интервале модуляции следует выбрать ( $2 \cdot n_{f_{\max}}$ ) равномерно расположенных отсчетов массива измерений выборки  $P = \{p_0, p_1, \dots\}$ , начиная с позиции начала наблюдения полного тактового интервала сигнала. Квадратная матрица коэффициентов при неизвестных СЛАУ формируется по следующему правилу:

$$A_1 = \|a_{i,j}\|, \quad i, j = 0, \dots, (2 \cdot n_{f_{\max}} - 1);$$

$$a_{i,j} = \sin[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad 0 \leq j \leq n_{f_{\max}} - 1; \quad (6)$$

$$a_{i,j} = \cos[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad n_{f_{\max}} \leq j \leq 2 \cdot n_{f_{\max}} - 1;$$

где  $q = 0, 1, \dots, n_{f_{\max}}$ .

Вектор свободных членов формируется в виде вектора измерений сигнала на длительности одного интервала модуляции:

$$B_1 = \{b_0, b_1, \dots, b_{2n_{f_{\max}}-1}\}, \quad b_i = p_i, \quad (7)$$

где  $i = 0, \dots, 2 \cdot n_{f_{\max}} - 1$ .

Решение нормально определенной СЛАУ

$$A_1 \cdot X_1 = B_1 \Rightarrow X_1 = A_1^{-1} \cdot B_1 \quad (8)$$

дает искомую оценку вектора амплитуд квадратурных компонент  $X_1 = \left\{x_0^1, \dots, x_{(2 \cdot n_{f_{\max}} - 1)}^1\right\}$ , соответствующих допустимым значениям поднесущих частот.

Следующий случай, когда система (5) является недоопределенной ( $N < 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ), при этом такие системы либо имеют бесконечное число решений, либо не имеют решения вовсе. Недоопределенная СЛАУ может быть решена методом псевдообратной матрицы Мура-Пенроуза. Согласно методу псевдообратной матрицы, среди множества решений недоопределенной СЛАУ выбирается нормальное решение – решение с минимальной нормой среди решений, удовлетворяющее условию  $\|X_1\| = \min_{X_1}$ . Нормальное решение существует и является единственным и находится по формуле:

$$X_1 = A_1^+ \cdot B_1, \quad (9)$$

где  $A^+$  – псевдообратная матрица Мура-Пенроуза, размерностью  $2 \cdot n_{f_{\max}} \times 2 \cdot n_{f_{\max}}$ .

Матрица  $A^+$  определяется соотношением:

$$A_1 \cdot A_1^+ \cdot A_1 = A_1 \quad (10)$$

Решение (9), которое уместно записать в виде  $X_1^+ = A_1^+ \cdot B_1$ , дает нулевую невязку  $\|A_1 \cdot X_1^+ - B_1\| = 0$ , т.е. оно решение является псевдорешением и среди всех псевдорешений имеет, как нормальное решение, минимальную норму [5].

Наиболее выгодным с точки зрения максимального учета информации о сигнале является случай решения переопределенной СЛАУ ( $N > 2 \cdot n_{f_{\max}}$ ).

Для формирования переопределенной СЛАУ используются дополнительные измерения сигнала из выборки  $P$ , содержащей большее количество уравнений при том же самом количестве неизвестных. Степень переопределения системы характеризуется коэффициентом  $\mu = W/2$  и описывает асимметрию размеров матрицы  $W \times 2$ . Здесь  $W = \lfloor Fd/V \rfloor$ , где  $Fd$  – частота дискретизации сигнала;  $V$  – скорость модуляции; знак  $\lfloor \cdot \rfloor$  – означает округление к ближайшему меньшему целому числу; число 2 означает количество используемых квадратурных компонент, с помощью которых задается сигнал, а, следовательно, количество искомых неизвестных. Матрица  $A_2$  и вектор  $B_2$  формируется, используя максимальное количество измерений на интервале модуляции длительностью  $T_p$ , определяемое величиной  $\text{Num} \approx T_p/t_d$ :

$$A_2 = \|a_{i,j}\|, \quad i = 0, \dots, (\text{Num} - 1), \quad j = 0 \dots (2 \cdot n_{f_{\max}} - 1);$$

$$a_{i,j} = \sin[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad 0 \leq j \leq n_{f_{\max}} - 1; \quad (11)$$

$$a_{i,j} = \cos[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad n_{f_{\max}} \leq j \leq 2 \cdot n_{f_{\max}} - 1;$$

$$B_2 = \{b_0, \dots, b_{(\text{Num}-1)}\}, \quad b_v = q_v, \quad (12)$$

$$v = 0, \dots, (\text{Num} - 1).$$

СЛАУ имеет вид:

$$A_2 \cdot X_2 = B_2. \quad (13)$$

Система (13) имеет множество решений. На практике наиболее часто используют критерий наименьших квадратов, приводящему к оценке вида:

$$X_2^* = (A_2^T \cdot A_2)^{-1} A_2^T \cdot B_2. \quad (14)$$

Решение системы (14) является приближенным, но результат получается более точным, чем при решении строгой системы (8). Помехоустойчивость решения достигается путем усреднения действия помех при числе измерений сигнала, превышающим минимальное необходимое.

Вычисление вектора фазовых углов посредством решения системы (14) методом алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций требует примерно такого же количества операций, как и при использовании метода БПФ. При размерности матрицы  $A_2$ , равной  $\text{Num} \times 2$ , количество операций, требуемых для решения системы (14), примерно равно  $\text{Num} \cdot \log_2 \text{Num}$ . Главная особенность данного метода заключается в том, что для вычисления параметров спектра сигналов выбранной номенклатуры частот, нет необходимости вычислять все параметры спектра сигналов.

Наконец, можно рассмотреть важный для практики случай, когда СЛАУ является слабо определен-

ной. Слабо определенная система – это система, описываемая матрицей  $A$  с определителем не равным нулю  $|A| \approx 0$ , но число обусловленности  $|A^{-1}| \cdot |A|$  очень велико. Поскольку некоторые уравнения, входящие в такую систему, представляются линейной комбинацией других уравнений, то фактически сама система является недоопределенной ( $N < 2 \cdot n_{\max}$ ). В зависимости от конкретного вида вектора правой части  $B$ , существует либо бесконечное множество решений, либо не существует ни одного. Для решения такого вида систем используется метод регуляризации. Данный метод основан на привлечении дополнительной априорной информации о решении, которая может быть как качественной, так и количественной. Концепция регуляризации сводится к замене решения СЛАУ вида (5) на задачу о минимизации функционала Тихонова:

$$\Omega(X, \lambda) = |A \cdot X - B|^2 + \lambda \cdot |X - x_0|^2, \quad (15)$$

где  $\lambda$  – малый положительный параметр регуляризации;  $x_0$  – вектор априорной оценки.

Задачу минимизации функционала Тихонова можно свести к решению другой СЛАУ:

$$(A^T \cdot A + \lambda \cdot I) \cdot X = A^T \cdot B + \lambda \cdot x_0, \quad (16)$$

которая при  $\lambda \rightarrow 0$  переходит в исходную слабо определенную систему, а при больших  $\lambda$ , будучи хорошо определенной, имеет решение  $x_0$ . Очевидно, оптимальным будет некоторое промежуточное значение  $\lambda$ , устанавливающее определенный компромисс между приемлемой обусловленностью и близостью к исходной задаче [6].

Метод алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций позволяет произвести демодуляцию сигнала путем решения СЛАУ без использования метода БПФ. При демодуляции сигнала данным методом необходимо, чтоб СЛАУ была переопределенной, так как именно переопределенная СЛАУ позволяет максимально учитывать информацию о сигнале и дает единственное решение системы. За

счет переопределения СЛАУ и достигается помехоустойчивость данного решения, путем усреднения действия помех при большом числе измерений сигнала. Применение данного метода при демодуляции сигналов позволит вычислять параметры спектра сигналов только нужной номенклатуры частот.

## Выводы

При обработке сложных сигнальных конструкций для вычисления параметров спектра нескольких десятков тонов при применении алгоритма БПФ решается чрезмерно избыточная задача, при использовании алгоритма Герцеля, который реализуется в форме БИХ-фильтра второго порядка, эффективность алгоритма сводится к вычислительной сложности БПФ. Для эффективного решения данной задачи предлагается применять метод алгебраической обработки сложных сигнальных конструкций, который позволит вычислять параметры спектра сигналов только нужно номенклатуры, путем решение СЛАУ без использования БПФ.

## Список литературы

1. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер; пер. с англ. под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
3. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут; пер. с англ. под ред. И.И. Грушко. – М.: Мир, 1989. – 448 с.
4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс; пер. с англ. – М.: Бинном, 2006. – 635 с.
5. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд; пер. с англ. Ю.Н. Александрова. – М.: Мир, 1978. – 834 с.
6. Теория электрической связи: учебное пособие / К.К. Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, А.Г. Нестеренко. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМА ГЕРЦЕЛЯ ТА СПОСОБУ АЛГЕБРАІЧНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ОКРЕМИХ ТОНІВ СИГНАЛА

С.Г. Веклич

Розглянуто алгоритм селективного спектрального аналізу, запропонований спосіб лінійної алгебраїчної обробки складних сигнальних конструкцій при виявленні окремих тонів в спектрі сигналу. Зроблено аналіз ефективності відомого і запропонованого способу селективного спектрального аналізу.

**Ключові слова:** швидке перетворення Фур'є (ШПФ), рекурсивний фільтр (НІХ-фільтри), система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАУ), цифрова обробка сигналів.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GOERTZEL ALGORITHM AND METHOD OF ALGEBRAIC PROCESSING OF COMPLEX SIGNAL CONSTRUCTIONS IN CASE OF DETECTION OF SEPARATE TONES OF THE SIGNAL

S.H. Veklych

The Goertzel algorithm of selective spectrum analysis is considered, the method of the linear algebraic processing of difficult signal constructions in case of detection of separate tones in a signal range is offered. The analysis of efficiency of the known and offered method of selective spectrum analysis is made.

**Keywords:** fast Fourier transform (FFT), filter with infinite impulse response (IIR-filters), system of linear algebraic equations (SLAE), digital signal processing.

УДК623.55.02

О.М. Іохов, В.Г. Малюк, К.М. Ткаченко

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АКТИВНОГО РАДІОМАСКУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ У ОПЕРАТИВНОМУ РАЙОНІ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ПОВІТРЯНИХ ЗАСОБІВ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

*Розглядається варіант захисту від повітряних засобів радіорозвідки противника інформаційного обміну підрозділів НГУ, розташованих у визначеному операційному районі, шляхом постановки навмисних радіоперешкод спеціальними мобільними засобами радіомаскування. Побудована комп'ютерна модель взаємодії таких засобів з каналом радіозв'язку між підрозділами НГУ.*

**Ключові слова:** радіоелектронне маскування, засоби активного радіомаскування, канал радіозв'язку, діаграма спрямованості.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Серед сучасних тенденцій розвитку радіоелектронної боротьби активності набувають технічні рішення, що використовують повітряні засоби радіорозвідки на БПЛА, а також розробки щодо протидії таким засобам [1-3].

Аналіз застосування системи радіозв'язку Національної гвардії України (НГУ) під час проведення АТО виявив недоліки у забезпеченні захисту радіообміну в умовах дії сучасних засобів радіорозвідки противника, звідки постає задача створення альтернативних організаційно-технічних заходів з підвищення показників розвідзахищеності системи радіозв'язку НГУ.

Це робить актуальним питання ефективного застосування радіоелектронного маскування (РМ) — сукупності заходів і дій, спрямованих на зниження ефективності застосування засобів радіорозвідки [4,5].

Аналіз, проведений у роботі [8], підтверджує, що способи пасивного радіомаскування, засновані на екрануванні, регламентації робіт на випромінювання лише частково вирішують проблеми приховування радіомереж та окремих засобів радіозв'язку від радіоелектронної розвідки, тому для забезпечення розвід захищеності необхідно додатково використовувати засоби активного радіомаскування (ЗРМ). Такі засоби створюють спеціальні поля перешкод, що ускладнюють несанкціонований прийом сигналу засобами радіотехнічної розвідки і виділення повідомлень засобами радіорозвідки. Результатом дії активних шумових перешкод є маскування корисних сигналів в деякому тілесному куті і певному інтервалі відстаней. Внаслідок цього істотно погіршуються характеристики виявлення засобів радіозв'язку, їх роздільна здатність і точність визначення координат. Виключена зі спостереження частина простору називається областю, що маскується [4].

Визначення неповно без істотно важливого обмеження: перешкоди від ЗРМ не повинні заважати роботі радіоелектронних засобів (РЕЗ) у області, що маскується, тобто не повинні знижувати показники їх ефективності і якості нижче деякого прийняттого рівня.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Література за даною тематикою, в основному, присвячена питанням РМ окремих радіостанцій, а не систем радіозв'язку військового призначення в цілому [4-7]. Для отримання кількісних оцінок електромагнітної сумісності використовуються методики, які враховують енергетичні показники, при цьому енергетичні показники характеризуються співвідношенням потужностей сигналів та перешкод на вході приймального пристрою засобів радіорозвідки. Використовуючи аналітичний підхід, автори розглядають взаємодію діаграм спрямованості (ДС) радіоелектронних засобів тільки у горизонтальній площині, часто обмежені у виборі варіантів форми ДС приймача, не розглядають варіанти використання гостро направлених ДС випромінювачів штучних завод. Загальним недоліком цих робіт є відсутність можливості оцінювання впливу кількох ЗРМ на розвідзахищеність радіостанцій підрозділів НГУ від кількох засобів радіоелектронної розвідки противника (ЗРЕРп).

У роботах [9, 10] розроблені імітаційні моделі роботи каналу радіозв'язку (КРЗ) між підрозділами НГУ, які дозволяють оцінити параметри його завадозахищеності відносно стаціонарних наземних засобів радіоелектронної боротьби противника. У цих роботах припускалося, що для забезпечення захищеного радіозв'язку з командним пунктом засоби радіозв'язку підрозділів НГУ та ЗРМ використовують мобільні діаграмо-спрямовуючі пристрої, змонтовані зі штатних засобів активної оборони [9]. Діаграма спрямованості такої антенної системи вважалася двовимірною, тобто задавалася тільки у горизонтальній площині, що робить її непридатною для

роботи з повітряними цілями. Отже, у задачі протидії радіоелектронній розвідці, що базується наБПЛА, необхідно оперувати тривимірною ДС генератора завад, вводючи у перелік параметрів моделі ЗРМ кут місця цілі.

Другий недолік моделей [8, 9], який не дозволяє використовувати їх у задачі боротьби з повітряною радіотехнічною розвідкою, є те, що траєкторія БПЛА являє собою не одну точку, а множину точок, які необхідно придушувати одночасно.

Третій момент, відсутній у моделях [8, 9], полягає у необхідності захищати не окремі точки на мапі, а область, що маскується, межі якої визначаються точками визначення оперативного простору (ТВОП) військових підрозділів.

Така нова постановка задачі потребує доопрацювання зазначених вище моделей.

Метою статті є удосконалення імітаційної моделі активного радіомаскування військових підрозділів шляхом урахування висоти, на якій може знаходитись засіб радіорозвідки та деякої траєкторії його руху.

### Виклад основного матеріалу

Враховуючи різноманітність конструкцій антенних систем, яка диктується необхідністю візуального маскування, характеристики просторових ДСЗРМ за наявності відповідних креслень можна обчислити за технологією HFSS [9]. Приклад моделювання такої ДС ЗРМ з парабоциліндричною антеною, який використовувався у роботі [10] для підвищення завадостійкості роботи радіоелектронних засобів військових підрозділів в умовах радіопридушення, наведений на рис. 1.

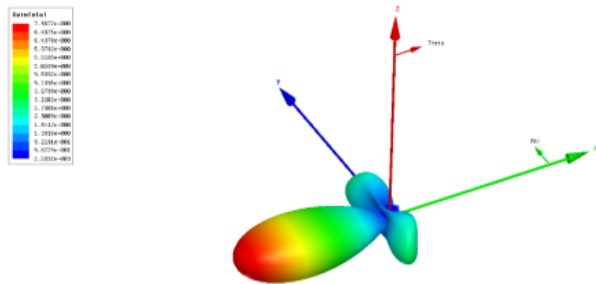


Рис. 1. Моделювання тривимірної ДС антенної системи у HFSS Ansoft

Просторову функцію напруженості поля антенного пристрою у полярних координатах позначимо як  $G(\theta, \phi)$ , де  $\theta$  - кут азимуту, а  $\phi$  - кут місця цілі. Зазвичай для опису ДС використовують її перерізи  $D_g(\theta)$  та  $D_v(\phi)$  у горизонтальній та вертикальній площині відповідно. Використовуючи результати моделювання ДС вищевказаного антенного пристрою у декартових координатах (рис. 2, 3), можна одержати табличні значення функцій  $D_g(\theta)$ ,  $D_v(\phi)$ .

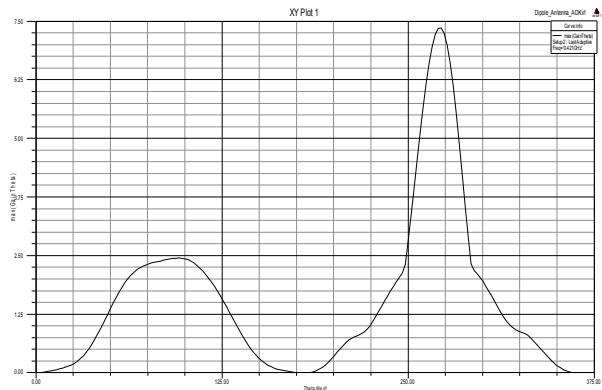


Рис. 2. Діаграма спрямованості в декартовій системі щодо кута  $\theta$

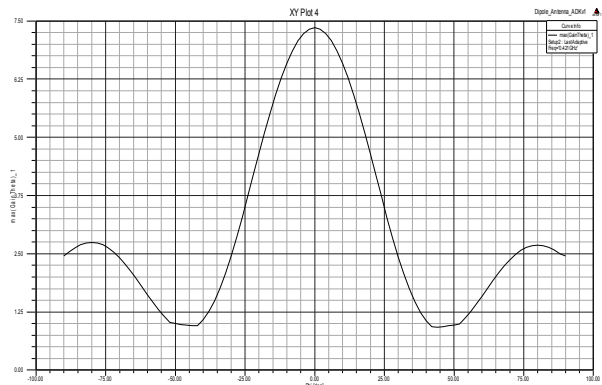


Рис. 3. Діаграма спрямованості в декартовій системі щодо кута  $\phi$

Аналогічним чином можна одержати значення функцій горизонтального та вертикального перерізу ДС антенного пристрою будь-якої конструкції для  $\theta \in [0^0, 360^0]$  та  $\phi \in [-90^0, 90^0]$ . Маючи таблюовані значення функцій  $D_g(\theta)$  та  $D_v(\phi)$ , нормовану ДС антени ЗРМ одержуємо наступним чином:

$$G(\theta, \phi) = D_g(\theta) * D_v(\phi), \tag{1}$$

Перейдемо до опису взаємодії системи ЗРМ з іншими об'єктами моделі. Будемо вважати, що можлива траєкторія пересування повітряного ЗРЕРп у кожній своїй точці є доступною для відповідним чином розташованих ЗРМ (рис. 4).

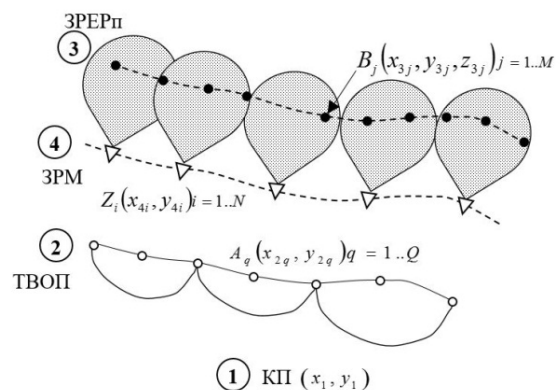


Рис. 4. Складові моделі активного радіомаскування ТВОП в умовах дії повітряного ЗРЕРп

У склад моделі входять такі елементи:

**Об'єкт 1.** Командний пункт (КП). Характеризується координатами розташування  $(x_1, y_1)$  та потужністю передавача  $P_1$ .

**Об'єкт 2.**  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_Q\}$  – множина ТВОП військових підрозділів  $A_q(x_{2q}, y_{2q})$ ,  $q=1..Q$ , у кожній з яких можливе розташування радіоелектронного засобу потужністю  $P_{2q}$ , азимут діаграми спрямованості (ДС) якого становить кут  $\theta_{2q}$ .

**Об'єкт 3.**  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_M\}$  – множина точок  $B_j(x_{3j}, y_{3j}, z_{3j})$ ,  $j=1..M$  можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕП.

**Об'єкт 4.**  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}$  – множина точок  $Z_i(x_{4i}, y_{4i})$ ,  $i=1..N$  розташування ЗРМ, у кожній з яких розміщується джерело радіоперешкод потужністю  $P_{4i}$ , власний азимут ДС якого становить кут  $\theta_{4i}$ , а кут місця  $\phi_{4i}$ .

Окремий випадок розташування траєкторії пересування повітряного ЗРЕП уздовж лінії фронту, зображений на рис. 4, не є принциповим для роботи моделі, розташування об'єктів якої може бути змінено довільним чином. Схема радіомаскування окремої точки ТВОП  $A_q$  одиночним ЗРМ наведена на рис. 5.

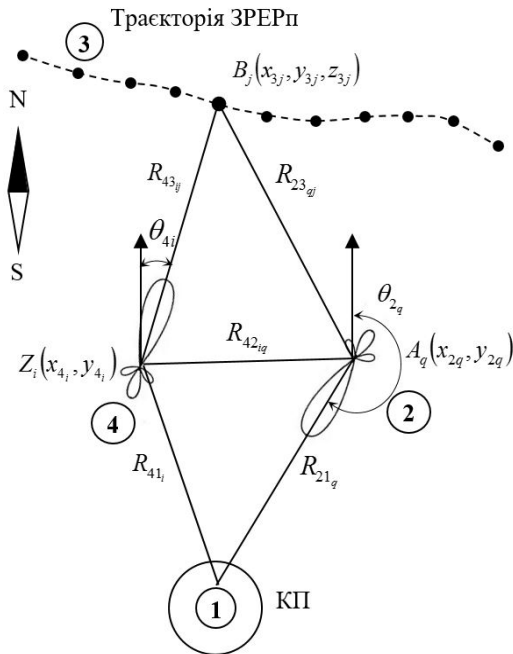


Рис. 5. Схема активного радіомаскування точки визначення оперативного простору

Використовуючи принцип суперпозиції для адитивних завдань від системи ЗРМ  $Z = \{Z_1, \dots, Z_N\}$ , коефіцієнт придушення  $K_{12q}$  сигналу КП у точці  $A_q$  за результатами роботи [7] одержимо у такому вигляді:

$$K_{12q} = R_{21q}^2 / \left( P_1 G_{2q} (\theta_{21q} - \theta_{2q}) \right) \times \sum_{i=1}^N P_{4i} G_{4i} (\theta_{42iq} - \theta_{4i}, \phi_{4i}) / R_{42iq}^2, \quad (2)$$

де  $R_{21q} = \sqrt{(x_1 - x_{2q})^2 + (y_1 - y_{2q})^2}$  – відстань між КП та точкою  $A_q$ ;

$\theta_{21q} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{x_{2q} - x_1}{y_{2q} - y_1} \right| \right]$  – кут азимуту з точки  $A_q$  на КП;

$R_{42iq} = \sqrt{(x_{4i} - x_{2q})^2 + (y_{4i} - y_{2q})^2}$  – відстань між точками  $Z_i$  та  $A_q$ ;

$\theta_{42iq} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{x_{4i} - x_{2q}}{y_{4i} - y_{2q}} \right| \right]$  – кут азимуту з точки  $Z_i$  на точку  $A_q$ ;

$G_{2q}(\theta)$  – нормована ДС антени РЕЗ, розташованого у точці  $A_q$ ;

$G_{4i}(\theta, \phi)$  – нормована ДС антени  $i$ -го ЗРМ;

$\theta$  – кут напрямку на точку оперативного простору відносно власного азимуту ДС;

$\phi$  – кут місця ДС.

Коефіцієнт придушення  $K_{21q}$  сигналу з точки  $A_q$  у точці розташування КП

$$K_{21q} = R_{21q}^2 / \left( P_{2q} G_{2q} (\theta_{21q} - \theta_{2q}) \right) \times \sum_{i=1}^N P_{4i} G_{4i} (\theta_{41i} - \theta_{4i}, \phi_{4i}) / R_{41i}^2, \quad (3)$$

де  $R_{41i} = \sqrt{(x_{4i} - x_1)^2 + (y_{4i} - y_1)^2}$  – відстань між точками  $Z_i$  та КП;

$\theta_{41i} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{x_{4i} - x_1}{y_{4i} - y_1} \right| \right]$  – кут азимуту з точки  $Z_i$  на КП.

Коефіцієнт придушення  $K_{13j}$  сигналу передавача КП у точці  $B_j$  можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕП одержуємо таким чином:

$$K_{13j} = \frac{R_{13j}^2}{P_1} \sum_{i=1}^N \frac{P_{4i} G_{4i} (\theta_{43ij} - \theta_{4i}, \phi_{43ij} - \phi_{4i})}{R_{43ij}^2}, \quad (4)$$

де  $R_{13j} = \sqrt{(x_1 - x_{3j})^2 + (y_1 - y_{3j})^2}$  – відстань між КП та  $B_j$ ;

$R_{43ij} = \sqrt{(x_{4i} - x_{3j})^2 + (y_{4i} - y_{3j})^2}$  – відстань між точками  $Z_i$  та  $B_j$ ;

$\theta_{43_{ij}} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{x_{4_i} - x_{3_j}}{y_{4_i} - y_{3_j}} \right| \right]$  – кут азимуту з точки  $Z_i$  на точку  $B_j$ ;

$\phi_{43_{ij}} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{z_j}{R_{43_{ij}}} \right| \right]$  – кут місця з точки  $Z_i$  на точку  $B_j$ .

Коефіцієнт придушення  $K_{23_{qj}}$  сигналу з точки  $A_q$  у точці  $B_j$  можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕРп одержуємо таким чином:

$$K_{23_{qj}} = R_{23_{qj}}^2 \left/ \left( P_{2_q} G_{2_q} \left( \theta_{23_{qj}} - \theta_{2_q} \right) \right) \right. \times \sum_{i=1}^N P_{4_i} G_{4_i} \left( \theta_{43_{ij}} - \theta_{4_i}, \phi_{43_{ij}} - \phi_{4_i} \right) \left/ R_{43_{ij}}^2, \quad (5)$$

де  $R_{23_{qj}} = \sqrt{\left( x_{2_q} - x_{3_j} \right)^2 + \left( y_{2_q} - y_{3_j} \right)^2}$  – відстань між точками  $A_q$  та  $B_j$ ;

$\theta_{23_{qj}} = \tan^{-1} \left[ \left| \frac{x_{2_q} - x_{3_j}}{y_{2_q} - y_{3_j}} \right| \right]$  – кут азимуту з точки  $A_q$  на точку  $B_j$ .

Визначимо припустиме порогове значення коефіцієнту придушення каналу радіозв'язку військових підрозділів системою ЗРМ як  $K_{пор1}$ , а необхідне порогове значення коефіцієнту придушення ЗРЕРп - як  $K_{пор2}$ . Задачу комплексу ЗРМ можна вважати виконаною, якщо при заданих параметрах об'єктів оперативної обстановки одночасно виконуються логічні співвідношення

$$\max_q K_{12_q} \leq K_{пор1}, \quad \max_q K_{21_q} \leq K_{пор1} \quad (6)$$

$$\min_j K_{13_j} \geq K_{пор2}, \quad \min_{q,j} K_{23_{qj}} \geq K_{пор2} \quad (7)$$

Співвідношення (6) обумовлюють роботу каналу радіозв'язку між КП та ТВОП у штатному режимі, а корисний сигнал цього каналу радіозв'язку повинен бути придушений в усіх точках можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕРп завдяки співвідношенням (7). Таким чином, співвідношення (6) та (7) можна вважати критеріями ефективності роботи комплексу РМ.

Для обчислення оптимальних параметрів захисту інформаційного обміну підрозділів НГУ, розташованих у визначеному операційному районі, розроблена програма комп'ютерного моделювання, інтерфейс якої представлений на рис. 6. Центральним елементом інтерфейсу програми є мапа, на якій за допомогою мишки вказується розміщення об'єктів моделі. Робота з програмою починається із завантаження з файлу схематичного або супутникового зображення мапи місцевості. Далі необхідно виконати операцію калібрування, тобто обчислення масштабу мапи шляхом протягування маркера миші уздовж об'єкту на мапі, довжина якого заздалегідь відома.

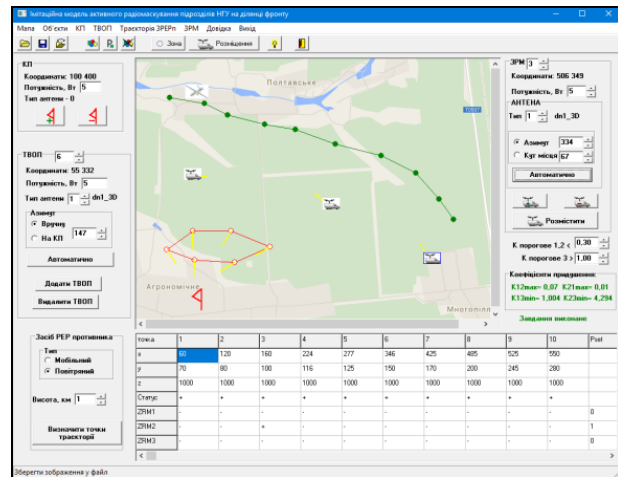


Рис. 6. Програма моделювання захисту ТВОП від засобів повітряної розвідки

Обчислення коефіцієнтів придушення (2-5) та аналіз стану виконання бойової задачі за співвідношеннями (6-7) виконуються у інтерактивному режимі за умови визначення параметрів усіх об'єктів.

Розглянемо формулювання задач пасивного та активного радіомаскування у термінах моделі, що пропонується. Оскільки розташування КП та ТВОП відноситься до параметрів оперативної обстановки  $i$ , як правило, вважається визначеним, задачу пасивного РМ можна розглядати як задачу забезпечення виконання умов (6-7) за рахунок вибору оптимальних значень потужності передавача КП  $P_1$ , множини потужностей передавачів ТВОП  $\{P_{2_1}, P_{2_2}, \dots, P_{2_Q}\}$ , множини кутів орієнтації антен РЕЗ, розташованих у ТВОП,  $\{\theta_{2_1}, \theta_{2_2}, \dots, \theta_{2_Q}\}$ , а також форми ДС РЕЗ, розташованих у ТВОП, що визначається функцією  $G_{2_q}(\theta)$ . Перелічені параметри на головній формі програми встановлюються у фреймах КП та ТВОП.

Задача активного РМ розв'язується як задача забезпечення виконання умов (6-9) за рахунок вибору кількості РЕЗ ЗРМ (параметр  $N$ ) та координат їх розташування  $Z_i(x_{4_i}, y_{4_i})$ ; оптимальної орієнтації антен ЗРМ (множини  $\Theta_4 = \{\theta_{4_1}, \theta_{4_2}, \dots, \theta_{4_N}\}$ ; оптимальних значень потужностей передавачів  $P_4 = \{P_{4_1}, P_{4_2}, \dots, P_{4_N}\}$ , а також форми ДС РЕЗ, що застосовуються у ЗРМ (функція  $G_{4_i}(\theta, \phi)$ ). Перелічені параметри на головній формі програми встановлюються у фреймі ЗРМ.

Перемикачами «Вручну» та «Автоматично» у розділі «Орієнтація» фреймів ПНГ та ГПМ можна змінювати режим вибору орієнтації РЕЗ цих об'єктів. У ручному режимі кути  $\Theta_2 = \{\theta_{2_1}, \theta_{2_2}, \dots, \theta_{2_N}\}$ ,  $\Theta_4 = \{\theta_{4_1}, \theta_{4_2}, \dots, \theta_{4_N}\}$  та



$\phi_4 = \{\phi_{4_1}, \phi_{4_2}, \dots, \phi_{4_N}\}$  визначаються за допомогою відповідних лічильників, розташованих на формі.

У автоматичному режимі кути

$\Theta_2 = \{\theta_{2_1}, \theta_{2_2}, \dots, \theta_{2_Q}\}$  встановлюються такими, що

відповідають азимутам на КП з відповідних точок

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_Q\}$ , а кути  $\Theta_4 = \{\theta_{4_1}, \theta_{4_2}, \dots, \theta_{4_N}\}$

та  $\phi_4 = \{\phi_{4_1}, \phi_{4_2}, \dots, \phi_{4_N}\}$  обчислюються методом

координатного спуску такими, щоб забезпечити придушення максимальної кількості точок

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$ .

Розраховані значення  $K_{12}$ ,  $K_{21}$ ,  $K_{13}$  або  $K_{23}$ , які не задовольняють умовам (6-7), виводяться на форму червоним кольором, а ті, що задовольняють - зеленим кольором. За виконання усіх умов (6-7) на форму виводиться повідомлення «Завдання виконане» зеленим кольором, у іншому випадку – повідомлення «Завдання не виконане» червоним кольором (рис. 6).

## Висновки

У результаті дослідження отримала подальший розвиток імітаційна модель активного радіомаскування військових підрозділів, яка на відміну від відомих додатково враховує форму діаграми спрямованості антенних пристроїв при зміні кута місця дозволяє дослідити ступень прихованості радіообміну в усіх точках визначеного оперативного простору з урахуванням можливої траєкторії руху повітряних та наземних ЗРЕРп. Вперше визначено критерій ефективності роботи комплексу радіомаскування який вимагає одночасного виконання умов скритної радіообміну при застосування активного та пасивного радіомаскування та в якості показників використовують коефіцієнти придушення корисного сигналу у відповідних точках оперативного простору.

Програмна реалізація моделі дозволяє визначити стан прихованості каналів радіозв'язку між підрозділами НГУ у заданій бойовій ситуації та обчислити оптимальну орієнтацію ЗРМ.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ РАДИОМАСКИРОВКИ ВОЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В ОПЕРАТИВНОМ РАЙОНЕ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНЫХ СРЕДСТВ РАДИОРАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА

А.Ю. Иохов, К.Н. Ткаченко, В.Г. Малюк

Рассматривается вариант защиты от воздушных средств радиоразведки противника информационного обмена подразделений НГУ, расположенных в определенном операционном районе, путем постановки преднамеренных радиопомех специальными мобильными средствами радиомаскировки. Построена компьютерная модель взаимодействия таких средств с каналом радиосвязи между подразделениями НГУ.

**Ключевые слова:** радиоэлектронная маскировка, средства активной радиомаскировки, канал радиосвязи, диаграмма направленности.

## COMPUTER MODEL OF ACTIVE RADIMASKING OF MILITARY DEPARTMENTS IN OPERATIONAL AREA UNDER THE CONDITIONS OF THE ACTIVITY OF ANTI-RADIO AIRWAYS

A.Yu. Iohov, K.M. Tkachenko, V.H. Maluk

The article deals with the option of protection from the enemy's air reconnaissance aircraft of the information exchange of NSU units located in a certain operational area, by staging intentional radio interference with special mobile radio masquerading means. A computer model for the interaction of such means with the radio communication channel between NGU subdivisions is constructed.

**Keywords:** radio-electronic masking, means of active radio-masking, radio communication channel, radiation pattern.

Напрямок подальших досліджень може бути створення методу та інформаційної технології обчислення на мапі зони розташування ГПП, у якій бойова задача виконується найкращим чином.

## Список літератури

1. Комплекс «Леер» с беспилотным летательным аппаратом «Орлан-10». Режим доступу: <http://bastion-opk.ru/orlan-10>.

2. Integrated UAV COMINT/DF System EL/K-7071. Режим доступу: [http://www.iai.co.il/sip\\_storage/FILES/3/27513.pdf](http://www.iai.co.il/sip_storage/FILES/3/27513.pdf)

3. Комплекс радиоэлектронной борьбы с малоразмерными БЛА «Репеллент-1». Режим доступу: <http://foto-imir.ru/repellent-1>.

4. Вакин С. А., Шустов Л. Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М., Изд-во «Советское радио», 1968. - 448 с.

5. Курприянов, А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы [Текст]: Учеб. пособие / А. И. Курприянов, А. В. Сахаров. - М.: Вузовская книга, 2007. - 356 с.

6. Палий, А.И. Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А.И. Палий. - М.: Воениздат, 1981. - 320 с.

7. Цветнов, В.В. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита [Текст] / В.В. Цветнов, В.П. Демин, А. И. Курприянов. - М.: Изд-во МАИ, 1999. - 240 с.

8. Аналіз впливу заходів радіомаскування на розвідувальність радіоелектронних засобів / Ю.В. Журавський, РМ., Жовноватюк, Г.Д. Носова, А.А. Завада //Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ, випуск 10, 2015. - С. 43-50

9. HFSS Ansoft. Режим доступу: <http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>

10. Оцінювання завадостійкості каналу радіозв'язку тактичної ланки управління підрозділами внутрішніх військ методом імітаційного моделювання [Текст] / О.Ю.Иохов, І. В. Кузмініч, В. Г. Малюк, О. В. Северінов //Системи управління, навігації та зв'язку, вип. 3 (27), 2013. - С. 153 – 158

11. Иохов О. Ю., Малюк В. Г., Горбов О. М. Імітаційне моделювання радіоканалів військового призначення //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України, 2015, №1(18). - С. 92-96.

Надійшла до редколегії 12.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України. Харків.

УДК 621.396

О.О. Пучков, І.М. Гиренко

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ

## МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ РЕМОНТНОГО ОРГАНУ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В статті на основі використання сучасних досягнень в галузі технічної експлуатації, технічної діагностики і метрологічного забезпечення радіоелектронних засобів сформульовано цільову функцію і показник ефективності роботи ремонтних органів засобів спеціального зв'язку, а також формалізовано у вигляді методики порядок обґрунтування кількості і спеціалізації робочих місць, яка використовує новий метод обґрунтування черговості їх створення та удосконалені математичні моделі завантаження ремонтного органу в мирний та військовий час.

**Ключові слова:** засоби спеціального зв'язку, відновлення працездатності, апаратні технічного забезпечення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В мирний час тільки до 30% поточних ремонтів засобів спеціального зв'язку виконують екіпажі апаратних зв'язку, інші відновлюють в ремонтних органах. У військовий час ремонт є основним джерелом відновлення засобів спеціального зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями, тому питання удосконалення та підвищення ефективності ремонтних органів, які розглядаються в цій роботі, є досить актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У відомих джерелах розглянуті окремі питання підвищення ефективності дефектації [1, 2], діагностичного [3, 4] та метрологічного [5] забезпечення ремонту засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ). Запропоновано новий метод обґрунтування порядку розробки модулів перспективних апаратних технічного забезпечення (АТЗ) ЗСЗ та удосконалені математичні моделі завантаження фахівців ремонтного органу (РО) [6], але відсутня комплексна методика, що об'єднує ці результати та дозволяє обґрунтувати кількість і спеціалізацію робочих місць РО ЗСЗ для АТЗ під час ремонту в польових умовах та пункту технічного обслуговування і ремонту (ПТОР) в місцях постійної дислокації територіальних вузлів урядового зв'язку (ТВУЗ).

**Мета статті** – розробка методики обґрунтування складу ремонтного органу засобів спеціального зв'язку з метою мінімізації вартості технологічного обладнання РО при забезпеченні необхідного часу відновлення ЗСЗ агрегатним методом в стаціонарних та польових умовах мирного та військового часу.

### Виклад основного матеріалу

Тому що в мирний час РО повинні забезпечити відновлення ЗСЗ за встановлений час при обмежен-

нях на вартість, а у військовий час, навпаки – за мінімальний час при обмежених ресурсах, при обґрунтуванні організаційно-штатної структури РО в якості цільової функції обираємо максимум імовірності забезпечення можливості відновлення основних груп [7] ЗСЗ ТВУЗ за припустимий час

$$P(X) = \max_{X^* \in \Delta} \sum_{i=1}^G W_i(X^*),$$

де  $G$  – кількість груп ЗСЗ ТВУЗ;

$W_i$  – імовірність створення робочих місць для відновлення ЗСЗ групи  $i$ ;

$\Delta$  – припустимі межі зміни аргументів функції;

$X^*$  – їх значення при досягненні максимуму  $P(X)$ .

При цьому існують обмеження на середній час відновлення  $T_b \leq T_{вп}$ , яке задається в керівних документах [8], та кількість групи ЗСЗ  $G \leq 15$  [7].

До аргументів функції відносяться [6]:

важливість ЗСЗ групи  $i$  в системі спеціального зв'язку;

надійність ЗСЗ групи  $i$ , яку оцінюють значенням її коефіцієнту готовності;

кількість ЗСЗ групи  $i$  на ТВУЗ.

При цьому важливість і кількість ЗСЗ групи  $i$  відносяться до некерованих змінних, а надійність – до керованих за рахунок збільшення наробітку ЗСЗ на відмову ( $T$ ) якісним виконанням їх технічного обслуговування екіпажами і скорочення середнього часу відновлення ( $T_b$ ) використанням сучасних досягнень в галузі технічної діагностики та метрологічного забезпечення. В такому разі комплексний показник надійності коефіцієнт готовності дорівнює

$$A_i = T_i / (T_i + T_{bi})$$

для ЗСЗ групи  $i$ .

Показник ефективності від використання запропонованої методики кількісно дорівнює відносному збільшенню ймовірності можливості відновлення всіх груп ЗСЗ ТВУЗ

$$\eta = \left( \frac{\sum_{i=1}^{G_H} W_i(X^*)}{\sum_{i=1}^{G_C} W_i(X) - 1} \right) \cdot 100\%,$$

де  $G_H$  – кількість робочих місць РО відповідно до запропонованої методики;  $G_C$  – кількість існуючих робочих місць РО ТВУЗ.

Методика призначена для обґрунтування складу матеріально-технічної бази РО щодо поточного

ремонту та відновлення ЗСЗ ТВУЗ з аварійними та бойовими пошкодженнями в стаціонарних (ПТОР) та польових (АТЗ) умовах мирного та військового часу.

Сутність методики полягає у розрахунку мінімально необхідної кількості робочих місць РО на мирний та військовий час для комплектування ПТОР і АТЗ (спеціалізованих або модульного типу) на основі використання нового методу обґрунтування черговості їх розробки та математичного моделювання завантаження фахівців.

Структура методики приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура методики обґрунтування складу ремонтного органу засобів спеціального зв'язку

Вихідні дані отримують із організаційно-штатної структури ТВУЗ на мирний та військовий час, експертного опитування фахівців, статистичних даних про надійність ЗСЗ відділу технічного забезпечення ТВУЗ або керівних документів з ремонтно-придатності [8] та надійності.

Обмеження і припущення на використання методики відповідають реальним умовам відновлення ЗСЗ в РО ТВУЗ.

Математичний апарат методики заснований на використанні методів теорії ймовірностей [9], теорії нечітких множин [10], експертного оцінювання [11].

В першу чергу необхідно створювати і впроваджувати в практику ремонту спеціалізовані робочі місця для найбільш масових, найменш надійних і найбільш важливих для організації зв'язку зразків ЗСЗ.

Для цього необхідно виконати ранжування ЗСЗ ТВУЗ у порядку зменшення значення їхнього комплексного коефіцієнту, що кількісно оцінює ймовірність першочергового вибору розробки спеціалізованих робочих місць [6]

$$0 < W_i = \frac{K_B}{R_{Bi}} + \frac{K_H}{R_{Hi}} + \frac{K_M}{R_{Mi}} \leq 1,$$

де  $K_B, K_H, K_M$  – коефіцієнти важливості, надійності і масовості, ЗСЗ, відповідно;

$R_{Bi}, R_{Hi}, R_{Mi}$  – ранг ЗСЗ типу і з важливості, надійності і масовості, відповідно.

Методом послідовної ітеративної процедури з наступною обробкою отриманих результатів експертного опитування провідних фахівців отримано значення коефіцієнтів [6]:

$$W_i = \frac{0,5}{R_{Bi}} + \frac{0,3}{R_{Hi}} + \frac{0,2}{R_{Mi}} \leq 1.$$

Ранжування груп ЗСЗ в кожному конкретному випадку за результатами аналізу вимог щодо їхньої надійності і організаційно-штатної структури ТВУЗ дає об'єктивну оцінку необхідності створення спеціалізованих робочих місць. В результаті моделювання роботи РО в мирний та військовий час отримано аналітичні вирази для кількісної оцінки загального навантаження фахівців за рік для кожної групи ЗСЗ [12], що дозволяє обґрунтувати необхідну кількість спеціалізованих робочих місць.

Для мирного часу в РО для технічного обслуговування і поточного ремонту ЗСЗ групи і необхідно  $\mu_i$  фахівців [12]

$$\mu_i = z_i / 900,$$

де  $z_i$  – загальне навантаження РО за рік по обслуговуванню та ремонту ЗСЗ групи і

$$z_i = 2,5 \left[ \frac{0,9(t_i k_i + t_{yi})}{P_i T_i} \sum_{j=1}^{N_i} t_j + N_{ci} T_{ni} \right],$$

де  $t_i$  – середній час виконання перевірки при діагностуванні ЗСЗ групи і;

$k_i$  – середня кількість перевірок при діагностуванні ЗСЗ групи і;

$t_{yi}$  – середній час усунення несправності ЗСЗ групи і;

$P_i$  – імовірність правильної постановки діагнозу при ремонті ЗСЗ групи і;

$T_i$  – наробіток на відмову ЗСЗ групи і;

$N_i$  – кількість ЗСЗ групи і;

$t_j$  – кількість годин роботи ЗСЗ за рік експлуатації;

$N_{ci}$  – сумарна кількість ЗСЗ групи і ТВУЗ з врахуванням довготривалого зберігання;

$T_{ni}$  – час перевірки параметрів ЗСЗ групи і при їх технічному обслуговуванні.

Залежно від особливостей ЗСЗ і способу їх відновлення визначається кількість робочих місць  $M_i$ . Для АТЗ або ПТОР вона дорівнює кількості фахівців. Під час групового пошуку дефектів АТЗ можливо врахувати як одне робоче місце.

Значення  $t_i$ ,  $t_{yi}$  отримують зі статичних даних про роботу РО;  $N_i$ ,  $N_{ci}$  – з організаційно штатної структури ТВУЗ;  $T_{ni}$  – з інструкції з технічного обслуговування ЗСЗ групи і.

Залежно від діагностичного забезпечення та способу взаємодії фахівців під час діагностування кількісно оцінюють значення інших аргументів функції  $z_i$ .

При реалізації сумісного групового пошуку дефектів фахівцями АТЗ отримуємо [14]:

$$K_i = \log_{\mu+1} L_i; \quad P_i = p^{K_i};$$

а при зонному груповому пошуку дефектів, відповідно

$$K_i = \log_2 \frac{L_i}{\mu}; \quad P_i = p^{1+K_i};$$

де  $L_i$  – загальна кількість елементів в ЗСЗ групи і;

$p$  – імовірність правильної оцінки результатів виконання перевірки під час діагностування.

Під час ведення бойових дій для розрахунку необхідної кількості спеціалізованих робочих місць по відновленню ЗСЗ зі слабким ступенем пошкодження враховують кількість діб операції ( $\tau$ ), прогнозовану кількість пошкоджених ЗСЗ за цей час ( $U$ ), час повної дефектації ЗСЗ в РО, час діагностування ЗСЗ з кратними дефектами, час поточного ремонту ЗСЗ, їх технічного обслуговування без врахування тих, що були на довготривалому зберіганні. Необхідні розрахункові вирази приведено в [12, 13].

Укрупнена схема алгоритму реалізації методики наведено на рис. 2.

Якщо розрахункова кількість фахівців з ремонту групи ЗСЗ менше одиниці, то нема сенсу створювати окремі робочі місця. В такому разі доцільно об'єднувати ці ЗСЗ і відновлювати окремо на універсальному робочому місці або АТЗ, де мати можливість ремонту підсистем електроживлення, відмови яких в ЗСЗ складають до 30% від загального числа, генераторного і підсилювального обладнання, а також підсистем управління функціонуванням.

Під час експертного опитування фахівців ТВУЗ встановлено, що для мирного часу в першу чергу необхідно відновлювати засоби технічного захисту інформації, радіорелейного та тропосферного зв'язку, систем передачі з часовим та частотним розподілом каналів, кабелів дальнього зв'язку. В другу чергу радіо і космічний зв'язок, які є резервним видами зв'язку, а потім радіостанції малої потужності. Наприклад, на ТВУЗ є  $N_i = 192$  радіостанції малої потужності з середнім часом використання за рік  $t_i = 1498$  годин. В такому разі з використанням даних [8, 12, 13] отримуємо завантаження робочих місць за рік

$$z_i = 2,5 \left[ \frac{0,9 \cdot 1 \cdot 1498 \cdot 192}{0,95 \cdot 1000} + 192 \cdot 0,5 \right] = 920 \text{ год.}$$

Тобто, при розрахунковому навантаженні на фахівця 900 годин на рік в РО ТВУЗ достатньо мати одне робоче місце по ремонту радіостанції малої потужності. Ефект від впровадження методики міститься в рівномірному завантаженні всіх фахівців і робочих місць РО, що дозволяє повністю використовувати за призначенням технологічне обладнання і засоби вимірювань, а також мати раціональний склад РО відповідно до завдань ТВУЗ, що збільшує відносну імовірність можливості відновлення всіх груп ЗСЗ ТВУЗ.

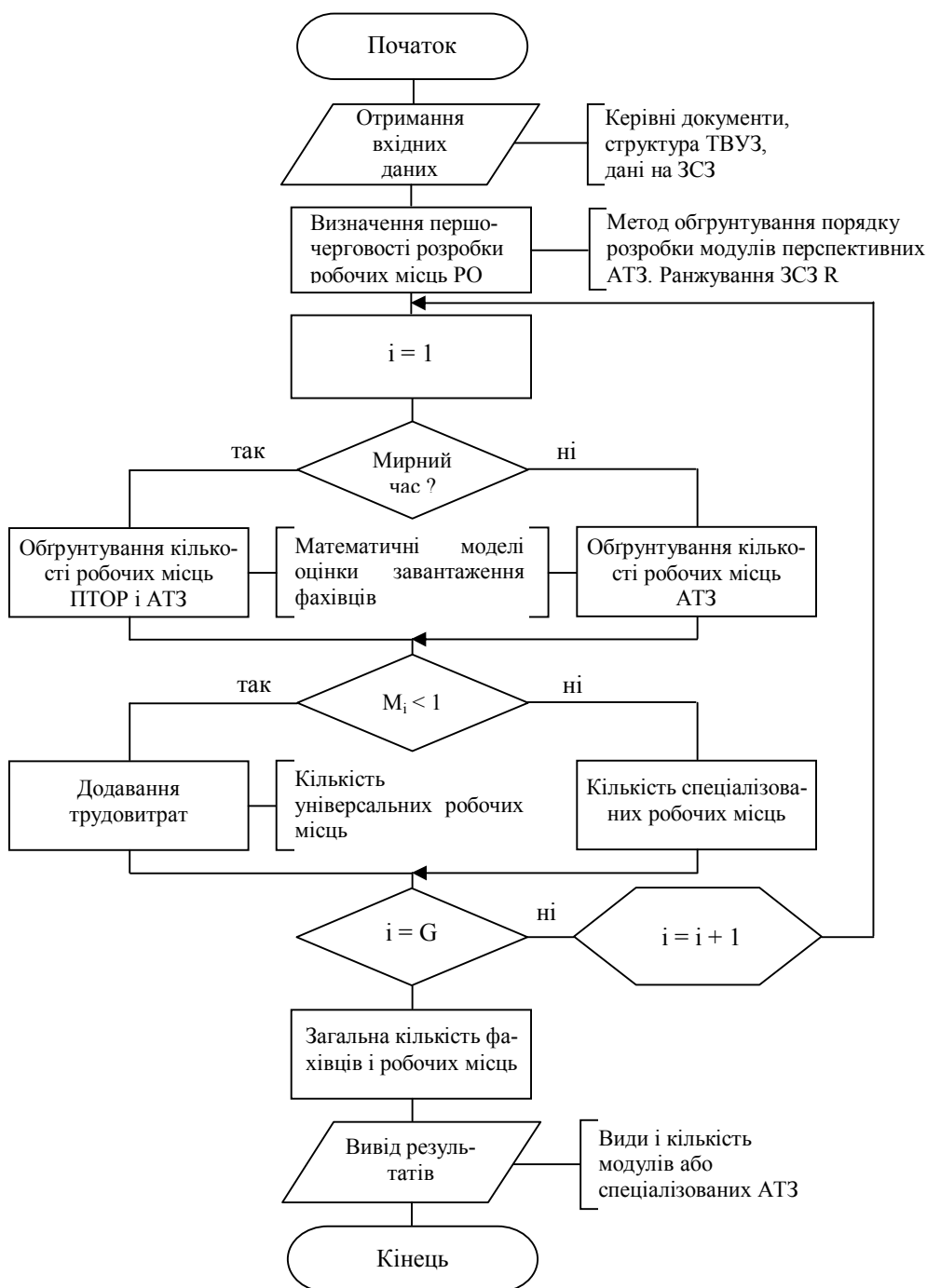


Рис. 2. Блок-схема алгоритму реалізації методики

Наукова новизна методики міститься в:

урахуванні особливостей відновлення засобів спеціального зв'язку групою фахівців (сумісний або зонний пошук дефектів);

використанні засобів вимірювальної техніки мінімально необхідної вартості для забезпечення регламентованого часу відновлення засобів спеціального зв'язку;

використанні нового методу обґрунтування порядку розробки модулів перспективних АТЗ або спеціалізованих робочих місць РО, який враховує важливість ЗСЗ системи зв'язку, їх надійність та кількість у складі ТВУЗ;

використанні удосконалених математичних моделей оцінки завантаження фахівців РО, які відрізняються від відомих врахуванням особливостей діагностичного та метрологічного забезпечення ремонту ЗСЗ;

використанням нового алгоритму реалізації методу, моделей і методики в цілому.

Практична цінність методики полягає в мінімізації вартості технологічного обладнання РО при забезпеченні необхідного часу відновлення засобів спеціального зв'язку агрегатним методом в стаціонарних та польових умовах мирного та військового часу, а також в обґрунтуванні організаційно-штатної

структури РО, яка відповідає призначенню та завданням ТВУЗ.

## Висновки

За рахунок комплексного використання сучасних досягнень в галузі технічної експлуатації, діагностичного і метрологічного забезпечення засобів спеціального зв'язку з урахуванням особливостей їх технічного обслуговування і ремонту на ТВУЗ формалізовано порядок обґрунтування мінімального необхідного складу РО для рішення всього комплексу завдань як у мирний, так і у військовий час.

Отримані результати доцільно використовувати при розробці технічного завдання на створення спеціалізованих модулів перспективних АТЗ або при комплектуванні РО територіальних вузлів урядового зв'язку існуючими спеціалізованими та універсальними АТЗ.

Методику можливо використовувати для дослідження ефективності існуючих РО територіальних вузлів урядового зв'язку і обґрунтування пропозиції щодо їх модернізації.

## Список літератури

1. Сакович Л.Н. Алгоритмізація і формалізація процесу дефектації обладнання систем захисту інформації с аварійними пошкодженнями / Л.Н. Сакович, В.П. Павлов // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – Вип. № 9. – С. 168–180.
2. Сакович Л.М. Синтез алгоритму дефектації техніки зв'язку з аварійними пошкодженнями / Л.М. Сакович, В.П. Павлов // *Зв'язок*. – 2007. – № 6. – С. 54–55.
3. Романенко В.П. Методика розробки діагностичного забезпечення групового пошуку дефектів при ремонті техніки зв'язку в польових умовах / В.П. Романенко, Л.М. Сакович // *Зв'язок*. – 2015. – № 2. – С. 53–56.
4. Сакович Л.М. Методика розробки діагностичного забезпечення поточного ремонту техніки зв'язку з ком-

плексним використанням її надлишковості / Л.М. Сакович, Ю.С. Василюк // *Зв'язок*. – 2016. – № 2. – С. 48–55.

5. Сакович Л.Н. Формирование требований к средствам измерений диагностических параметров аппаратов связи при техническом обслуживании и текущем ремонте / Л.Н. Сакович, П.Л. Аркушенко, А.В. Ходыч // *36. наук. праць ХНУПС*. – Харків: Харківський національний університет Повітряних сил, 2002, № 1(50). – С. 108–111.

6. Сакович Л.М. Метод обґрунтування складу технологічного обладнання польових ремонтних органів зв'язку / Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2016, № 4(40). – С. 163–167.

7. Керівництво з технічного забезпечення зв'язку та АУВ Збройних Сил України (КТЗЗ та АУВ ЗС України) / О.М. Іващенко, Ю.І. Катков, В.А. Рижаків та інші. – К.: Воєнне видавництво, 2003. – 322 с.

8. Требования к ремонтпригодности вновь разрабатываемых и модернизируемых средств связи. – М.: Воен-издат, 1982. – 51 с.

9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа., 2002. – 275 с.

10. Герасимов Б.М. Проектирование, управление и обработка информации на базе нечетких множеств. – К.: Радиоамерикан, 2000. – 180 с.

11. Новосад В.П. Кількісні методи експертного оцінювання / В.П. Новосад, Р.Г. Селіверстов, І.Т. Артım. – К.: НАДУ, 2009. – 360 с.

12. Сакович Л.М. Моделювання роботи апаратної техніки забезпечення / Л.М. Сакович, І. М. Гиренко // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – К.: НУО України ім. Івана Черняхівського, 2017, № 1(28). – С. 47–52.

13. Сакович Л.М. Моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами / Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2017, № 2(42). – С. 193–197.

Надійшла до редколегії 29.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Козловський, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ.

## МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА РЕМОНТНОГО ОРГАНА СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ

А.А. Пучков, И.Н. Гиренко

В статье на основе использования современных достижений в области технической эксплуатации, технической диагностики и метрологического обеспечения радиоэлектронных средств сформулирована целевая функция и показатель эффективности работы ремонтных органов средств специальной связи, а также формализовано в виде методики порядок обоснования количества и специализации рабочих мест, которая использует новый метод обоснования очередности их создания и усовершенствованные математические модели загрузки ремонтного органа в мирное и военное время.

**Ключевые слова:** средства специальной связи, восстановление работоспособности, аппаратные технические обеспечения.

## METHOD OF COMPLETING LOGISTICS MAINTENANCE BODIES OF SPECIAL COMMUNICATIONS MEANS

O.O. Puchkov, I.M. Hyrenko

The article is based on the use of modern advances in the field of technical operation, technical diagnostics and metrological support of electronic means. The objective function and the rate of maintenance bodies of special communications means efficiency are formulated. In addition, formalized technique of determining the number and specialization of jobs, which uses a new method of justification the order of their creation and improved mathematical models of loading the maintenance body in peacetime and wartime are considered.

**Keywords:** special communications means, equipment recovery, hardware technical support.

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, О.В. Шефер

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТАРТУ ПЛАЗМОВОГО ПАЛЬНИКА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО КЕРУВАННЯ ВИХОДОМ У РОБОЧИЙ РЕЖИМ ПРИСТРОЇВ СУПУТНИКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

У статті розглянуто варіанти вирішення проблеми надійності старту плазмових пристроїв, шляхом конструктивних рішень розрядного пальника. Проведено комплекс теоретико-експериментальних робіт по визначенню залежності напруги запалювання і напруги формування розряду у плазмових пальниках від різних факторів. У результаті проведених досліджень запропоновано оптимальне газове наповнення кварцового плазмового пальника для мінімізації напруги запалювання розряду, що дозволить підвищити надійність та якість функціонування пристроїв супутникового радіозв'язку космічних апаратів.

**Ключові слова:** космічний апарат, плазмовий пальник, напруга запалювання, пристрої супутникового радіозв'язку, розрядний пальник, електрод, парціальний тиск.

### Вступ

На сьогодні Україна – одна з найпотужніших держав у галузі космосу та авіації. Маючи величезну спадщину талановитих учених і конструкторів, наша країна внесла значний внесок у розвиток і становлення систем супутникового радіозв'язку із космічними апаратами. Для забезпечення необхідних характеристик у системах зв'язку використовуються прилади радіонавігації, що базуються на застосуванні плазмових пальників. Цілеспрямоване створення в плазмі збурень і дослідження динаміки їх релаксації дозволяють визначити локальні характеристики плазми, котрі необхідні для забезпечення надійності старту плазмового пальника, що з метою керування виходом у робочий режим пристроїв супутникового радіозв'язку із КА.

**Метою роботи** є проведення досліджень для оптимізації газового наповнення кварцового плазмового пальника, шляхом мінімізації напруги запалювання розряду.

### Основна частина

Розглянемо варіанти підвищення надійності старту (запалювання) розряду у плазмових пальниках із метою подальшого керування виходом у робочий режим і досягнення експлуатаційних характеристик приладів на їх основі в системах космічного радіозв'язку.

Далі розглядаються варіанти вирішення проблеми запалювання плазмових пристроїв шляхом конструктивних рішень розрядного пальника.

Завдяки комплексу теоретико-експериментальних робіт по визначенню залежності напруги запалювання і напруги формування розряду у плазмових пальниках від різних факторів (геометричні розміри пальника, тиск аргону, температура), ми можемо виконувати практичні розрахунки плазмових пальників, задавшись такими параметрами, як  $U_f$  або  $U_3$ .

Маючи попередньо розраховані значення геометричних розмірів пальника, що задовольняють необхідні електричні параметри, тепловий режим та ін., можна виконати уточнений розрахунок геометричних розмірів, але вже з урахуванням необхідного значення напруги формування розряду. Це дозволить виключити похибки розрахунків, коли розрахована конструкція плазмового пальника після виготовлення має високу пускову напругу, що призводить до додаткових коректувань конструкції. За основу приймаємо конструкцію пальника з трьома електродами: двома основними і одним допоміжним.

Для порівняння результатів досліджень та можливості їх застосування для розрахунку залежності напруги запалювання розряду, геометричні розміри пальників приймаються однаковими.

Першим етапом досліджень було проведення комплексу робіт по вибору оптимальної конструкції електрода, з точки зору зниження напруги запалювання розряду ( $U_3$ ). Для цього нами були випробувані конструкції електродів з виступаючим керном, щільний і порожнистий.

Проведені випробування пальників із даними конструкціями електродів показали, що оптимальним електродом є порожнистий електрод. У цих пальниках, порожнистий електрод забезпечує зниження напруги запалювання на 30...50 В. Ефект порожнього електроду розглянуто в [1 – 3], де подано повний аналіз теорії роботи порожнистого електрода в період формування основного розряду і переходу його в дугову форму. Спіраль електрода двошарова, виготовлена з вольфрамового дроту, марки ВТ-70 0,5 мм. Порожнина утворюється втопленням всередину спіралі керном  $d = 0,9$  мм на відстань від торця спіралі на 3 ... 4 мм. Керн виготовлений із вольфраму марки ВТ-15.

В якості емітера застосовується окис ітрію, що наноситься на електрод в ультразвуковій ванні з подальшим відпалом в сухому водні при  $t = 1600$  °С і у вакуумі при  $t = 1750-1780$  С.

Експериментальні дослідження залежностей напруги запалювання плазмового розряду від тиску газу, що наповнює пальник, температури навколишнього середовища проводилися на кварцових пальниках, котрі виготовлялися згідно з вимогами технології виробництва вакуумних приладів, з тією або іншою особливістю конструкції, вплив якої на запалювання розряду повинен досліджуватись.

Для дослідження залежності напруги запалювання розряду від тиску пускового газу (аргону) і температури навколишнього середовища, були виготовлені кварцові пальники довжиною  $L_{\text{п}} = 25; 38; 53; 60; 65; 90$  мм і діаметром  $D_{\text{п}} = 20$  мм [1, 3]. Для кожного розміру виготовлялися по кілька пальників для набору статистичних даних.

Дослідження залежності  $U_z = f(P)$  проводилась наступним чином [4,3]. Відтреновані пальники під вакуумом наповнювалися аргоном у межах зміни тиску 665...2660 Па, потім проводилися виміри значень за вищевказаною методикою, тобто триразове вимірювання одного типорозміру пальника. Отримані дані вимірювань занесені до табл. 1, 2.

Для визначення залежності  $U_z = f(t)$  пальники з (різними діаметрами і довжинами) поміщалися в камеру, в якій регулювалась і контролювалась температура навколишнього середовища за допомогою малоінерційної швидкодіючої термопари. У камері встановлювалась необхідна для дослідження температура і після підключення системи живлення і контрольно-вимірювальної апаратури виконуються вимірювання значень напруги запалювання від температури навколишнього середовища. При цьому:  $D_{\text{п}}$ ,  $L_{\text{п}}$  і  $P$  – величини постійні.

А) Дослідження залежності напруги запалювання розряду від тиску аргону в пальнику.

Метою проведених досліджень є оптимізація газового наповнення кварцового плазмового пальника для зниження напруги запалювання розряду. Як відмічено вище, для випробувань були виготовлені кварцові пальники з довжинами 25, 38, 53, 60, 65, 90 мм і діаметрами 11, 14, 15, 18, 20, 22, 24, 26 і 29 мм по кілька штук кожного розміру. Пальники виготовлялися при суворому дотриманні технологічних вимог, що пред'являються до заготовок і зібраних пальників.

Згідно методики проведення досліджень, ми отримуємо значення напруги запалювання розряду від тиску наповнюючого газу (аргону). За результатами вимірювань будуємо графіки залежності  $U_z = f(P_{\text{АГ}})$  (рис. 1-3). З графіків видно, що значення напруги запалювання залежить від тиску наповнюючого газу, причому мінімум знаходиться в межах 15 ... 25 мм.рт.ст.

Це пояснюється тим, що при малих тисках аргону електрони мають велику довжину вільного пробігу і втрачають кінетичну енергію, необхідну для іонізації; при високих тисках, навпаки, вони мають малу довжину вільного пробігу і не мають достатньої енергії для іонізації. Тому, до розрядного проміжку і в першому і в другому випадку необхід-

но прикладати підвищену різниця потенціалів.

Характер ходу кривих графіків залежності  $U_z = f(P_{\text{АГ}})$  схожий на відомі з фізики криві Пашена [1,4], однак, у нашому випадку є свої фізико-хімічні особливості, що відбуваються в розрядному об'ємі.

Отже, за результатами проведеного експерименту, можливо зробити висновок – оптимальний тиск аргону для надійного запалювання розряду лежить у межах 15...25 мм рт. ст. (20 мм рт. ст. або 2660 Па для даної конструкції пальника).

Б) Дослідження залежності напруги запалювання розряду від температури навколишнього середовища.

Велике значення для плазмових пристроїв має температурний режим, в якому вони будуть експлуатуватися [5]. Якщо при низьких температурах вони запалюються приблизно так само, як і газорозрядні джерела високого тиску, то при підвищених температурах, що має місце поблизу зовнішньої конструкції корпусу КА, процес запалювання, очевидно, матиме свої особливості. Тому доцільно провести експериментальні дослідження залежності напруги запалювання розряду від температури в підвищеній області.

Дослідженню піддавалися кварцові розрядні пальники, виготовлені для всіх видів випробувань. Вимірювання напруги запалювання пальника проводилося згідно з методикою вимірювань в інтервалі 20 ... 70 °С через 10 с. Вимірювання показали, що з підвищенням температури, напруга запалювання розряду зростає. Це явище підтверджує положення про те, що при підвищенні температури парціальний тиск газу в об'ємі пальника збільшується, приводячи тим самим до появи елементів і сполук, що сприяють утворенню негативних іонів, що підвищує  $U_z$ .

Отже, виходячи із результатів проведених досліджень, можливо зробити висновок, що плазмові пальники даної конструкції будуть надійно працювати у температурному діапазоні -30...+40 °С.

Дані вимірювань занесені до табл. 1, 2.

Таблиця 1

Значення напруг запалювання плазмових пальників залежно від тиску аргону при різних значеннях t°C, Dг = 17,5 мм

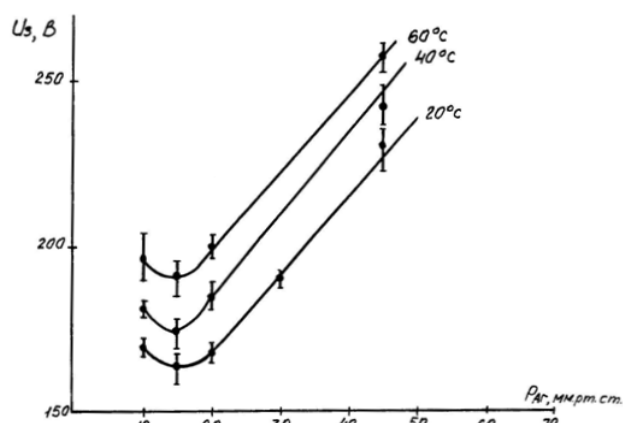
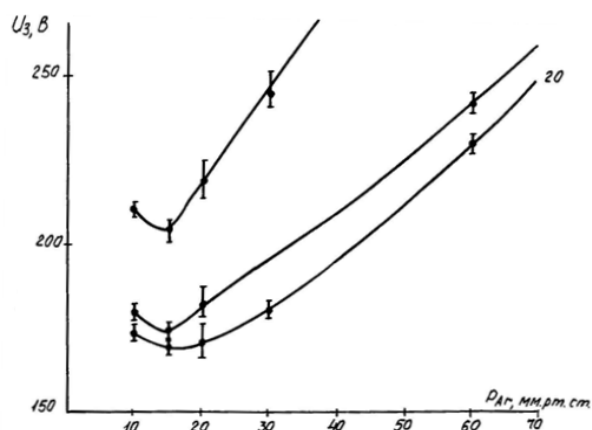
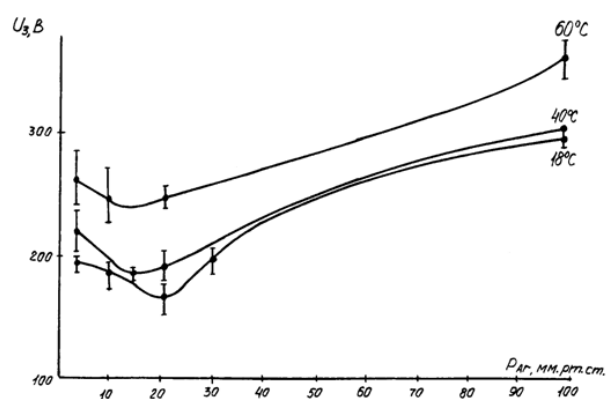
t°C	P, Па									
	665	1330	1995	2660	3325	3990	6650	7980	10640	13300
20	173±5	168±3	163±4	156±5	152±8	146±2	153±2	170±3	184±9	196±8
30	182±2	188±2	174±4	176±2	183±9	180±3	203±12	225±5	228±8	233±2
40	210±2	208±2	209±6	207±2	216±5	234±4	263±12	254±8	283±26	355±7
50	260±8	250±9	248±3	267±5	274±4	291±3	320	-	-	-
60	243±9	256±10	268±9	291±7	321±2	-	-	-	-	-
70	243±9	250±1	268±9	321±10	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2

Значення напруг запалювання пальників залежно від тиску аргону при різних значеннях t°C, Dг = 20 мм

t°C	P, Па									
	665	1330	1995	2660	3325	3990	6650	7980	10640	13300
20	169±8	162±8	156±4	151±3	153±2	154±9	267±2	170±6	192±6	199±20
30	168±2	154±2	148±2	146±3	156±4	157±2	175±5	175±4	173±5	175±4
40	168±5	163±4	166±4	166±2	163±3	157±2	165±2	175±2	186±9	214±3
50	181±5	179±4	196±4	203±9	194±2	196±4	197±12	200±8	243±5	249±28
60	205±4	193±4	188±9	191±2	201±2	195±11	202±9	217±12	227±2	245±4
70	196±4	206±4	205±5	210±7	218±3	218±3	266±18	203±3	329±8	-



Рис. 1. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 25$  ммРис. 2. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 38$  ммРис. 3. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 53$  мм

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що з підвищенням температури, напруга запалювання розряду зростає. Це явище підтверджує положення про те, що при підвищенні температури парціальний тиск газу в об'ємі пальника збільшується, приводячи тим самим до появи елементів і сполук, що сприяють утворенню негативних іонів, що підвищує напругу запалювання. Виходячи із результатів проведених досліджень, мож-

ливо зробити висновок, що плазмові пальники конструкції, котра розглядалась, будуть надійно працювати у температурному діапазоні  $-30...+40$  °С.

## Список літератури

1. Атаев А.Е. Зажигание ртутных газоразрядных источников света высокого давления массового применения / А.Е. Атаев // Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук, М., 1985.
2. Электрод металлогалогидной лампы, патент Японии, кл. 93Д03, № 53 – 40833, заявл. 02. 11.73 г., опубл. 30.10.78 г.
3. Электроды для ламп с добавками галогенидов металлов, патент Японии, кл. 93Д03, № 52 -13034, заявл. 20.09.76 г., опубл. 11.04.77 г.
4. Шульга А.В. Управление процессом зажигания металлогалогенных ламп высокого давления / А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, О.И. Данник, Е.В. Котюк // Системы обработки информации. – Х.:ХУПС, 2012. – Вып. 2 (100). – С. 108 – 111.
5. Smirnov B.M. Theory of Gas Discharge / B.M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – P 423.

Надійшла до редколегії 10.04.2017

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

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТАРТА ПЛАЗМЕННОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫХОДОМ В РАБОЧИЙ РЕЖИМ УСТРОЙСТВ СПУТНИКОВОЙ РАДИОСВЯЗИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.В. Шульга, А.В. Шефер

В статье рассмотрены варианты решения проблемы надежности старта плазменных устройств, путем конструктивных решений разрядной горелки. Проведен комплекс теоретико-экспериментальных работ по определению зависимости напряжения зажигания и напряжения формирования разряда в плазменных горелках от различных факторов. В результате проведенных исследований предложено оптимальное газовое наполнение кварцевой плазменной горелки для минимизации напряжения зажигания разряда, что позволит повысить надежность и качество функционирования устройств спутниковой радиосвязи космических аппаратов.

**Ключевые слова:** космический аппарат, плазменная горелка, напряжение зажигания, устройства спутниковой радиосвязи, разрядная горелка, электрод, парциальное давление.

## PLASMA TORCH START RELIABILITY IMPROVING FOR FURTHER OPERATING MODE OUTPUTS CONTROL IN SPACECRAFT SATELLITE RADIO COMMUNICATION DEVICES

O.V. Shulga, O.V. Shefer

In article the options for the problem of start plasma's devices reliability is considered, by the way of discharge burner's constructive solutions. A set of theoretical and experimental studies to determine the dependence on ignition voltage and discharge formation voltage in plasmas' torches on various factors is performed. As a result of this research, an optimal gas filling for the quartz plasma torch is proposed to minimize the discharge ignition voltage that can cause higher reliability and SC's satellite radio communication devices quality of operation.

**Keywords:** spacecraft, plasma's torch, ignition voltage, satellite radio communication devices, discharge burner, electrode, partial pressure/

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артюх Р.В.	60	Кучук Г.А.	64	Савченко Л.М.	46
Ахмед Альзубайді	11	Кучук Н.Г.	143	Саковець О.О.	32
Бороздін М.К.	11	Лимаренко В.В.	20	Свистунов Ю.Д.	106
Борщ В.В.	3	Лисенко Д.Е.	70	Сільвестров А.М.	150
Борщ О.Б.	3	Лисенко І.А.	112	Сімонова О.Г.	46
Боряк Б.Р.	150	Лисенко О.О.	50	Смірнов О.А.	112
Бутенко В.О.	40	Лугина О.Л.	138	Стрюк О.Ю.	40
Бутенко О.С.	129	Лукова-Чуйко Н.В.	106	Таранова К.П.	116
Веклич С.Г.	153	Маковейчук О.М.	133	Тарасюк О.М.	116
Гиренко І.М.	162	Малюк В.Г.	157	Темніков В.О.	119
Глібко О.А.	46	Мерзлікіна Ю.І.	76	Ткаченко К.М.	157
Гонтар М.М.	7	Мінтус А.М.	25	Ткачов В.М.	102
Горбенко А.В.	116	Москалець В.В.	40	Токарев В.В.	102
Денисенко А.М.	56	Нелюба Д.М.	7	Третяк В.Ф.	122
Дорогобід В.П.	11	Нечитайло І.В.	138	Тріщ А.Р.	56
Дружинін Є.А.	50	Обод А.І.	29	Туркін І.Б.	129
Дубницький В.Ю.	35	Одарущенко О.Б.	40	Хавіна І.П.	20
Дядюра К.А.	76	Одарущенко О.М.	40	Харьков М.Ю.	138
Єрмілова Н.В.	14	Паржин Ю.В.	80	Хижняк І.А.	133
Іохов О.М.	157	Пашнева А.А.	122	Худов В.Г.	133
Калов С.І.	14	Пучков О.О.	162	Худов Г.В.	138
Кім Н.І.	56	Радченко В.О.	102	Шефер О.В.	167
Кобилін А.М.	35	Рисований О.М.	20	Шимонець Д.В.	138
Кобилін О.А.	35	Роговий А.І.	60	Шматков С.І.	143
Коломієць Ж.О.	143	Руденко Д.О.	102	Шостак І.В.	50
Косенко В.В.	60	Саатсазов Б.Г.	64	Шульга О.В.	167

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (44)

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. Ільїна*

Свідectво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПП від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 21,25. Тираж 150 прим. Зам. 616-17

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34  
e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)