



СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

5(45) ' 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:
kozelnkova@ukr.net

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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

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

Заступники голови:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Відповідальний секретар:

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

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

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

Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 2 від 29 вересня 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 № 19512-93/2ГП від 16.11.2012 р.

З М І С Т

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Ahmed Ibrahim Jaber Alzubaydy, Dorohobid V.P.</i> Monitoring and controlling of smart overhead travelling crane using PLC and SCADA	3
<i>Боряк Б.Р., Сільвестров А.М.</i> Триконтурний адаптивний експоненціальний фільтр-екстраполятор	6
<i>Глива В.А., Ніколаєв К.Д., Левченко Л.О.</i> Дослідження напруженостей зовнішніх магнітних полів різнорозмірного електротехнічного обладнання	9
<i>Гусьнин А.В., Яровой А.В., Антонова-Рафи Ю.В.</i> Оптимізація управління посадкою дирижабля на основі багатоетапного методу диференціальних преобразований	12
<i>Карлов В.Д., Артеменко А.М., Пічугін І.М., Струцінський О.В.</i> Оптимізація вимірювання дальності до цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем	18
<i>Малахова М.О., Рева С.М., Пермінов А.І., Стервоєдов М.Г.</i> Метод визначення параметрів, діагностики та відлагодження комп'ютеризованої системи управління рентгенівською установкою	22
<i>Нуриєв Р.Ш.</i> Концептуальний проект скоростного подвижного состава на основі перспективних технологій для залізничних доріг України	27
<i>Свид І.В.</i> Проблема завадозахищеності запитальних систем спостереження повітряного простору	35

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Бабенко Ю.В., Шостак І.В.</i> Прецедентно-множественный подход к оцениванию эффективности модификаций самолетов	38
<i>Дубницький В.Ю., Філатова Л.Д., Ходырев А.И.</i> Устойчивость оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества ее интервалов	42
<i>Леві Л.І., Петровський О.М.</i> Фізико-математична модель впливу електромагнітного випромінювання на електричні властивості біологічних тканин	47
<i>Шульга О.В., Нелюба Д.М., Гонтар М.М.</i> Побудова математичної моделі руху сферичного робота з маятниковим приводом	51
<i>Кропачек О.Ю.</i> Исследование диагностических рисков параметрически неопределенной квадратичной дискриминантной функции при диагностике промышленных объектов	56

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Кассем Халифе, Шипова Т.Н.</i> Анализ и исследование моделей и методов разработки системного программного обеспечения	60
<i>Коваленко А.В.</i> Технология тестирования уязвимости к SQL инъекциям	66
<i>Косенко В.В., Артюх Р.В., Белоцький О.О., Персіянова О.Ю.</i> Реалізація принципів методології ризик-адаптивного управління параметрами інфокомунікаційних мереж систем критичної Інфраструктури	72
<i>Kosenko N.V.</i> Model synthesis of complex multifactor assessment of the "quality" of a project team applicant	80
<i>Кучук Н.Г.</i> Метод вибору оптимального плану виконання транзакцій e-learning	83
<i>Нечипоренко А.С.</i> Інформаційна технологія раннього виявлення розладнань в нестаціонарних квазіперіодичних процесах	88
<i>Паржсин Ю.В., Кравченко В.И., Князев В.В., Серков А.А.</i> Автоматизация процесса мониторинга и анализа внешней электромагнитной обстановки на основе использования детекторной искусственной нейронной сети	95
<i>Семенов С.Г., Ліпчанська О.В.</i> Концептуальна модель системи на базі 4G з використанням апарату мереж масового обслуговування	100
<i>Стрельницький О.О.</i> Методи захисту інформації систем спостереження повітряного простору від несанкціонованого використання інформаційних ресурсів	105
<i>Темников В.А.</i> Информационная технология построения систем поддержки принятия оперативных решений в диспетчерских службах аэропортов	108
<i>Удовенко С.Г., Миронова Н.О., Федорончак Т.В., Верещак К.К.</i> Використання шаблонів автоматичного тестування в проєктах з розробки веб-додатків	111
<i>Шостак І.В., Данова М.А., Капитан Р.Б.</i> Инструментальная среда создания мультиагентной экспертной системы поддержки принятия решений на виртуальном производственном предприятии	119
<i>Гатило В.П.</i> Синтез моделі формування іміджу підприємства на ринку праці	124

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ

<i>Зачепа Н.В., Чорний О.П., Зачепа Ю.В., Сукач С.В., Сергієнко С.А.</i> Оцінка ефективності процесу навчання та підвищення рівня безпеки при виконання технологічних операцій	128
<i>Лысенко И.В.</i> О математической подготовке студентов, обучающихся по специальности «Кибербезопасность»	133
<i>Макогон О.А., Гунченко В.О.</i> Дослідження ролі креативності у бойовій підготовці курсантів підрозділів технічного забезпечення ВВНЗ за результатами педагогічного експерименту	137

ЗВ'ЯЗОК

<i>Іохов О.Ю., Малюк В.Г., Ляшенко Г.Т.</i> Модель захисту каналу радіозв'язку підрозділів Національної гвардії України у міських умовах	141
<i>Иценко О.М., Шишацький А.В.</i> Аналіз стану та напрямків розвитку системи зв'язку тактичного рівня управління армії США та РФ	143
<i>Почерняев В.Н., Повхлеб В.С., Зайченко В.В.</i> Экспериментальное исследование устойчивости системы управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией при воздействии различных мешающих сигналов	150
<i>Шефер О.В.</i> Оптиміальні умови утворення низькотемпературної плазми для зменшення щільності стохастичного іонізованого середовища навколо космічного апарата	158
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	162

Питання управління в складних системах

УДК 681.51

Ahmed Ibrahim Jaber Alzubaydy¹, V.P. Dorohobid²

¹ *University of Dayala College of engineering Electrical power and machines, Iraq*

² *Poltava National Technical University named after Kondratyuk, Poltava*

MONITORING AND CONTROLLING OF SMART OVERHEAD TRAVELLING CRANE USING PLC AND SCADA

This paper describes the automatic control of overhead travelling crane based PLC and SCADA are the two new approaches used to control the motion of electric overhead travelling crane. Crane are designed in SCADA software and communication between PLC and Scada is done with the help of Omron simulator. This paper describes the automatic control of overhead travelling crane. An overhead travelling crane, also known as a bridge crane, is a type of crane where the hook-and-line mechanism runs along a horizontal beam that it runs along two widely separated rails. Crane is used to lift and move materials in industries. For efficient operation, used an induction motor with PMDC in industrial applications. The relay logic in crane control is implemented using PLC. In this paper, using sensors that are used to sense the overhead travelling crane motion and supplied by 220 AC and DC 12 V.

Keywords: *PLC based overhead crane, overhead travelling crane automation, Programmable Logic Controller (PLC), sensor, scada.*

Introduction

A crane is the type of machine mainly used for handling heavy loads in different industry branches: metallurgy, paper and cement industry. By the construction, cranes are divided into overhead cranes and gantry cranes. Overhead and gantry cranes are typically used for moving containers, loading trucks or material storage. This crane type usually consists of three separate motions for transporting material. The first motion is the hoist, which raises and lowers the material. The second is the trolley (cross travel), which allows the hoist to be positioned directly above the material for placement. The third is the gantry or bridge motion (long travel), which allows the entire crane to be moved along the working area[1]. Electrical technology for crane control has undergone a significant change during the last few decades. The shift from Ward Leonard system to DC drive technology and the advent of powerful Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) during the 1990s enabled the introduction of the AC drive [2]. The standard crane comprises a welded steel frame, liberally rated crane-type motors, high-carbon steel gears, precision ball bearings, oil-sealed gearboxes, robust electro-mechanism brake, automatic over winding prevention and centralized lubrication. In this paper, Programmable Logic Controller (PLC) is used to control the overhead travelling crane movements. This paper mainly presents the programming and operation of an Overhead Travelling Crane in Automobile Production Factory. It can pick up the container which included an automobile to a desired place. PLC can control operation sequence of a large system surveying special module such as link, analog and position control. The controlled

program is developed by using ladder diagram and necessary mnemonics codes are also provided [3].

Main part

This paper presents the loading zone and unloading zone. Three-motors namely Main hoist, long travel And Cross travel are used for accomplishing movements of electric overhead travelling cranes in desired directions.. PLC are used for controlling the three motors using programs. Drives are used to control the speed of motors proportional to the weights. SCADA techniques simulator, PLC and other control systems of the crane. A programmable logic controller is a solid state control system that continuously monitors the status of devices connected as inputs. Based upon a user written and designed SCADA simulator program, stored in memory, it controls the status of devices connected. The term logic is use primarily concerned with implementing logic and switching operations. Input devices e.g. switches, and output devices e.g. motors, being controlled are connected to the PLC and then the controller monitors the inputs and outputs according to this program stored in the PLC by the operator and so controls the machine or process. The PLC can be implemented using two logics, namely ladder logic and fuzzy logic. The fuzzy logic implementation requires high expertise here ladder logic is implemented. The PLC has 16 ports inputs, and which 8 ports in output.

1. Operation of overhead travelling crane using programmable logic controller (PLC)

The girder of a crane moves in the travelling axis, the trolley moves in the traversing axis and the object transferred by the crane goes up and down. Their

movements are described with positions and velocities in the X-Y-Z coordinates, as shown in fig. 1.

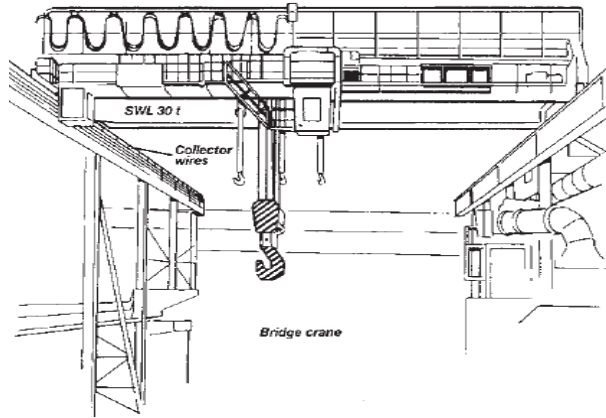


Fig. 1. Overhead travelling Crane structure

The travelling axis is described with X axis, the traversing axis with Y axis and movement of the object in up and down direction with Z axis. Firstly, the hook is in the up-condition. When switch or input is ON, the hook moves down by running motor No.3. Sensor No.1 is the down-condition sensor. When it signals, motor No.3 stops and then Timer No.1 operates.

We use the model of DELTA PLC with 16 ports input and 12 port output. Using ladder diagram of WPL software because cheap, free instillation, and very easy to changing of control.

List of symbol meaning from ladder diagram:

- X0 – System stop; X1 – System start; X2 – Sensor No.1; X3 – Sensor No.2 (3' above the ground & Motor No.1 operates in forward direction); X4 – Sensor No.3 (end of X direction & start of Y direction); X5 – Sensor No.4 (end of Y direction & start of – Z direction); X6 – Sensor No.5 (Load reaches at the ground); X7 – Sensor No.6 (The hook reaches to the original position & Motor No.2 operates in reverse direction); X10 – Sensor No.7 (end of Y direction & Motor No.1 operates in reverse direction); X11– Sensor No.8 (Motor No.1 stops & the hook reaches to the original position).
- Y0 – Master Control Relay; Y1 – Motor No.3 (forward direction); Y2 – Motor No.3 (reverse direction); Y3 – Motor No.3 for Z direction; T0 – Timing Solenoid No.1; Y4 – Motor No.1 (forward direction); Y5 – Motor No.1 (reverse direction); Y6 – Motor No.1 for X direction; Y7 – Motor No.2 (forward direction); Y10 – Motor No.2 (reverse direction); Y11 – Motor No.2 for Y direction; T1 – Timing Solenoid No.2.

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. The most important conclusions in this paper are:

1. This type of motors have Efficiency higher than Electromagnetic D.C motors.
2. The damping coefficient (B_m) have negative effect on characteristics of motor especially at no-load steady state. The equivalent circuit for PMDC shown in fig. 2.

3. Easy control by using armature resistance method and voltage supply methods.

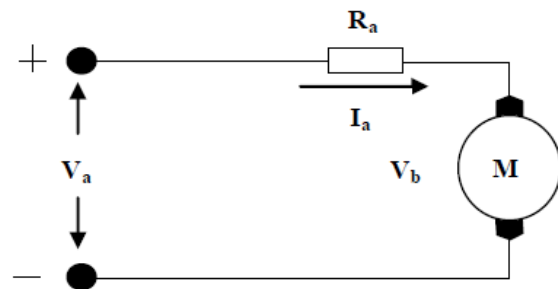


Fig. 2. Equivalent circuit for PMDC

3. Mathematical model of PMDC

In ideal case the mechanical power equal to electrical power shown the equations below:

$$T_m \cdot \omega_m = V_b \cdot I_a ; T_m = 9.55 \cdot P_0 / N ;$$

$T_m \cdot \omega_m = T_L \cdot \omega_L ; V_a = E_b - I_a R_a ; W = 2\pi N / 60$, where T_m – mechanical torque, ω_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.

Weight of cabin=2 kg · 9.8 = 20N ; $R_a = 0.8\text{ohm}$;

$$I_a = 4A ; V_a = 12V , E_a = 8.8V ; F = 0.2m / s ; P_i = 36\text{watt} ; P_0 = 36\text{watt} ; \text{eff} = 70\% ;$$

$$K_t = K_v = 0.07 ; T_m = 9.55 \cdot 36 / 1200 = 0.28N \cdot m ;$$

$$\omega_m = \omega_L = 1 : 20 \text{ where } T_L = 5.6 N \cdot m ;$$

$$N_m = 1200\text{r.p.m.} , N_L = 43\text{raq / sec} ; \omega_L = 6.28 .$$

4. Results and discussions

User interface is designed in CX-supervisor Software with the help of CX-One package, which makes the task easier. It has been cleared from SCADA picture that starting as well as running performance of electric overhead travelling crane is improved and variable frequency drive simulation shows in fig. 3 better performance when compared with contactor logic and these will help us in reducing electrical failures and helps us in improving the performance of electric overhead travelling crane.

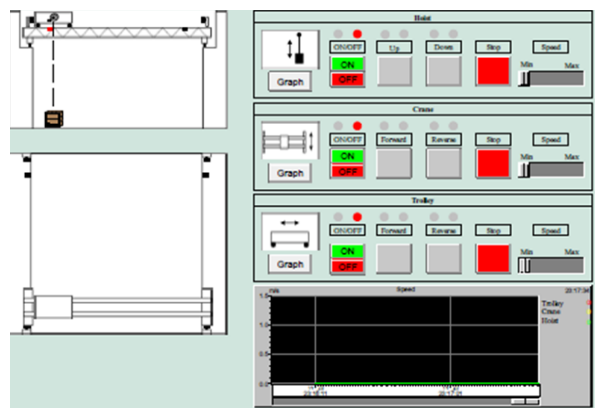


Fig. 3. HMI of simulation and contactor logic simulation

Conclusion

A robust crane control system is designed by using PLC and SCADA, by scada we controlled simulation program by CX-Supervisor and operated using manual and computerizing control (simulation and experimental as shown in fig. 4.



a



b

Fig. 4. A, B Experimental works

The speed control is achieved using gearbox module (the ratio of gearbox 1/20). In this paper, Programmable Logic Controller (PLC) in industrial work shop PLC Delta Company, magnet sensor, pushbutton, limit switch, light, DC and AC supply (220/12) V, cable software, resistance of control speed by armature method, electric magnet 220 V and hoist-load to designed and implemented over head crane testing this

model, the operation of motor in the travelling axis, the trolley moves in the traversing axis and the object transferred by the crane goes up and down. Their movements are described with positions and velocities in the X-Y-Z coordinates, when the motor crane ON, see the all motors off (trolley and hoist), when the hoist motor on, the operation this motor work by nine location in PLC control to hoisted load from the zero point to 0.9 point and reverse direction and well see the crane motor and trolley motor off, when the trolley motor on, we see the hoist and crane motor off as shown in the website <https://www.youtube.com/watch?v=Dsb0uFwnu4A>.

References

1. Nebojsa Mitrovic, Milutin Petronijevic, Vojkan Kostic and Borislav Jefrenic (2012). *Electrical Drives for Crane Application, Mechanical Engineering*, Dr. Murat Gokcek (Ed.), ISBN: 978-953-51-0505-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/mechanical-engineering/electrical-drives-for-crane-application> Backstrand, J.E. (1992). *The Application of Adjustable Frequency Drives to Electric Overhead Cranes*, Industry Applications Society Annual Meeting, 1992, Conf. Rec.1992 IEEE 4-9 Oct. 1992, vol.2, pp.1986 – 1991.
2. Maung Thaw Zin Myo, *Design and Construction of Overhead Travelling Crane(Design Calculation For Gear Box and I-Section Beams)* // Yangon Technological University, March 2004.
3. Ma Thida Khaing, *Design and Operation of A PLC Controlled Filler And Crowner* // Mandalay Technological University, November 2005.
4. Prof. Dr. –Ing. Dr. h. c. P. Gohner, *Experimental No.4, PLC-Programmable Logic Controllers, Laboratory Course, Industrial Automation* // University Stuttgart.
5. ABB. *Crane Master* // Industrial Systems AB, Crane & Harbour Systems, Sweden, 1996.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

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

МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ МОСТОВЫМ КРАНОМ НА БАЗЕ ПЛК И СКАДА

Ахмед Ибрахим Джабер Альзубайди, В.П. Дорогобид

Описывается автоматическое управление мостовым краном на базе ПЛК и СКАДА. Кран разработан в программном обеспечении SCADA, связь между ПЛК и SCADA осуществляется с помощью симулятора Omron. В представленной статье описывается автоматическое управление мостовым краном. Подвесной мостовой кран представляет собой тип крана, в котором механизм крюка и кабеля проходит вдоль горизонтальной балки. Кран используется для подъема и перемещения материалов в промышленности. Для эффективной работы используется асинхронный двигатель с РМДС в промышленных применениях. Логика реле в управлении краном реализована с использованием ПЛК. В этой работе используются датчики для определения движения мостового крана и питания 220 В (переменного тока), 12 В (постоянного тока).

Ключевые слова: мостовой кран на базе ПЛК, автоматизация мостового крана, программированный логический контроллер (ПЛК), датчики, скада.

МОНИТОРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИМ МОСТОВИМ КРАНОМ НА БАЗІ ПЛК ТА СКАДА

Ахмед Ібрахим Джабер Альзубайді, В.П. Дорогобід

Описується автоматичне керування мостовим краном на базі ПЛК та СКАДА. Кран розроблений в програмному забезпеченні СКАДА, зв'язок між ПЛК та СКАДА здійснюється за допомогою симулятора Omron. У представленій статті описується автоматичне керування мостовим краном. Підвісний мостовий кран являє собою тип крану, в якому механізм гака і кабелю проходить уздовж горизонтальної балки, що проходить уздовж двох широко розділених рейок. Кран використовується для підйому і переміщення матеріалів в промисловості. Для ефективно роботи використовується асинхронний двигун з РМДС в промислових цілях. Логіка реле в управлінні краном реалізована з використанням ПЛК. У цій роботі використовуються датчики для визначення руху мостового крана і живлення 220 В (змінного струму), 12 В (постійного струму).

Ключові слова: мостовий кран на базі ПЛК, автоматизація мостового крана, програмований логічний контролер (ПЛК), датчики, скада.

УДК 519.218.82

Б.Р. Боряк, А.М. Сільвестров

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ТРИКОНТУРНИЙ АДАПТИВНИЙ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИЙ ФІЛЬТР-ЕКСТРАПОЛЯТОР

У дослідженні було розглянуто метод, що дозволяє зробити висновок про якість фільтрації сигналу за допомогою порівняння інформації, отриманої із трьох контурів фільтрації, що функціонують за однаковим принципом, але із різними параметрами. У основі кожного контуру лежить комбінація фільтруючих одиниць, принцип роботи яких базується на основі подвійного експоненціального згладжування Брауна. Даний метод може бути використаний для оцінки процесу, що відслідковується, фільтрації сигналів систем керування, а також систем вимірювання.

Ключові слова: подвійне експоненціальне згладжування, шум, прогноз, корисний сигнал, ноніусний принцип підключення, коефіцієнт згладжування.

Вступ

Цифрові фільтри, на сьогоднішній день, досить широко застосовуються у сферах, де необхідно провести обробку сигналу, наприклад у системах вимірювань, наведенні, навігації та керуванні.

У даному випадку ми розглядаємо процес фільтрації як процес згладжування та прогнозування часового ряду. Часові ряди можуть бути використані як метод опису процесу в статистиці, обробці сигналів, розпізнаванні образів, фінансовій математиці, розумному транспорті та передбаченні траєкторій, автоматичному керуванні, астрономії, технологіях зв'язку, а також значною мірою в будь-якій області прикладної науки та інженерії, яка включає часові вимірювання. Певною особливістю прогнозування часових рядів те, що аналіз відбувається лише із використанням вимірних даних, без опису роботи об'єкта або впливу зовнішніх сил.

Робота більшості фільтрів, як і якість фільтрації, зазвичай, тісно пов'язані із амплітудою шумів. Цей факт обумовлює необхідність наявності адаптації параметрів фільтра до зміни амплітуди шумів.

Постановка проблеми

Принцип роботи триконтурного адаптивного експоненціального фільтра екстраполятора базується на подвійному експоненціальному згладжуванні Брауна:

$$S_t' = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}' ; \quad (1)$$

$$S_t'' = \alpha \cdot S_t' + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}'' , \quad (2)$$

де $0 < \alpha < 1$ – коефіцієнт фільтрації (згладжування) алгоритму згладжування і прогнозування;

S_t' і S_t'' – значення згладженого сигналу після першого і другого згладжування відповідно у момент часу t .

S_{t-1}' і S_{t-1}'' – значення згладженого сигналу після першого і другого згладжування відповідно у момент часу $t-1$.

y_t – поточне значення сигналу, отримане із вимірювального пристрою у момент часу t .

Вищевказані рівняння описують роботу фільтруючих одиниць, що в свою чергу об'єднуються по принципу ноніусного (уточнюючого) підключення, що дозволяє частково компенсувати недоліки експоненціального згладжування. Детально принцип підключення і алгоритм обробки інформації описаний у роботі [1].

Окрім того були проведені дослідження по створенню двоконтурного адаптивного алгоритму обробки інформації [2]. Після аналізу його роботи було визначено недоліки, для опису яких необхідно визначити послідовність механізму адаптації фільтра. Перейдемо від представлення подвійного експоненціального згладжування Брауна із неперервного у дискретний вигляд.

Першим етапом процесу адаптації двоконтурного фільтра є згладжування сигналу і отримання прогнозованого згладженого сигналу $\hat{x}(k+m)$ після обробки вхідного сигналу, що поступає на два контури MSoDES (modified structure of double exponential smoothing) із різними коефіцієнтами згладжування. Визначення похибки прогнозу відбувається шляхом віднімання відфільтрованого прогнозованого затриманого на m кроків сигналу від вхідного сигналу.

Отримані похибки прогнозу $\varepsilon_1(k)$ та $\varepsilon_2(k)$ будуть спотворені шумом і, за рахунок цього, їх порівняння не дає об'єктивно оцінити, який із контурів показує вищу якість фільтрації.

Інформацію, що визначає рівень похибки прогнозу можна виділити шляхом віднімання $|\varepsilon_1(k)|$ від

$|\varepsilon_2(k)|$, таким чином прибираючи вплив шумів. Накопичення даної інформації протягом t значень, і знаходження її суми дасть об'єктивну оцінку про те, який із контурів фільтрації показує кращу якість. Порівнюючи суми різниць модулів похибок прогнозу за поточні t кроків і попередні t кроків можна зробити наступний висновок.

Припустимо, що при знаходженні різниці, віднімається значення модуля похибки прогнозу контуру із меншим значенням коефіцієнта згладжування від контуру із більшим значенням α . Якщо сума значень різниць модулів похибок прогнозу за поточні t кроків буде більшою, ніж за попередні t кроків, то це значить, що контур із меншим значенням показує вищу якість фільтрації та прогнозу, отже α зменшується, і навпаки.

Значення прогнозованого згладженого сигналу протягом процесу фільтрації знімається із одного контуру. Це створює один із вагомих недоліків, так як зміна α торкається двох контурів одночасно.

Щоб визначити недоліки двоконтурного фільтруючого алгоритму, було проведено ряд випробувань у середовищі моделювання Matlab, сам алгоритм був реалізований у вигляді програми на мові програмування Matlab.

У даному випадку різниця між коефіцієнтами згладжування складає $\alpha_1 = 0.5 \cdot \alpha$. Ця зміна призводить до перерозподіл вагових коефіцієнтів рівнянь (1) і (2).

Відповідно до цього має місце втрата корисної інформації, як це показано на рис. 1.

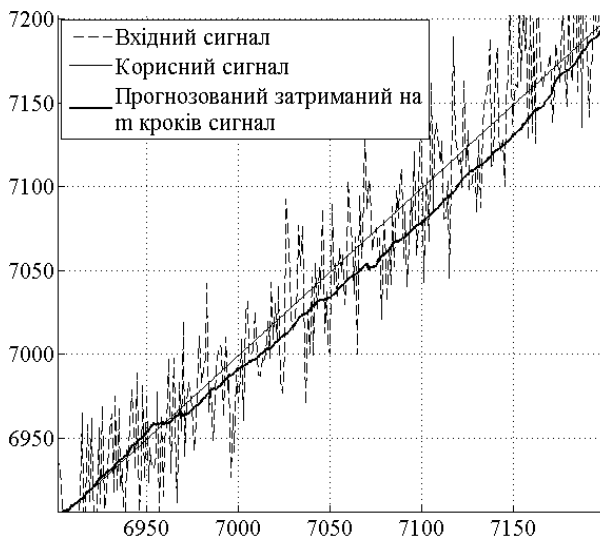


Рис. 1. Вхідний, корисний і прогнозований затриманий на m кроків сигнал під час адаптації α

Даний ефект має місце бути у випадку, коли кількість вимірів, що використовується для оцінки якості роботи контурів фільтрації невелика, а також, коли α має тенденцію до зменшення, протягом певного періоду адаптації, як це показано на рис. 2.

Якщо рівень шумів у системі не змінюється протягом певного часу, то коефіцієнт згладжування набуває значення близького до оптимального і коливається навколо цього значення.

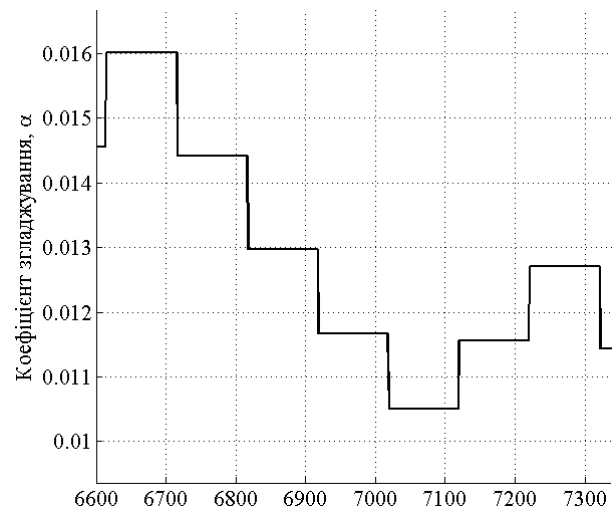


Рис. 2. Адаптація коефіцієнта згладжування α

Найвищу якість прогнозу та згладжування даний алгоритм показує у випадку постійного коефіцієнта згладжування, а при його перманентному коливанні має місце не значена втрата інформації. Це також пояснюється зміною вагових коефіцієнтів рівнянь (1) і (2).

Адаптація та виведення інформація у моделі з трьома контурами фільтрації

Процес адаптації коефіцієнта згладжування у моделі з трьома контурами фільтрації майже не відрізняється від моделі із двома контурами фільтрації. Головна відмінність у роботі триконтурного фільтра – це наявність контуру виведення інформації.

Структурна схема даного алгоритму зображена на рис. 3. Як і у алгоритмі обробки інформації із двома контурами, на вхід системи надходить сигнал із шумами. Три контури із різними коефіцієнтами згладжування обробляють інформацію і на виході ми отримуємо прогнозоване згладжене значення сигналу.

Коефіцієнти згладжування у контурах рівні

$$\alpha_1 = \alpha, \alpha_2 = \alpha + \Delta\alpha, \alpha_3 = \alpha - \Delta\alpha.$$

Як і у двоконтурного фільтра у безпосередньому процесі оцінювання якості прогнозування і згладжування використовується два контури. Після оцінювання і визначення того, який із контурів показує кращу якість прогнозу цей контур, умовно кажучи, приймає роль середнього контуру, і його коефіцієнт згладжування продовжує працювати із тим же значенням, що і раніше. Два інших контури приймають значення α_2 і α_3 .

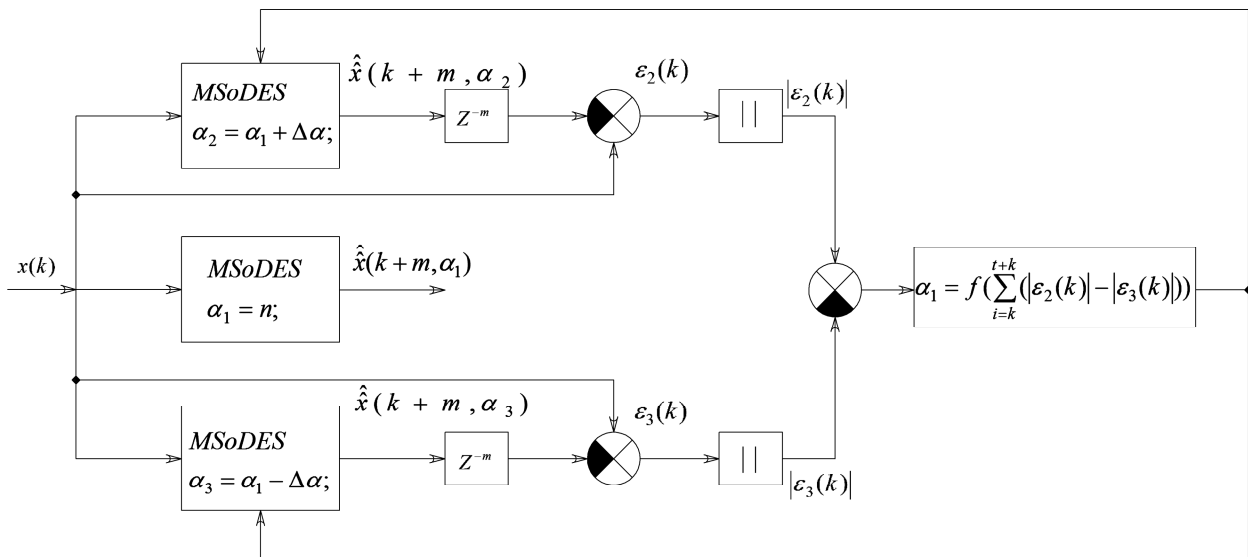


Рис. 3. Структурна схема адаптації трьохконтурного фільтра-екстраполятора

Висновки

У результаті дослідження було проведено аналіз роботи двоконтурного адаптивного фільтра та визначено його недоліки. Запропоновано модель триконтурного адаптивного фільтра-екстраполятора.

Установлено, що вищеописаний алгоритм роботи дозволяє зменшити втрату корисної інформації за рахунок введення контуру виведення інформації. Даний контур можна описати як повноцінну складову алгоритму обробки інформації, що на відміну від двоконтурного фільтра не піддається зміні коефіцієнта згладжування безпосередньо. Після кожного оцінювання якості один із «крайніх» контурів, що показав кращу якість прогнозу визначається центральним, а два інші контури починають виконувати роль «крайніх».

Даний алгоритм може бути інтегрований у системи автоматичного керування у вигляді програмного коду, що дозволяє додатково обробити отриману

інформацію із датчиків або бути застосований у каналах інформації, що піддаються шумам.

Список літератури

1. Боряк, Б. Р.; Сильвестров, А. М. Алгоритм згладжування та прогнозування сигналу на основі експоненціального фільтра моделі Брауна. Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку, 2017, 4.44: С. 150-152.

2. Боряк Б.Р. Дослідження алгоритму згладжування і налаштування адаптивного фільтра Брауна при зміні амплітуди шумів / Б. Р. Боряк // Тези доповідей 69 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, квітень-травень, 2017 р., - Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. Том 1, С 4-6.

Надійшла до редколегії 16.08.2017

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

ТРЕХКОНТУРНЫЙ АДАПТИВНЫЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР-ЭКСТРАПОЛЯТОР

Б.Р. Боряк, А.М. Сильвестров

В исследовании был рассмотрен метод, позволяющий сделать вывод о качестве фильтрации сигнала посредством сравнения информации, полученной из трех контуров фильтрации, функционирующих по одинаковому принципу, но с разными параметрами. В основе каждого контура лежит комбинация фильтрующих единиц, принцип работы которых базируется на основе двойного экспоненциального сглаживания Брауна. Данный метод может быть использован для оценки отслеживаемого процесса, фильтрации сигналов систем управления, а также систем измерения.

Ключевые слова: двойное экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, полезный сигнал, нониусный принцип подключения, коэффициент сглаживания.

THREE-LOOP ADAPTIVE EXPONENTIAL FILTER-EXTRAPOLATOR

B.R. Boriak, A.M. Silvestrov

The research examined a method that allows us to estimate the quality of signal filtration by comparing information obtained from three filtration loops that operate on the same principle but with different parameters. Filtering loop is the combination of the simple filtering units, the principle of which is based on the Brown's double exponential smoothing. This method can be used to evaluate different process, to filter signals from control systems and measuring systems.

Keywords: double exponential smoothing, noise, forecast, tracking signal, nonius connection principle, smoothing factor.

УДК 538.69.331.45

В.А. Глива¹, К.Д. Ніколаєв¹, Л.О. Левченко²¹ Національний авіаційний університет, Київ² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОСТЕЙ ЗОВНІШНІХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ РІЗНОРОЗМІРНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Проаналізована можливість отримання зручного для практичного використання розрахункового методу для визначення змін магнітного поля електричних машин. Показана несиметричність магнітного поля навколо чотириполюсної машини. Отриманий аналітичний та графічний матеріал дозволяє у реальних виробничих умовах обрати місце перебування і шляхи пересування персоналу.

Ключові слова: магнітне поле, напруженість магнітного поля, електромагнітна безпека.

Вступ

Визначення закономірностей поширення магнітних полів навколо електротехнічних пристроїв різних конструкцій та надання кількісних значень напруженостей цих полів є важливою проблематикою електромагнітної безпеки та електромагнітної екології. Більшість таких досліджень є експериментальними і стосуються окремих або однотипних пристроїв. Це не дає можливості узагальнити отримані результати та розповсюдити їх на обладнання інших потужностей, розмірів тощо. Розрахункові методи та моделювання магнітних полів у більшості розглядають внутрішні магнітні поля, критичні для робочих характеристик обладнання. Тому доцільно сформувані загальні засади розрахункового визначення структур зовнішніх магнітних полів електричних машин різного призначення з урахуванням його прикладної спрямованості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню електромагнітних полів електротехнічного обладнання розрахунковими методами та здійсненню їх моделювання приділяється багато уваги. У роботі [1] наведено результати визначення поширення електричного і магнітного поля навколо повітряних ліній. Але їх відмінності для різних ліній обумовлені конструкціями і у загальному випадку уніфіковані. Дослідження [2] присвячене визначенню розподілу магнітних полів ліній електропередачі. У ньому лінія розглядається як система магнітних диполів, що значно підвищило точність моделювання. Це ж стосується моделювання та визначення заходів зниження магнітних полів кабельних ліній [3]. Наведені роботи розглядають лінійні джерела. Але найбільш складними є магнітні поля локальних джерел – електричних машин, трансформаторів тощо. Математичний апарат, наведений у роботі [4] щодо зовнішнього магнітного поля електричних машин занадто абстрактний. Це ускладнює його використання для практичних цілей.

Проблема вибору методів і методик моделювання розглянута у [5]. Але ця робота оцінює переваги та недоліки різних стандартних пакетів програм, не надаючи конкретних результатів моделювання. Найбільш сучасні підходи до моделювання електротехнічних пристроїв застосовано у роботі [6]. Зокрема показано моделі магнітних полів трансформаторів. Ця робота розглядає таке моделювання з точки зору підвищення функціональних можливостей обладнання. Але з точки зору елемента магнітної безпеки доцільно розглянути поширення магнітного поля у залежності від конструктивних особливостей і формування магнітних полів. Це було започатковано з позиції метрології у [7] і розвинуто у дослідженні [8] щодо забезпечення електромагнітної безпеки і сумісності технічних засобів. Але при проведенні розв'язання рівняння Гауса для скалярного магнітного потенціалу було допущено неточність. Це не дозволило отримати коректний графічний матеріал і оцінити просторові зміни напруженості магнітного поля електричної машини у залежності від рівнів гармонік магнітного поля та відносного розміру машини.

Мета роботи – дослідити просторові зміни магнітного поля електротехнічних пристроїв у залежності від умов його формування, визначити зони мінімальних магнітних полів для електричних машин різних відносних розмірів.

Виклад основного матеріалу

Досвід експериментальних робіт з визначенням напруженостей магнітних полів електротехнічного обладнання свідчить, що ці показники не завжди відповідають номінальним значенням електричних навантажень (потужностей) пристроїв і систем. Так, магнітні поля ліній електропередач залежать від миттєвих значень електричного струму і не є сталими навіть за межами санітарно-захисних зон. Вимірювання магнітних полів поблизу електричних машин великої потужності показали, що напруженості поля навколо машини потужністю 150 МВт менші

за показниками на таких же відстанях від машини потужністю 100 МВт.

Очевидно, що напруженості магнітних полів пов'язані не тільки з потужністю обладнання, а й з іншими чинниками. Для електричних машин це розташування полюсів та їх кількість, наявність та інтенсивність вищих просторових гармонік магнітного поля, що ускладнює інструментальний контроль рівнів магнітних полів.

Головною задачею електромагнітної безпеки є визначення напруженості магнітного поля у будь-якій точці навколо електротехнічного пристрою.

Для її коректного вирішення необхідно визначення достатньої кількості просторових гармонік для характеристики поля у заданій області з потрібною (заданою) точністю.

Отримані результати доцільно представити у графічному вигляді для зручності у практичному використанні. При цьому такі дані повинні бути узагальнені і не стосуватися обладнання конкретної марки або моделі.

Як показано у [8], врахування гармонік магнітного поля доцільне за рахунок розв'язання рівняння Гауса для скалярного потенціалу.

За результатами стандартної процедури розв'язання магнітне поле чотириполюсної електричної машини характеризується сумою дипольної ($n=1$) і квадрупольної ($n=2$) гармонік.

Для $n=1$:

$$H_r^{(n=1)} = 2 \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 (a_{10} \cos \theta + a_{11} \cos \phi \sin \theta + b_{11} \sin \phi \sin \theta).$$

Для $n=2$:

$$H_r^{(n=2)} = \frac{3}{4\pi} \left(\frac{R_0}{R} \right)^4 \left(\frac{a_{20}}{2} (3 \cos^2 \theta - 1) + 3(a_{21} \cos \phi + b_{21} \sin \phi) \sin 2\theta + 12(a_{22} \cos 2\phi + b_{22} \sin 2\phi) \sin^2 \theta \right).$$

де, R , θ , ϕ , полярні координати, a – амплітуди відповідних гармонік.

Загальна напруженість поля:

$$H = \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 a_{11} \cos \phi \sin \theta + \left(\frac{R_0}{R} \right)^4 a_{22} \cos 2\phi \sin^2 \theta.$$

Співвідношення наведені у сферичних координатах, тому вважаємо, що радіус самої електричної машини R_0 . Найбільш показовими є значення магнітного поля з протилежних боків машини.

Розглядаючи зміну напруженості поля за $\phi = 0$ та $\phi = \pi$, приймаючи $R_0 = 1$, отримуємо співвідношення:

$$H_1 = \frac{a_{22}}{R^4} + \frac{a_{11}}{R^3},$$

$$H_2 = \frac{a_{22}}{R^4} - \frac{a_{11}}{R^3}.$$

Як видно, закономірності змін напруженості магнітного поля для цих двох кутів різні. Для випадку, коли магнітні поля двох гармонік додаються це наведено на рис. 1.

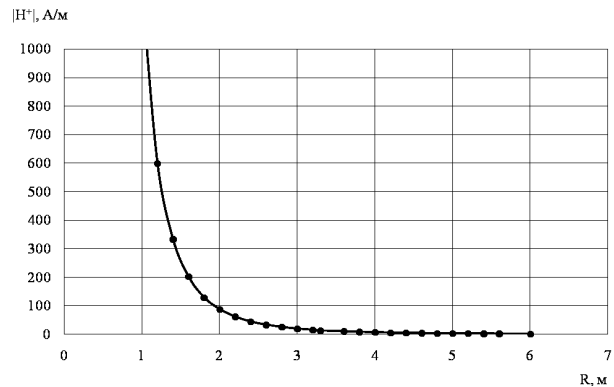


Рис. 1. Зміна магнітного поля електричної машини з відстанню за $\phi = 0$

Цей результат можна вважати очікуваним. Інша картина спостерігається за $\phi = \pi$.

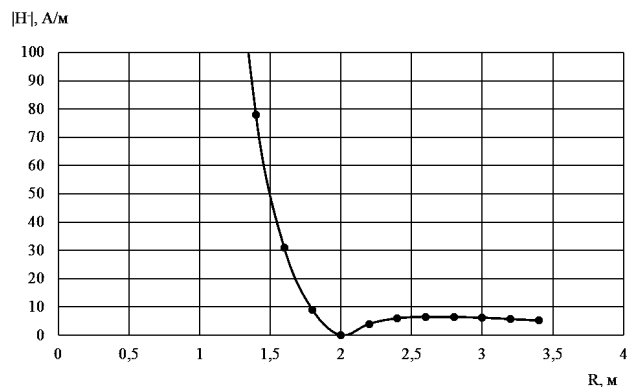


Рис. 2. Зміна магнітного поля електричної машини з $\phi = \pi$

Напруженість магнітного поля за модулем розглядається через те, що після нульового значення цей показник стає від'ємним. Але з точки зору електромагнітної безпеки спрямованість вектора напруженості магнітного поля значення не має.

Отриманий результат – зниження магнітного поля до нуля і його зростання з відстанню можна пояснити різними закономірностями затухання поля дипольної та квадрупольної гармоніками.

Аналогічний підхід можна застосувати для аналізу структури і зміни магнітного поля інших джерел. більшість електронного (джерела безперебійного живлення, системні блоки комп'ютерів, моніторів) та електричного (трансформатори) обладнання мають форми магнітних та електричних

полів, притаманні магнітному та електричному диполям.

Тому для розрахунків рівнів магнітних полів таких джерел доцільно використовувати співвідношення:

$$H = \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 a_{11} \cos \phi \sin \theta.$$

Для отримання конкретних кількісних даних достатньо визначення амплітуд сферичних гармонік на базовій сфері, тобто напруженості магнітного поля безпосередньо біля електричної машини. Їх співвідношення у багатьох випадках відомі.

Наприклад, у зовнішньому магнітному полі багатополосної електричної машини окрім власної просторової гармоніки з показниками $n=p$ (де p – кількість пар полюсів машини) є перша (дипольна) просторова гармоніка. Біля поверхні машини напруженість її магнітного поля скла дає приблизно 0,2 напруженості поля власної гармоніки.

Наведене надає можливість максимально точно визначити напруженості магнітного поля електричних машин (як експериментально, так і аналітично). Крім того, отриманий графічний матеріал надає можливість визначити шляхи пересування працівників маршрутами, де рівні магнітних полів мінімальні. Особливо актуально це для умов обмежених просторів, наприклад біля електрогенераторів річковиків та морських суден.

Висновки

1. Визначення розподілів та напруженостей магнітних полів електротехнічного обладнання (як експериментальне, так і аналітичне) доцільне з урахуванням наявності просторових гармонік магнітного поля.

Розрахункове визначення напруженостей магнітних полів доцільне використання рівняння Гауса для скалярного магнітного потенціалу у полярних координатах.

Отримані результати і графічний матеріал дають можливість визначити зони мінімальних значень магнітного поля електричних машин, що дозволяє в умовах обмежених площ позначити шляхи безпечного пересування працівників.

Список літератури

1. Dezelak K., Stumberger G., Jak F. Arrangements of Overhead Power Line Conductors // *Electric Power Systems Research*. – 2011. – Vol. 81, № 12. – P. 2164-2170.
2. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока / В.Ю. Розов, С.У. Реуцкий, Д.Е. Пелевин и др. // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – №1. – С. 3–9.
3. Исследование магнитного поля трехфазных кабельных линий из одножильных кабелей при двустороннем заземлении их экранов / В.Ю. Розов А.А. Квицинский, П.Н. Добродеев [та ін.] // *Електротехніка і Електромеханіка*. – 2015. – № 4. – С. 56 – 61
4. Степанов А.Н. Моделирование внешнего магнитного поля трехфазной электрической машины / А.Н. Степанов // *Ученые записки, Комсомольского-на-Амуре ГТУ*. – 2011. – № III-1 (7). – С. 13 – 20.
5. Моррис Д. Моделирование электромагнитных полей – как выбрать лучший метод / Д. Моррис // *Электроника: Наука. Технология. Бизнес*. – № 3 (00117). – 2012. – С. 124 – 129.
6. Подольцев А.Д. Мультифизическое моделирование электротехнических устройств / А.Д. Подольцев, И.Н. Кучерявая // *Техническая электродинамика*, 2015. – № 2. – С. 3 – 15.
7. Волохов С.А. Закономерности распределения внешнего магнитного поля электрооборудований / С.А. Волохов, П.Н. Добродеев // *Электротехника*, 2006. – № 4. – С.28 – 33.
8. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // *Управління розвитком складних систем*. – 2014. Вип. 20. – С. 174 – 179.

Надійшла до редколегії 25.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗНОРАЗМЕРНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Глива, К.Д. Николаев, Л.А. Левченко

Проанализирована возможность получения удобного, для практического использования расчетного метода определения изменений магнитного поля электрических машин. Показана несимметричность магнитного поля вокруг четырехполюсных машин. Полученный аналитический и графический материал позволяет в реальных производственных условиях выбрать места пребывания и пути передвижения персонала.

Ключевые слова: магнитное поле, напряженность магнитного поля, электромагнитная безопасность.

INVESTIGATION OF THE INTENSITY OF EXTERNAL MAGNETIC FIELDS OF VARIOUS SIZES OF ELECTROTECHNICAL EQUIPMENT

V.A. Glyva, K.D. Nikolaev, L.O. Levchenko

The possibility of obtaining a convenient, practical use of the calculated method for determining the changes in the magnetic field of electric machines, was analyzed. The asymmetry of a magnetic field around a four-pole machine is shown. The analytical and graphic material that has been obtained allows us to choose the places of residence and the way of movement of personnel in real production conditions.

Key words: magnetic field, magnetic field strength, electromagnetic safety.

УДК 629.733.5

А.В. Гусынин¹, А.В. Яровой², Ю.В. Антонова-Рафи²¹ *Национальный авиационный университет, Киев*² *Национальный технический университет Украины «КПИ имени Игоря Сикорского», Киев*

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОСАДКОЙ ДИРИЖАБЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОЭТАПНОГО МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Представлены результаты оптимизации управления отклонением вектора тяги дирижабля на этапе посадки. Синтез терминального управления проведен на основе многоэтапного метода дифференциальных преобразований с использованием полиномов Адомиана. Приведены описание примененного подхода, алгоритм синтеза многоэтапного терминального управления, результаты моделирования посадки дирижабля с синтезированным управлением.

Ключевые слова: *оптимизация, терминальное управление посадкой, полиномы Адомиана, метод многоэтапных дифференциальных преобразований, дирижабль, моделирование движения.*

Введение

Режимы взлета и посадки являются наиболее сложными при управлении дирижаблем из-за недостаточной эффективности его аэродинамического управления на малых скоростях полета. Для решения этой проблемы на дирижаблях последнего поколения используются силовые установки с отклоняемым вектором тяги, что позволило расширить летно-технические возможности и существенно повысить маневренность аппарата на взлетно-посадочных режимах [1–4].

В настоящее время на дирижаблях применяется, в большинстве случаев, тросовая система управления, без каких-либо средств автоматизации. Это приводит к значительным трудностям соразмерения угла отклонения вектора тяги из-за относительной малости угловых скоростей и ускорений, развиваемых дирижаблем во время маневрирования на малых скоростях полета, высокой утомляемости экипажа и не позволяет реализовать потенциальные преимущества данного аппарата.

Дальнейшее повышение эффективности управления, маневренности и гибкости эксплуатации современных дирижаблей можно достичь при автоматизации управления процессов взлета и посадки.

В настоящее время для синтеза систем автоматического управления дирижаблем используются различные методы, в том числе методы пошагового управления (backstepping control) [5–7], робастного управления (robust control) [8, 9], модель-прогноз управления (model-prediction control) [10, 11]. Анализ данных методов приведен в работах [12, 13]. Ряд исследований посвящен автоматическому управлению дирижабля на взлетно-посадочных режимах [14–17]. Применение этих подходов к синтезу системы автоматического управления дирижабля связано, в основном, с решением нелинейных диффе-

ренциальных уравнений движения аппарата и получением законов управления в виде функции времени. В общем случае, нелинейные дифференциальные уравнения не имеют аналитического решения и для их решения используются различные численные и численно-аналитические методы. Применение большинства этих методов сопряжено с преодолением ряда математических и вычислительных трудностей. Одним из направлений, позволяющих преодолеть данные трудности, является математический аппарат дифференциальных преобразований [18]. Он может быть применен непосредственно к решению нелинейных дифференциальных уравнений без их предварительной линеаризации, исключает зависимость переменных от временного аргумента, допускает получение решения в аналитическом виде и значительно уменьшает объем вычислительных работ. Дальнейшее развитие этого направления в части расширения диапазона поиска решения нелинейных краевых задач и упрощения реализации сложных нелинейностей нашло отражение в многоэтапном методе дифференциальных преобразований (ММДП) с использованием аппроксимации нелинейных членов уравнения полиномами Адомиана [19–22]. На основе данного метода разработана модель оптимизации многоэтапного процесса управления движением летательного аппарата [23].

Целью статьи является оптимизация процесса управления отклонением вектора тяги дирижабля традиционной схемы на этапе посадки на основе многоэтапного метода дифференциальных преобразований.

Многоэтапный метод дифференциальных преобразований

Дифференциальные преобразования позволяют заменить в математической модели физического процесса функции $x(t)$ непрерывного аргумента t их

спектральними моделями в формі дискретних функцій $X(k)$ цілочисленного аргумента $k = 0, 1, 2, \dots$.

Дифференціальні перетворення функції $x(t)$ мають наступний вигляд [18]:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=t_0}, \quad (1)$$

де $x(t)$ - оригінал функції, представляючий собою неперервну, нескінченне число раз дифференціювану і обмежену разом з усіма своїми похідними функцію дійсного аргумента t , $X(k)$ - дифференціальне зображення оригінала (дифференціальний спектр), представляюче собою дискретну функцію цілочисленного аргумента $k = 0, 1, 2, \dots$, H - масштабна постійна, маюча розмірність аргумента t і часто рівна відрітку $0 \leq t \leq H$, на якому розглядають функцію $x(t)$. Зворотним перетворенням, дозволяючим по зображенню $X(k)$ отримати оригінал $x(t)$ в формі степенного ряду Тейлора, являється:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k).$$

або при $H = 1$:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} X(k)t^k. \quad (2)$$

Суть ММДП заключається в наступному [19]. Розглянемо нелинійне звичайне дифференціальне рівняння m -ї ступеня:

$$f(t, x, x', \dots, x^{(m)}) = 0, \quad t \in [0, T] \quad (3)$$

з заданими початковими умовами:

$$x^{(r)}(0) = c_r, \quad r = 0, 1, \dots, m-1. \quad (4)$$

Приближенне рішення задачі (3) - (4) можна виразити в вигляді кінцевого ряду:

$$x(t) = \sum_{k=0}^N X(k)t^k. \quad (5)$$

Розб'єм часовий інтервал процесу управління $[0, T]$ на p заданих підінтервалів, всередині яких змінні стани і управління являються неперервними, параметри апарату не мають скачкообразних змін і не відбувається перемикання управління,

$$T_q = t_{q-1} - t_q, \quad q = \overline{1, p},$$

$$\sum_{q=1}^p T_q = T.$$

Застосовуючи (1) до задачі (3) - (4) на першому підінтервалі $[0, t_1]$ отримимо приближенне рішення в вигляді

$$x_1(t) = \sum_{k=0}^R X_1(k)t^k, \quad t \in [0, t_1]. \quad (6)$$

Враховуючи початкові умови $x_1^{(r)}(0) = c_r$, для першого підінтервалу можна знайти всі значення $X_1(k)$, $k = 0, 1, 2, \dots, R$, де R - кількість враховуваних дискрет. Для $q \geq 2$ і для кожного наступного підінтервалу $[t_{q-1}, t_q]$ будуть використовуватися початкові умови $x_q^{(r)}(t_{q-1}) = x_{q-1}^{(r)}(t_{q-1})$.

Тоді вираження (1) для q -го підінтервалу прийме вигляд:

$$X_q(r) = \frac{H_q^r}{r!} \left[\frac{d^r x_{q-1}(t)}{dt^r} \right]_{t=t_{q-1}}, \quad r \geq 0. \quad (7)$$

Застосуємо тепер (7) до задачі (3) - (4) на інтервалі $[t_{q-1}, t_q]$.

Процес повторюється і, в результаті, отримуємо послідовність приближених рішень $x_q(t)$, $q = 0, 1, \dots, p$ для рішення $x(t)$, де

$$x_q(t) = \sum_{k=0}^R X_q(k)(t - t_{q-1})^k, \quad t \in [t_{q-1}, t_q]. \quad (8)$$

Здесь $N = R \cdot p$.

В кінцевому вигляді, при використанні багатоступінчатого методу дифференціальних перетворень, отримують рішення в вигляді:

$$x(t) = \begin{cases} x_1(t), & t \in [0, t_1] \\ x_2(t), & t \in [t_1, t_2] \\ \dots & \\ x_p(t), & t \in [t_{p-1}, t_p] \end{cases}. \quad (9)$$

Полиномы Адомиана

Розглянемо нелинійне звичайне дифференціальне рівняння першої ступеня:

$$\dot{x}(t) = u[t, x(t)] + f[x(t)], \quad (10)$$

з заданим початковим умовою $x(0)$, де $u[t, x(t)]$, $f[x(t)]$ - відповідно лінійна і нелинійна частини рівняння відносно $x(t)$.

В відповідності з методом поліномів Адомиана і з урахуванням властивостей дифференціальних перетворень компоненти дифференціального зображення нелинійної функції $f[x(t)]$ іскомого дифференціального рівняння при $t_0 = 0$ мають наступний вигляд [24]:

$$\begin{aligned}
F(0) &= f(x(0)) = f(X(0)) = f(x_0), \\
F(1) &= \left. \frac{d}{dt} f(x(t)) \right|_{t=0} = x'(0)f^{(1)}(x(0)) = X(1)f^{(1)}(X(0)), \\
F(2) &= X(2)f^{(1)}(X(0)) + \frac{1}{2!}X(1)^2f^{(2)}(X(0)), \\
F(3) &= X(3)f^{(1)}(X(0)) + X(1)X(2)f^{(2)}(X(0)) + \\
&\quad + \frac{1}{3!}X(1)^3f^{(3)}(X(0)), \\
F(4) &= X(4)f^{(1)}(X(0)) + X(1)X(3) + \\
&\quad + \frac{1}{2!}X(2)^2f^{(2)}(X(0)) + \frac{1}{2!}X(1)^2X(2)f^{(3)} \times \\
&\quad \times ((X(0)) + 12 \cdot (X(1))^4f^{(4)}(X(0)), \\
F(5) &= X(5)f^{(1)}(X(0)) + X(2)X(3) + \\
&\quad + X(1)X(4)f^{(2)}(X(0)) + \frac{1}{2!}X(1)^2X(3) + \\
&\quad + X(1)X(2)^2f^{(3)}(X(0)) + \frac{1}{3!}X(1)^3 \times \\
&\quad \times X(2)f^{(4)}(X(0)) + \frac{1}{5!}X(1)^5f^{(5)}(X(0)), \dots
\end{aligned} \tag{11}$$

В работе [25] показано, что такое представление компонент дифференциального изображения нелинейной функции может быть применено к любым видам нелинейностей дифференциальных уравнений.

Алгоритм синтеза закона многоэтапного терминального управления

Процесс посадки дирижабля является многорежимным и характеризуется разными режимами управления вектором тяги, отклонением аэродинамических органов управления, практически скачкообразным изменением массы аппарата в момент сброса балласта (при необходимости). Посадка может осуществляться на неподготовленную площадку в заданную точку (вертикальная посадка) или с коротким пробегом. Поэтому задача управления посадкой дирижабля может быть отнесена к классу задач терминального управления.

Задача терминального управления посадкой дирижабля состоит в приведении аппарата из заданных начальных условий:

$$V_X(0) = V_{X_0}, V_Y(0) = V_{Y_0}, H(0) = H_0$$

в заданные конечные условия:

$$H(T_i) = H_{T_i}, V_Y(T_i) = V_{Y_{T_i}}$$

с достижением в конце i -го участка посадки минимальной горизонтальной посадочной скорости. Здесь $V_{Y_{T_i}}, H_{T_i}$ - заданные вертикальная скорость снижения и высота полета дирижабля в конце i -го участка посадки соответственно.

Алгоритм синтеза закона многоэтапного терминального управления разработан на основе результатов работ [19, 23, 26] и состоит в выполнении следующей последовательности операций:

1. Разбиение интервала процесса управления на заданное количество подинтервалов, внутри которых переменные состояния и управления являются непрерывными, параметры аппарата не имеют скачкообразных изменений и не происходит переключение управления.

2. Построение спектральной модели движения аппарата на каждом подинтервале, получаемой путем применения к исходной математической модели, описываемой системой нелинейных дифференциальных уравнений, дифференциальных преобразований.

3. Задание программного управления на каждом подинтервале в виде функции времени и свободных параметров управления.

4. Вычисление дискрет дифференциальных спектров вектора управления и вектора состояния с аппроксимацией нелинейных членов полиномами Адомиана.

5. Формирование дифференциального спектра вектора состояния.

6. Формирование вектора состояния в конце каждого подинтервала процесса управления.

7. Составление уравнений сопряжения начальных и конечных условий подинтервалов.

8. Определение компонент вектора свободных параметров программного управления из уравнений сопряжения начальных и конечных условий подинтервалов как функции произвольного начального вектора состояния.

9. Дифференциальные преобразования критерия оптимальности (функционала).

10. Определение оставшихся неизвестных компонент вектора свободных параметров из необходимого условия оптимальности функционала.

11. Формирование замкнутого закона оптимального управления с обратной связью методом замыкания программного управления для произвольного текущего состояния объекта.

Данный алгоритм не требует для своей реализации численного интегрирования дифференциальных уравнений движения, исключает из рассмотрения функции времени, сводит проблему синтеза замкнутых законов оптимального управления к решению системы нелинейных уравнений относительно параметров управления и позволяет получить решение в аналитическом виде.

Синтез алгоритма многоэтапного терминального управления

Рассматривается посадка дирижабля с коротким пробегом. Весь процесс посадки условно разбивается

на два участка. В качестве первого участка ($i=1$) выбирается участок от момента начала посадки (высота 50 м) до высоты 15,2 м над посадочной поверхностью, при достижении которой в соответствии с критериями летной годности для дирижаблей [27] аппарат должен достичь рекомендованной вертикальной скорости снижения. Второй участок ($i=2$) начинается с высоты 15,2 м и продолжается до момента касания посадочным шасси дирижабля земли, при достижении которой дирижабль должен иметь заданную горизонтальную посадочную скорость и минимальную вертикальную скорость снижения.

При синтезе закона управления программное изменение угла отклонения вектора тяги задавалось в виде линейной функции времени $\varphi = a_0 + a_1 t$, где a_0, a_1 – свободные параметры управления, подлежащие определению. Как показали проведенные летные испытания дирижаблей «Скайшип-500» [28] данная программа близка до оптимальной программы отклонения вектора тяги при посадке.

За критерий качества для каждого участка посадки принимался функционал, минимизирующий горизонтальную посадочную скорость аппарата. Ограничения на параметры движения и управления не учитывались, так как для аэростатических летательных аппаратов экстремальные случаи, которые возникают в полете (отказ двигателя, отказ системы автоматического управления и др.) не приводят к возникновению аварийных ситуаций.

В качестве модели траекторного движения дирижабля принята упрощенная система дифференциальных уравнений, описывающая траекторное движение дирижабля в проекциях на оси связанной системы координат, начало которой совпадает с центром газового объема оболочки. Составленная по данной модели спектральная модель продольного движения дирижабля приведена в работе [2].

В развернутом виде метод синтеза многоэтапного терминального управления посадкой дирижабля и полученный замкнутый закон управления приведены в работе [26].

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбран дирижабль классического типа небольшого объема. Принято, что по бокам gondoly дирижабля установлены два реверсивных маршевых двигателя с воздушными винтами, которые отклоняются до $+90^\circ$ вверх (на кабрирование) и до -120° (на пикирование). Воздушные винты расположены в кольцевых насадках и моделировались в виде источников силы.

Аэродинамические характеристики дирижабля определены расчетным путем с учетом результатов работы [29]. Аэродинамическая интерференция между оболочкой дирижабля и его воздушными винтами в кольцевых насадках не учитывалась. Влияние близости земли на аэродинамические характеристики аппарата учитывалось эмпирическими зависимостям, полученными обработкой экспериментальных данных исследования модели дирижабля в аэродинамической трубе.

Моделирование пилота, как элемента контура управления, не проводилось. Влияние ветра и скорости отклонения вектора тяги, реверс тяги, а также величины загрузки аппарата в данной работе не рассматриваются. Данные вопросы являются предметом отдельного исследования.

Результаты моделирования

Процедура моделирования посадки дирижабля с отклоняемым вектором тяги заключалась в следующем. В исходном состоянии аппарат был сбалансирован на высоте 50 м в установившемся полете на скорости 36 км/ч. После этого, вектор тяги двигателей отклонялся с таким расчетом, чтобы снижение производилось в заданную точку приземления с минимальной посадочной скоростью.

На рис. 1 показаны результаты моделирования траектории посадки дирижабля при фиксированных углах отклонения вектора тяги, показывающие эффективность применения управления отклонением вектора тяги на дирижабле.

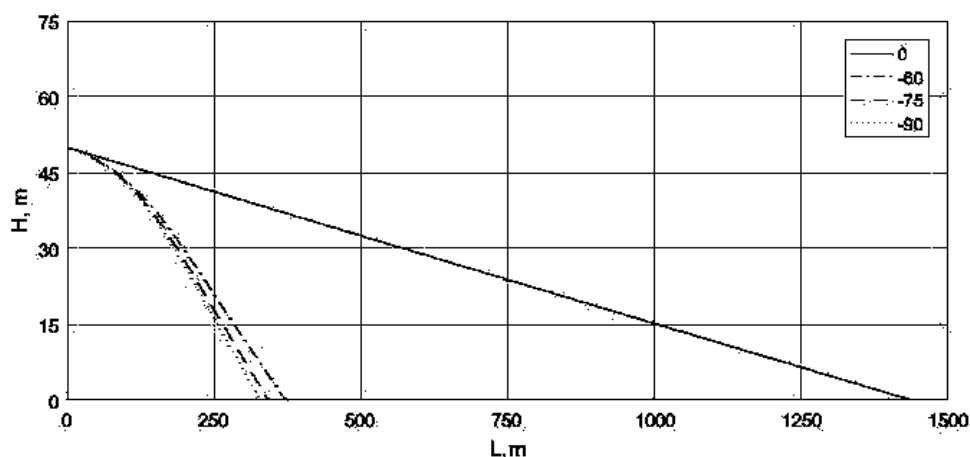


Рис. 1. Траектория посадки дирижабля при управлении отклонением вектора тяги

При отсутствии отклонения вектора тяги посадочная дистанция составляла 1440 м. При отклонении вектора тяги вниз на -60° посадочная дистанция существенно сократилась и составляет уже 376 м. При этом достигается более крутая траектория снижения. На практике большие углы отклонения вектора тяги объединяются с использованием реверсирования тяги двигателей во время посадки. Это связано с тем, что при больших углах отклонения вектора тяги дирижабль может развить достаточно большие вертикальные скорости снижения и их необходимо компенсировать за счет уменьшения тяги двигателей.

На рис. 2 показано изменение траекторных параметров движения дирижабля при посадке с синтезированным законом терминального управления и фиксированном угле отклонения вектора тяги.

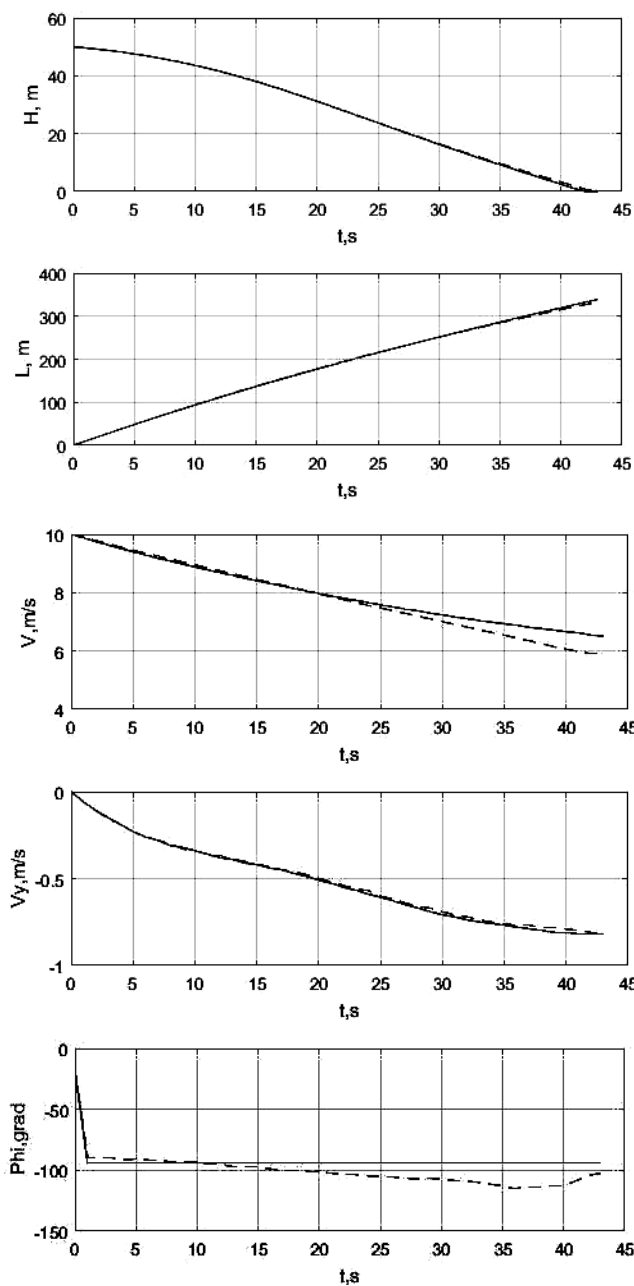


Рис. 2. Характеристики посадки

Поскольку для процедуры посадки дирижабля не установлены четкие критерии, то в качестве терминальных условий при синтезе закона управления были приняты параметры в точке касания земли, полученные при отклонении вектора тяги вниз на фиксированный угол 85° :

горизонтальная посадочная скорость в точке касания земли – 6,5 м/с,

вертикальная посадочная скорость – 0,8 м/с.

Сравнение посадочных характеристик показывает, что в случае управления отклонением вектора тяги по синтезированному закону управления обеспечивается посадка дирижабля в заданные терминальные условия с меньшей горизонтальной посадочной скоростью, что свидетельствует о расширении маневренных характеристик аппарата.

Выводы

Рассмотрен вопрос оптимизации управления посадкой дирижабля. Задача оптимального управления посадкой рассматривается как задача терминального управления и решается на основе многоэтапного метода дифференциальных преобразований с применением полиномов Адомиана. Приведены описание примененного подхода, алгоритм синтеза закона терминального управления, результаты моделирования посадки дирижабля с синтезированным законом управления.

Применение автоматического управления посадкой дирижабля повышает маневренность аппарата, улучшает его посадочные характеристики, обеспечивает возможность осуществления посадки с достижением меньших горизонтальных посадочных скоростей.

Список литературы

1. Грумондз В.Т. *Аэромеханика дирижабля* / В.Т. Грумондз, Н.В. Семенчиков, О.В. Яковлевский. – М.: Наука, 2017. – 424 с.
2. Гусинін В.П. *Кероване повітроплавання* / В.П. Гусинін, А.В. Гусинін. – К.: Кафедра, 2012. – 364 с.
3. Гусинін В.П. *Застосування керованого вектора тяги на дирижаблях* / В.П. Гусинін, А.В. Гусинін // *Наукові вісті НАУ*. - 2005. - № 3. - С. 95-102.
4. Nagabhushan B.L. *Thrust-vectorred takeoff, landing and ground handling of an airship* / B.L. Nagabhushan, N.P. Tomlinson // *Journal of aircraft*. – 1985. – Vol.23, no.3. – P. 250-256.
5. Moutinho A.B. *Modeling and nonlinear control for airship autonomous flight* / A.B. Moutinho. Ph.D. thesis, Instituto Superior Tecnico, Technical University of Lisbon, 2007.
6. Hygounenc E. *Automatic airship control involving backstepping techniques* / E. Hygounenc, P. Soueres // *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Hammamet, Tunisia, 2002*.
7. Beji L. *Stabilization of a nonlinear underactuated autonomous airship – a combined averaging and backstepping approach* / L. Beji, A. Abichou, Y. Bestaou // *Proceedings of the 3rd International Workshop "Robot Motion and Control"*. - 2002. - P. 223-229.

8. Fukau T. Inverse optimal tracking control of an aerial blimp robot / T. Fukau, T. Kanzawa, K. Osuka // *Proceedings of the 5th International Workshop "Robot Motion and Control"*. – 2005. – P. 193-198.

9. Moutinho A. Stability and Robustness Analysis of the AURORA Airship Control System using Dynamic Inversion / A. Moutinho, J.R. Azinheira // *Proceedings of the IEEE International Conference "Robotics and Automation"*. – 2005. – P. 2265-2270.

10. Ko J. Gaussian Processes and Reinforcement Learning for Identification and Control of an Autonomous Blimp / J. Ko, D.J. Klein, D. Fox, D. Haehne // *Proc. of the IEEE Int. Conf. "Robotics and Automation"*. – 2007. – P. 742-747.

11. Fukushima H. Model predictive control of an autonomous blimp with input and output constraints / H. Fukushima, R. Saito, F. Matsuno, Y. Hada, K. Kawabata, H. Asama // *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications "Computer Aided Control System Design"*. – 2006. – P. 2184-2189.

12. Управление воздухоплавательными комплексами: теория и технологии проектирования / В.Х. Пищопов, М.Ю. Медведев, Р.В. Федоренко, М.Ю. Сиротенко, В.А. Костюков и др. – М.: Физматлит, 2010. – 394 с.

13. Liu Y. Control of Autonomous Airship / Y. Liu // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. – 2009. – P. 2457-2462.

14. Kwon J. Vector field guided auto-landing control of airship with wind disturbance / J. Kwon, J. Kim, J. Seo // *Proceedings of the 19th World Congress, Cape Town, South Africa*. – 2014. – P. 1114-1119.

15. Saiki H. Automatic landing control of outdoor blimp robots / H. Saiki, T. Fukao, T. Kohno // *Proceedings of 9th IFAC Symposium on Robot Control*. – 2009. – P. 32-38.

16. Saiki H. Takeoff and landing control of outdoor blimp robots / H. Saiki, T. Fukao, Y. Ishimori, T. Kohno // *Japan Society of Mechanical Engineers. Series C*. – 2011. – Vol.77, no.775. – P. 1004-1016.

17. Федоренко Р.В. Алгоритмы автопилота посадки роботизированного дирижабля [Электр. ресурс] / Р.В. Федоренко // *Инженерный вестник Дона*. – 2011. – №1. – режим доступа: http://ivdon.ru/uploaddir/articles.371.big_image.doc.

18. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.

19. Гусынин А.В. Многоэтапный метод модифицированных дифференциальных преобразований для решения

нелинейных краевых задач / А.В. Гусынин // *Проблеми інформаційних технологій*. – 2016. – №02 (020). – С.26-34.

20. Fatoorehchi H. Improving the differential transform method: A novel technique to obtain the differential transforms of nonlinearities by the Adomian polynomials / H. Fatoorehchi, H. Adolghasemi // *Applied Mathematical Modeling*. – 2013. – Vol.37, issue 8. – P. 6008-6017.

21. El-Zahar E.R. Applications of Adaptive multi-step differential transform method to singular perturbation problems arising in science and engineering / E.R. El-Zahar // *Appl.Math.Inf.Sci.* – 2015. – Vol.9, no.1. – P. 223-232.

22. Gusynin V. The use of differential transformations for solving non-linear boundary value problems / V. Gusynin, A. Gusynin, H. Tachinina // *Proceedings of NAU*. – 2016. – №4(69). – 45-55 pp. – doi: 10.18372/2306-1472.69.11054.

23. Модель оптимізації багатоетапного процесу управління летательным аппаратом на основе дифференциальных преобразований / В.П. Гусынин, А.В. Гусынин, Я.О. Замирец // *Системы обработки информации*. – 2015. – Вып. 8(113). – С.77-81.

24. Гусынин В.П. Решение нелинейных двухточечных краевых задач модифицированным методом дифференциальных преобразований / В.П. Гусынин, А.В. Гусынин, О.Н. Замирец // *Технология приборостроения*. – 2016. – №1. – С. 16-21.

25. Ebald A. On a general formula for computing the one-dimensional differential transform of nonlinear functions and its application / A. Ebald // *Proc. of the American Conf. on Applied Math., Harvard, Cambridge, USA*. – 2012. – P. 92-97.

26. Гусинін А.В. Синтез алгоритму оптимального керування рухом аеростатичного літального апарату на етапі посадки / А.В. Гусинін // *Проблеми інформаційних технологій*. – 2013. – №01(013). – С. 53-60.

27. Критерии летной годности для дирижаблей. – М.: ПВО, 1999. – 144 с.

28. Jex H.R. Dynamics Flight-Tests of the Skyship-500 Airship / H.R. Jex, J.R. Hogue, R.E. Magdaleno. – *System Technology*. – TR-1151-4. – 1986. – P. 50-57.

29. Jones S.P. Aerodynamic Estimation Techniques for Aerostats and Airships / S.P. Jones, J.D. DeLaurier // *Journal of Aircraft*. – 1983. – Vol.20, no.2. – P. 120-126.

Надійшла до редколегії 4.07.2017

Рецензент: академик НАН України, д-р техн. наук, проф. Ю.І. Якименко, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПОСАДКОЮ ДИРИЖАБЛЯ НА ОСНОВІ БАГАТОЕТАПНОГО МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

А.В. Гусинін, О.В. Яровий, Ю.В. Антонова-Рафі

Представлені результати оптимізації керування відхиленням вектора тяги дирижабля на етапі посадки. Синтез термінального керування виконано на основі багатоетапного методу диференціальних перетворень з використанням поліномів Адоміана. Наведено опис застосованого підходу, алгоритм синтезу багатоетапного термінального керування, результати моделювання посадки дирижабля з синтезованим керуванням.

Ключові слова: оптимізація, термінальне керування посадкою, поліноми Адоміана, метод багатоетапних диференціальних перетворень, дирижабль, моделювання руху.

OPTIMIZATION OF AIRSHIP LANDING CONTROL BASED ON MULTI-STEP DIFFERENTIAL TRANSFORM METHOD

A.V. Gusynin, O.V. Yaroviy, Ju.V. Antonova-Rafi

The results of control optimization by declination of airship thrust vector on the landing stage is presented. Terminal control synthesis are made based on the multi-step differential transform method with using Adomian polynomials. Description of the applied method, algorithm synthesis of multi-stage terminal control and the results of airship landing simulation with using synthesized control are given.

Keywords: optimization, terminal landing control, multi-step differential transform method, Adomian polynomials, airship, motion simulation.

УДК 621.396

В.Д. Карлов¹, А.М. Артеменко², О.В. Струцінський³, І.М. Пічугін¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ³ Військова частина А0780

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ ПРИ ЇЇ РАДІОЛОКАЦІЇ В МЕЖАХ ТРОПОСФЕРНОГО ХВИЛЕВОДУ НАД МОРЕМ

В статті запропоновано алгоритм оптимального оцінювання часу затримки сигналу при радіолокації маловисотних цілей в тропосферному хвилеводі за межами дальності прямої видимості. Алгоритм враховує наявність фазових флуктуацій відбитих від маловисотних цілей сигналів, які обумовлені середовищем поширення радіохвиль. В роботі представлена структурна схема пристрою, який реалізує запропонований алгоритм оцінювання часу затримки. При цьому кореляційна функція фазових флуктуацій описується осцилюючою функцією. Розрахунки, які наведені в статті свідчать про те, що використання запропонованого вимірювача дальності дозволяє підвищити точність оцінювання дальності від 3 до 4 разів.

Ключові слова: вимірювач дальності, фазові флуктуації, кореляційна функція, дисперсія.

Вступ

Постановка проблеми. В нижніх шарах тропосфери при певних метеорологічних умовах над морем виникають області простору з аномально малим коефіцієнтом згасання радіохвиль – тропосферні радіохвилеводи (ТРХ) [1]. Для Азово-Чорноморського басейну заживлення ТРХ можливо при дислокації радіолокаційної станції (РЛС) на відстані до межі суходіл - море, що не перевищує 2000 м [2].

Використання ТРХ РЛС приморського базування може призвести до збільшення дальності виявлення маловисотних цілей (МЦ) в декілька разів [3, 4]. Проте при локації МЦ за межами дальності прямої видимості (ДПВ) відбувається зниження точності вимірювання просторових координат [2, 4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз експериментальних даних [5, 6], показав, що при локації маловисотної цілі, яка знаходиться в межах ТРХ на віддалені від РЛС на 300 км, флуктуаційна помилка вимірювання дальності в порівнянні з локацією цілі в межах ДПВ збільшувалася від 3 до 4 разів [7].

Причиною досить значного збільшення флуктуаційної помилки вимірювання дальності є флуктуації фази відбитого від цілі сигналу, обумовлені появою разом з некорельованими і корельованими фазових флуктуацій [7, 8]. В даній роботі запропоновано алгоритм оптимального оцінювання та пристрій, що реалізує даний алгоритм, для випадку, коли кореляційна функція фазових флуктуацій описується осцилюючою функцією.

Метою статті є побудова структурної схеми пристрою вимірювання дальності цілі при наявності на трасі розповсюдження радіохвиль ТХВ при умові, що флуктуації фази відбитих сигналів розподіле-

ні за нормальним законом, а кореляційна функція фазових флуктуацій описується осцилюючою функцією.

Основна частина

Як було встановлено в [6–8], флуктуації фази частотних компонент сигналу, відбитого від цілі, при її локації в межах тропосферного хвилеводу над морем, розподілені за нормальним законом. Це дозволило оптимізувати процес вимірювання дальності за критерієм максимуму логарифма відношення правдоподібності. За цим критерієм в роботах [9, 10] отримані співвідношення для вимірювання часу запізнення та дисперсії оцінки групового запізнення при використанні кореляційної функції фазових флуктуацій, яка задана у загальному вигляді.

Як показано в [9–10], оптимальна оцінки часу запізнення має такий вигляд:

$$\hat{t}_3 = \int_{-\infty}^{\infty} y(\Omega) R(\Omega) d\Omega \cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} \Omega \operatorname{rect}\left(\frac{\Omega}{\Delta\Omega}\right) R(\Omega) d\Omega \right]^{-1}, \quad (1)$$

де $y(\Omega) = x(\Omega) + n(\omega_0 + \Omega)$ – вхідний сигнал, що має вигляд суми сигналу, який очікується, $x(\Omega)$ та фазочастотного шуму $n(\omega_0 + \Omega)$;

$\Delta\Omega$ – ширина спектру зондуючого сигналу;

ω_0 – несуча частота;

$R(\Omega)$ – вагова функція.

Згідно з [9–10] співвідношення для дисперсії оцінки групового часу запізнення записується таким чином:

$$\sigma_t^2 = \frac{144}{\Delta\Omega^6} \int_{-0,5\Delta\Omega}^{0,5\Delta\Omega} \int \Omega \Omega_1 \Phi(\Omega, \Omega_1) d\Omega d\Omega_1; \quad (2)$$

де $\Phi(\Omega, \Omega_1)$ – кореляційна функція фазових флуктуацій частотних компонент сигналу.

Оскільки, при поширенні сигналу до цілі і назад дія середовища здійснюється на його частотні компоненти, обмежені шириною спектру $\Delta\Omega$, рівняння з ваговою функцією, в даному випадку, матиме вигляд:

$$\int_{-0,5\Delta\Omega}^{0,5\Delta\Omega} \Phi(\Omega, \Omega_1) \text{rect}\left(\frac{\Omega}{\Delta\Omega}\right) R(\Omega_1, t_3) = x(\Omega). \quad (3)$$

У випадку, якщо фазові флуктуації частотних складових сигналу описується осцилюючою кореляційною функцією:

$$\Phi(\Omega, \Omega_1) = \exp\left\{-\frac{1}{\rho}|\Omega - \Omega_1|\right\} \times \left[\cos T(\Omega - \Omega_1) + \beta \cdot \sin T(\Omega - \Omega_1)\right], \quad (4)$$

то інтегральне рівняння для знаходження вагової функції матиме вигляд:

$$\sigma_{\Phi}^2 \int_{-0,5\Delta\Omega}^{0,5\Delta\Omega} \exp\left\{-\frac{1}{\rho}|\Omega - \Omega_1|\right\} \times \left[\cos T(\Omega - \Omega_1) + \beta \sin T(\Omega - \Omega_1)\right] \times \text{rect}\left(\frac{\Omega}{\Delta\Omega}\right) R(\Omega_1, t_3) d\Omega = \Omega t_3 \text{rect}\left(\frac{\Omega}{\Delta\Omega}\right). \quad (5)$$

Для його вирішення двічі продиференціюємо ліву і праву частині, приведемо подібні і, враховуючи, що

$$R(\Omega, t_3) = t_3 R(\Omega),$$

отримаємо:

$$R(\Omega, t_3) = \frac{t_3}{2\sigma_{\Phi}^2(\rho^{-1} + \beta T)} \left\{ \left[\frac{(\rho^{-2} + T^2)^2}{k^2} \Omega - \frac{k\Delta\Omega\rho}{1 + \rho T\beta} + \frac{4}{k(1 - \rho T\beta)} \text{sh}k\Omega \right] \times \text{rect}\left(\frac{\Omega}{\Delta\Omega}\right) - \left[T \cdot \frac{\left(\frac{T - \beta}{\rho}\right) \frac{\Delta\Omega}{2} \text{ch} \frac{k\Delta\Omega}{2}}{\left(\frac{1}{\rho} + T\beta\right) \text{ch} \frac{k\Delta\Omega}{2} + k \text{sh} \frac{k\Delta\Omega}{2}} - \frac{\left(\frac{T(1 + \beta^2)}{1 - \rho T\beta} + \beta k^2 \frac{\Delta\Omega}{4}\right) \frac{2}{k} \text{sh} \frac{k\Delta\Omega}{2}}{\left(\frac{1}{\rho} + T\beta\right) \text{ch} \frac{k\Delta\Omega}{2} + k \text{sh} \frac{k\Delta\Omega}{2}} \cdot T + \frac{\Delta\Omega}{2\rho} + 1 \right] \times \left[\delta\left(\Omega + \frac{\Delta\Omega}{2}\right) - \delta\left(\Omega - \frac{\Delta\Omega}{2}\right) \right], \quad (6)$$

де $k^2 = \frac{(\rho^{-2} + T^2)(\rho^{-1} + T\beta_1)}{\rho^{-1} - T\beta_1}$, $\beta_1 = \frac{n}{\rho T}$, T – період слідування радіоімпульсів.

Визначимо дисперсію оцінки оптимального вимірювання групового запізнення в даному випадку.

Підставляючи (5) в (2), отримаємо:

$$\sigma_{t_{\text{опт}}}^2 = \frac{2\sigma_{\Phi}^2(1-n)}{\Delta\Omega} \left\{ \frac{(1+c^2\gamma^2)^2}{6b^2c} - (n^2 + c^2\gamma^2) \frac{(1+n)^{-1} + 2c(1-n)^{-1}b^2}{(1+n)\text{ch}bc^{-1} + \text{bsh}bc^{-1}} \times \left[\text{ch}(bc^{-1}) - cb^{-1}\text{sh}(bc^{-1}) \right] + \frac{1}{2} \times [1+c + (c^2\gamma^2 - n)\text{ch} \frac{b}{c} - \frac{1c}{b} \left(\frac{n^2 + c^2\gamma^2}{1-n} + \frac{nb^2}{2c} \text{sh} \frac{b}{c} \right)] \right\}^{-1} + \frac{1}{(1+n)\text{ch} \frac{b}{c} + \text{bsh} \frac{b}{c}}, \quad (7)$$

де $b^2 = \frac{1+n}{1-n}(1+c^2\gamma^2)$,

$\gamma = 0,5\Delta\Omega T$ – відносний параметр осцилюючої кореляційної функції фазових флуктуацій.

Отримаємо вираз для алгоритму оптимального вимірювання групового запізнення (дальності до цілі).

Скориставшись співвідношенням (5), відповідно отримаємо кінцеве співвідношення:

$$\hat{t}_3 = k_1 \int_{-0,5\Delta\Omega}^{0,5\Delta\Omega} y(\Omega) \cdot \Omega d\Omega - k_2 \int_{-0,5\Delta\Omega}^{0,5\Delta\Omega} y(\Omega) \text{sh}k\Omega d\Omega + k_3 \left[y\left(\frac{\Delta\Omega}{2}\right) - y\left(-\frac{\Delta\Omega}{2}\right) \right], \quad (8)$$

де K_1, K_2, K_3 – вагові коефіцієнти.

Вагові коефіцієнти знаходяться за такими виразами:

$$k_1 = \frac{L}{\Delta\Omega^3} \frac{2(1+c^2\gamma^2)^2}{cb^2}; \quad (9)$$

$$k_2 = \frac{L}{\Delta\Omega^2} 2c\gamma^2 b \left(1 + \frac{n^2}{c^2\gamma^2} \right) \times \frac{(1+n)^{-1} + 2cb^{-2}(1-n)^{-1}}{(1+n)\text{ch}(bc^{-1}) + \text{bsh}(bc^{-1})}; \quad (10)$$

$$k_3 = \frac{L}{2\Delta\Omega} \times \left[1 + c + \frac{(c^2\gamma^2 - n) \operatorname{ch}bc^{-1} - 2cb^{-1} \left(\frac{c^2\gamma^2 + n^2}{1-n} + \frac{nb^2}{2c} \right) \operatorname{sh} \frac{b}{c}}{(1+n) \operatorname{ch}(bc^{-1}) + \operatorname{bsh}(bc^{-1})} \right] \quad (11)$$

$$L^{-1} = \frac{(1+c^2\gamma^2)^2}{6b^2c} - (n^2 + c^2\gamma^2) \times \frac{(1+n)^{-1} + 2cb^{-2}(1-n)^{-1}}{(1+n) \operatorname{ch}bc^{-1} + \operatorname{sh}bc^{-1}} \times \left(\operatorname{ch}bc^{-1} + cb^{-1} \operatorname{sh}bc^{-1} \right) + \frac{1}{2} \left[1 + c + \frac{(c^2\gamma^2 - n^2) \operatorname{ch}bc^{-1}}{(1+n) \operatorname{ch}bc^{-1} + \operatorname{bsh}bc^{-1}} - \frac{2cb^{-1} \left(\frac{n^2 + c^2\gamma^2}{1-n} + \frac{nb^2}{2c} \right) \operatorname{sh} \frac{b}{c}}{(1+n) \operatorname{ch}bc^{-1} + \operatorname{bsh}bc^{-1}} \right]$$

Схема пристрою, що реалізує отриманий алгоритм (8), приведена на рис. 1.

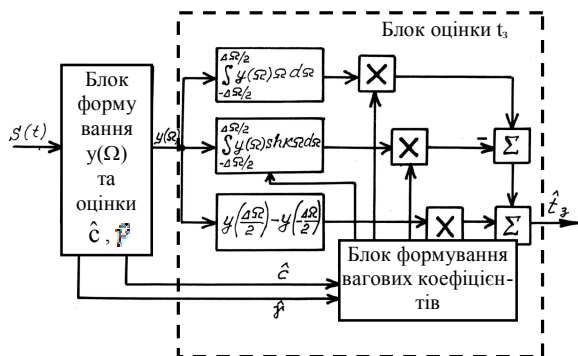


Рис. 1. Схема пристрою оцінювання t_3

Робота пристрою полягає в наступному. Прийнята реалізація радіолокаційного сигналу

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \times e^{j\omega_0 \left[t - \frac{\varphi_0(\omega_0)}{\omega_0} \right]} \times \int_{-\infty}^{\infty} G(\Omega) \epsilon^{j\left\{ \Omega \left[t - \frac{\varphi(\omega_0)}{\omega_0} \right] - n(\omega + \Omega) \right\}} d\Omega$$

надходить на блок формування лінійного фазового набігу частотних складових сигналу (блок формування $y(\Omega)$).

З виходу блоку реалізація фазового набігу $y(\Omega)$ поступає в блок оцінки групового запізнення. В цьому блоці, згідно алгоритму (8), формується оптимальна оцінка t_3 .

Ваги $k_1 - k_3$ відповідають коефіцієнтам при доданках формули (8) і визначаються у блоці формування вагів, на який поступає оцінене значення відносного інтервалу кореляції фазових флуктуацій

$$\hat{c} = 2\hat{\rho}\Delta\Omega^{-1},$$

а також відносний параметр осцилюючої кореляційної функції фазових флуктуацій "γ".

Порівняємо дисперсію помилки оптимального вимірювання групового запізнення алгоритму (8) з дисперсією помилки вимірювання t_3 по алгоритму, що не враховує кореляцію фазових флуктуацій.

Відповідно до (2), для дисперсії помилки вимірювання t_3 по алгоритму, оптимальному до некорельованих фазових флуктуацій, отримаємо співвідношення:

$$\sigma_t^2 = \frac{12\sigma_\varphi^2}{\Delta\Omega^2} \times \left\{ c - \frac{3}{2}c^2(1+c) \left[e^{-\frac{2}{c}} + 1 + c \left(e^{-\frac{2}{c}} - 1 \right) \right] \right\} \quad (11)$$

Використовуючи співвідношення (11), оцінимо виграш (В) в точності вимірювання t_3 , який забезпечується використанням запропонованого оптимального алгоритму, за допомогою виразу:

$$B = \frac{\sigma_t^2}{\sigma_{t_{\text{opt}}}^2} \quad (12)$$

Результати розрахунку В приведені на рис. 2.

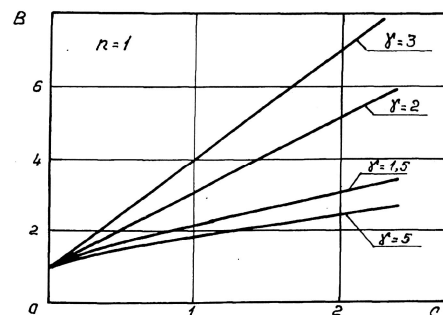


Рис. 2. Результати моделювання

З даних, приведених на рис. 2, зрозуміло, якщо $c = 1$, а "γ" змінюється у діапазоні від 2 до 3, виграш від застосування алгоритму забезпечить підвищення точності вимірювань від 3 до 4 разів.

Висновок

Отже особливістю вимірювання дальності до цілі, лоцуючої над морем в межах тропосферного

хвилеводу на відстані, більшій дальності прямої видимості, є врахування разом з некорельованих і корельованих частотних складових фазових флуктуацій відбитого від цілі сигналу в частотній області. При цьому оцінка часу запізнення відбитого сигналу при припущенні про нормальний закон розподілу фазових флуктуацій в частотній області буде незміщеною.

Використовуючи отримані співвідношення для визначення часу запізнення та дисперсії оцінки групового запізнення, синтезовано вимірювач дальності цілі за умов радіолокації цілі в ТХВ за межами дальності прямої видимості для випадку, коли при кореляційна функція фазових флуктуацій описується експоненціальною функцією.

Запропонований алгоритм оптимальної оцінки та вимірювач дальності можуть бути використані при побудові перспективних РЛС приморського базування.

Використання такого вимірювача може забезпечити підвищення точності вимірювання дальності цілі від 3 до 4 разів.

Список літератури

1. Распространение ультракоротких радиоволн: Пер. с англ. [Текст] / Под ред. Б.А. Шиллерова. – М.: Сов. радио, 1954. – 564 с.
2. Петрушенко Н.Н. К вопросу о выборе позиции радиотехнической системы приморского базирования. / Петрушенко Н.Н., Карлов В.Д., Лукашук Е.В., Челпанов А.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ, 2008 – Вип. 2(6). – С. 10-14.
3. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью [Текст] / Л.М. Лобкова – М.: Радио и связь, 1991. – 256 с.
4. Петрушенко М.М. Аналіз флуктуацій інформативних параметрів радіолокаційних сигналів при їх розповсюдженні над морем. / Петрушенко М.М., Челпанов А.В.,

Карлов В.Д.// Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4(16). – С. 122-126.

5. Петрушенко Н.Н. Особенности измерения дальности целей, лоцируемых под малыми углами места над морем / Н.Н. Петрушенко, О.Б. Котов, В.Д. Карлов, Е.А. Меленті // Тези доповідей Восьмої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: ХУПС. – 2012. – С. 293

6. Петрушенко М.М. Аналіз флуктуацій інформативних параметрів радіолокаційних сигналів при їх розповсюдженні над морем. / Петрушенко М.М., Челпанов А.В., Карлов В.Д.// Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 4(16). – С. 122-126.

7. Петрушенко М.М. Результаты экспериментальных исследований параметров эхо-сигналов в радиотехнических системах приморского базирования. / Петрушенко М.М., Карлов В.Д., Карлов Д.В., Мисайлов В.Л. //Тези доповідей 10 науково-технічної конференції „Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах”. – Феодосія, 2-3 вересня 2010. – С. 288.

8. Карлов В.Д. Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів, відбитих від місцевих предметів в умовах аномальної рефракції / В.Д. Карлов, Г.В. Певцов, Н.Н. Петрушенко, В.Л. Мисайлов // Науково-технічний журнал. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил – 2011. – Вип. 1(5). – С. 69-72.

9. Карлов В.Д. Деякі аспекти локації маловисотних цілей за межами дальності прямої видимості над морем / В.Д. Карлов, Є.О. Меленті, О.К. Шейгас, В.М. Петрушенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1 (108). – С. 66-69.

10. Карлов В.Д. Особливості вимірювання дальності до цілі, яка здійснює політ в межах тропосферного хвилеводу над морем / В.Д. Карлов, Є.О. Меленті, С.В. Кукобко, В.М. Петрушенко // Системи озброєння і військової техніки. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 3 (31) – С. 81-85.

Надійшла до редколегії 7.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ДО ЦЕЛИ ПРИ ЕЕ РАДИОЛОКАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ ТРОПОСФЕРНОГО ВОЛНОВОДА НАД МОРЕМ

В. Д. Карлов, А. Н. Артеменко, О.В. Струцинский, И.М. Пичугин

В статье предложен алгоритм оптимального оценивания времени запаздывания сигнала при радиолокации маловысотных целей в тропосферном волноводе за пределами дальности прямой видимости. Алгоритм учитывает наличие фазовых флуктуаций отраженных от маловысотных целей сигналов, которые обусловлены средой распространения радиоволн. В работе представлена структурная схема устройства, реализующего предложенный алгоритм оценивания времени задержки. При этом корреляционная функция фазовых флуктуаций описывается осциллирующей функцией. Расчеты, представленные в статье, свидетельствуют о том, что использование предложенного измерителя дальности позволяет повысить точность оценивания дальности от 3 до 4 раз.

Ключевые слова: измеритель дальности, фазовые флуктуации, корреляционная функция, дисперсия.

OPTIMIZATION OF DIMENSIONAL MEASUREMENT TO THE PURPOSE AT ITS RADAR LOCATION UNDER THE TROPOSPHERIC WAVEGUIDE OVER THE SEA

V.D. Karlov, A.N. Artemenko, O.V. Strucinsky, I.M. Pichugin

The algorithm of optimal estimation of the signal delay time for the radar of low-altitude targets in the tropospheric waveguide beyond the range of line-of-sight is proposed. The algorithm takes into account the presence of phase fluctuations of signals reflected from low-altitude targets, which are caused by the propagation medium of radio waves. The paper presents a block diagram of a device that implements the proposed algorithm for estimating the delay time. In this case, the correlation function of phase fluctuations is described by an oscillating function. The calculations presented in the article indicate that the use of the proposed range meter makes it possible to increase the accuracy of the range estimation from 3 to 4 times.

Keywords: range meter, phase fluctuations, correlation function, variance.

УДК 004.457

М.О. Малахова, С.М. Рева, А.І. Пермінов, М.Г. Стервоєдов

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ, ДІАГНОСТИКИ ТА ВІДЛАГОДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОЮ УСТАНОВКОЮ

Вдосконалено метод визначення параметрів, діагностики та відлагодження комп'ютеризованої системи управління рентгенівською установкою за рахунок можливості проведення комплексних робіт по її діагностиці та відлагодженню шляхом розробки механізму одночасної взаємодії кількох сервісних програм з системою, що дозволяє зменшити затрати часу на проведення пуско-налагоджувальних робіт.

Ключові слова: метод, визначення параметрів, діагностика, відлагодження, комп'ютеризована система управління, рентгенівська установка.

Вступ

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я кількість людей, що хворі на туберкульоз, у світі щорічно зростає на десять мільйонів. Щоденно ця хвороба забирає близько п'яти тисяч людських життів [1]. Епідемія туберкульозу в Україні зареєстрована цією авторитетною організацією починаючи з 1995 року. За останніми даними ситуація починає стабілізуватися [2], але наша країна і досі займає одне з перших місць у статистиці захворюваності серед країн Європи. З огляду на важку епідеміологічну ситуацію в Україні та світі, постійно зростають вимоги до засобів діагностики туберкульозу [3]-[5], так як ефективність боротьби з епідемією безпосередньо залежить від своєчасності виявлення захворювання.

Сьогодні основним методом ранньої діагностики залишається флюорографічне обстеження, ситуація з яким в нашій країні досить складна. Так за даними комітету з ядерного регулювання України в медичних установах використовується понад 72 % застарілого терапевтичного та діагностичного обладнання [6], а у багатьох населених пунктах його взагалі немає. Використання зношеного або морально застарілого медичного обладнання становить небезпеку для здоров'я пацієнтів [7], з огляду на те, що в основній своїй масі абсолютно не відповідає вимогам міністерства охорони здоров'я, що пред'являються до цього устаткування. Недоліками даних апаратів є низькі діагностичні можливості, висока променеве навантаження на пацієнта, яке в 3-8 разів вище у порівнянні зі звичайною рентгенографією, велика витрата срібловмістних матеріалів, труднощі фотографічної обробки плівки, великий відсоток технічного браку і незручності, пов'язані з архівуванням і відтворенням зображення.

Поповнення, заміна і оновлення [8] парку медичного обладнання, його подальше сервісне обслуговування — процедура досить дорога, але необхідна. Тому існує тенденція централізації медичних установ, коли устаткування концентрується в спеціалізованих центрах.

Дуже часто вихід з ладу рентгендіагностичного обладнання в такому центрі призводить до затримки або й повної зупинки проведення діагностичних процедур серед населення в досить великому територіальному окрузі.

Можливим шляхом покращення медичної діагностики в умовах обмеженого фінансування є впровадження вітчизняного та модернізація існуючого рентгенодіагностичного устаткування [9].

В Україні одним з провідних виробників медичних діагностичних апаратів є завод рентгенівського обладнання «Квант», який протягом останніх 15 років комплектує свої діагностичні комплекси пристроями живлення та управління серії ІЕС [10], що розроблені в лабораторії інтелектуальних електронних систем кафедри електроніки та управляючих систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Кількість введеного в експлуатацію устаткування сягнула сотень одиниць. Виробництво та масове впровадження цих пристроїв живлення та управління потребує чіткої організації сервісного обслуговування.

Метою цієї роботи є розробка методу визначення параметрів, діагностики і відлагодження комп'ютеризованих систем управління рентгенодіагностичним обладнанням за рахунок можливості проведення комплексних робіт з діагностики та відлагодження шляхом розробки механізму одночасної взаємодії кількох сервісних програм з системою, що дозволяє зменшити затрати часу на проведення пуско-налагоджувальних та ремонтних робіт.

Основна частина

Основою системи управління рентгенівського апарату є контролер, який виконує функції діагностики, контролю параметрів та управління роботою окремих функціональних систем та складових частин апарату. Взаємодія контролера з оператором здійснюється за допомогою пульта управління, інтерфейс якого орієнтований на виконання необхідних діагностичних функцій і не передбачає отримання технічної інформації про стан обладнання, тим паче, не передбачає функцій тестування, налагоджування та налаштування. Для взаємодії з технічним персоналом до контролера зазвичай під'єднується комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням, яке дозволяє виконати відповідні технологічні процедури. Таким чином можна виконати весь комплекс ремонтних, пусконаладжувальних та регламентних робіт, а саме: проводити зовнішнє командне керування та визначення параметрів системи; проводити роботу з енергозалежною пам'яттю контролера; виконувати зчитування, побудову та перегляд осцилограм; проводити налаштування каналів вимірювання та драйверу управління обертянням анода; перевіряти роботу системи розжарювання катода; виконувати калібрування емісійних характеристик рентгенівської трубки; керувати системою за допомогою віртуального пульта управління тощо.

Кожна специфічна задача діагностики та налагоджування того чи іншого елемента системи вирішується окремою сервісною програмою, що побудована за принципом роботи «майстра», що керує діями технічного персоналу, задає послідовність виконання операцій, підказує та роз'яснює отримані результати тестування. Але досить часто оператору необхідно виконувати одночасно кілька дій, які не суперечать одна одній, але відрізняються своєю суттю. Тому важливою вимогою при проектуванні програмного забезпечення було створення механізму одночасної взаємодії кількох сервісних програм з контролером управління рентгенівською установкою. Крім того, особливості окремих систем управління та живлення вимагають наявності процедури ідентифікації під'єданого обладнання та автоматичного конфігурування сервісного пакету програмного забезпечення для роботи з конкретним типом пристрою.

Для вирішення поставлених задач, окрім самих сервісних програм, що призначені для контролю, діагностики та відлагодження окремих функціональних систем, було розроблено менеджер пакету програм (рис.1), основними завданнями якого стали: ідентифікація комп'ютеризованої системи управління та її програмного забезпечення, формування за

результатами ідентифікації пакету програм, які необхідні для проведення технічних робіт на цьому комплекті обладнання, моніторинг стану системи управління рентгенівською установкою, координація роботи пакету сервісних програм, а також контроль наявності зв'язку зі спеціально розробленою програмою FxServer, що відповідає за організацію одночасної взаємодії менеджера пакету та сервісних програм з контролером комп'ютеризованої системи управління рентгенівською установкою.



Рис. 1. Use-case діаграма менеджера програмного пакету

Обмін даними між усіма складовими частинами сервісного пакету програм та контролером системи управління організовано через послідовний канал зв'язку, що відповідає апаратному стандарту RS232 та протоколу обміну «Ехо-1» [11] (рис.2). Використання стандарту RS-232 зумовлене перш за все віддаленістю розташування рентгенівської установи від оператора комп'ютера (технічного спеціаліста), робоче місце якого зазвичай розраховується у окремій кімнаті, що спеціально обладнана та захищена від рентгенівського випромінювання. Комп'ютеризована система управління рентгенівською установкою під'єднується до одного з комунікаційних (COM) портів персонального комп'ютера за допомогою інтерфейсного адаптера. При організації обміну даними контролер системи управління виконує роль «веденого» пристрою, а комп'ютер, в якому розгорнуто пакет сервісних програм, є «провідним» пристроєм. Обмін здійснюється за принципом «запит-відповідь», тобто комп'ютер передає команду-запит, а контролер відповідає на отриману команду.

Порядок взаємодії з програмою FxServer проілюстровано на рис. 3.

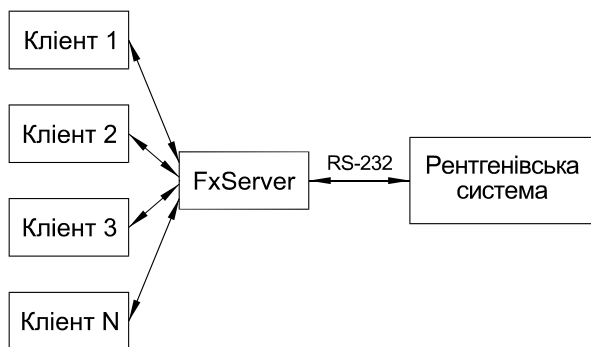


Рис. 2. Структура програмного пакету

За принципами побудови ця програма є службою Windows, запуск якої відбувається безпосередньо перед початком роботи з сервісним пакетом. Працює вона таким чином. Fxserver встановлює зв'язок з комп'ютеризованою системою управління

рентгенівською установкою (X-Ray), тобто відкриває комунікаційний порт, встановлює параметри обміну, створює об'єкт синхронізації доступу до комунікаційного порта. Для організації взаємодії з клієнтськими процесами FxServer створює в віртуальній пам'яті іменовану ділянку спільно використовуваної пам'яті (FxSharedMem) та іменованний мьютекс для синхронізації доступу до неї. У спільній ділянці пам'яті розміщується структура даних, що містить ідентифікатор самого процесу FxServer та поля для обміну дескрипторами неіменованих каналів. Далі FxServer створює два неіменованих канали (wService, rService), дескриптори яких розміщує у спільній ділянці пам'яті, та створює окремий потік (FxServer Pipe Connection Manager), що служить для обробки клієнтських запитів на встановлення з'єднання з контролером.

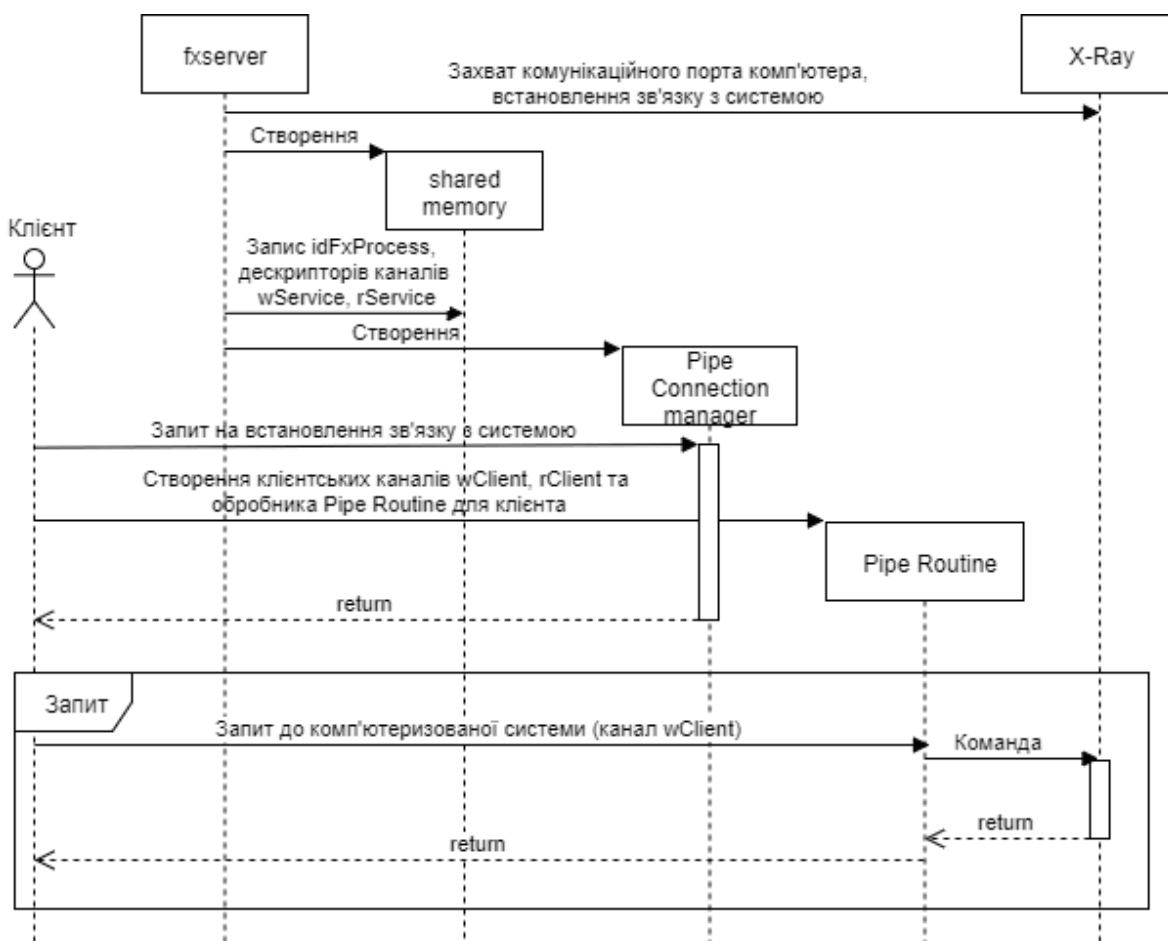


Рис.3. Діаграма послідовності

Кожен клієнт у процесі своєї ініціалізації має отримати доступ до спільної ділянки пам'яті, попередньо захопивши відповідний об'єкт синхронізації, дублювати дескриптори службових каналів wService та rService, після чого сформував запит на встановлення з'єднання та відправити його в FxServer за допомогою каналу wService. У потоці FxServerPipeConnectionManager виконується обробка цього запи-

ту, в процесі якої створюються два унікальні для кожного клієнта окремі неіменовані клієнтські канали (wClient та rClient) та унікальний для цього клієнта потік-обробник запитів на передачу даних до комп'ютеризованої системи (FxServerPipeRoutine). Дескриптори клієнтських каналів передаються до відповідного новоствореного обробника FxServerPipeRoutine та зберігаються у спільній ділянці

пам'яті. Після цього всі запити на здійснення обміну даними з контролером, що надходять за цими клієнтськими каналами, будуть оброблятися за допомогою FxServer Pipe Routine. FxServer Pipe Connection Manager відправляє у канал rService відповідь клієнтові про успішне з'єднання. Клієнт, отримавши відповідь щодо встановлення з'єднання, дублює дескриптори створених для нього клієнтських каналів, які надалі використовуватиме для обміну даними з комп'ютеризованою системою, та звільняє відповідний об'єкт синхронізації.

З цього моменту у разі необхідності клієнт своєю запитом на обмін даними з контролером системи управління та відправляє його до свого унікального каналу wClient. Відповідний обробник FxServer Pipe Routine після отримання та обробки запиту захоплює об'єкт синхронізації доступу до комунікаційного порту комп'ютера та передає команду комп'ютеризованій системі управління рентгенівською установкою, а отримавши відповідь, відправляє її до каналу rClient.

По відношенню до програми-клієнта така операція являє собою виклик функції наступного вигляду: `int Transact FxCommand (WORD len, char* cmd, char* reply)`, що надається бібліотекою FxClient, яка приховує в собі тонкощі організації взаємодії з системою через підключення до FxServer.

Проектування всіх елементів пакету програм велося з урахуванням принципу модульності, що дає можливість при необхідності докорінно змінювати склад пакету програм та механізм взаємодії між його складниками. Наприклад, для адаптації програм клієнтів до роботи в комп'ютерній мережі необхідно лише змінити бібліотеку FxClient, що має у такому разі вести обмін зі службою FxServer не через службові канали Windows, а через сокети, а FxServer Pipe Connection Manager має бути перетворено на web-сервер. Такий підхід дає змогу розширювати функціональні можливості сервісного програмного пакету, створювати та інтегрувати до його складу нові клієнтські програми, а також адаптувати пакет до умов його застосування.

Програмний пакет IEC FX Tools призначений для проведення діагностики і налаштування комп'ютеризованих систем управління рентгенівськими пристроями серії IEC. Загальний вигляд екрану комп'ютера під час сеансу роботи показано на рис. 4.

У верхньому полі вікна програми знаходиться монітор стану комп'ютеризованої системи управління рентгенівською установкою, де виводяться повідомлення про поточний стан системи та інформація щодо неполадок. Там також знаходяться кнопка виклику програми `Consol.exe` для здійснення командного управління та кнопка виходу з програми. Ниж-

че наводиться інформація про тип системи та її програмне забезпечення. Далі, у вигляді набору кнопок з зображенням відповідних піктограм та текстовими описами, формується меню сервісних програм, які обрані менеджером для роботи з даним типом пристрою та версією програми. Для запуску того чи іншого додатка оператору необхідно натиснути на потрібну піктограму.

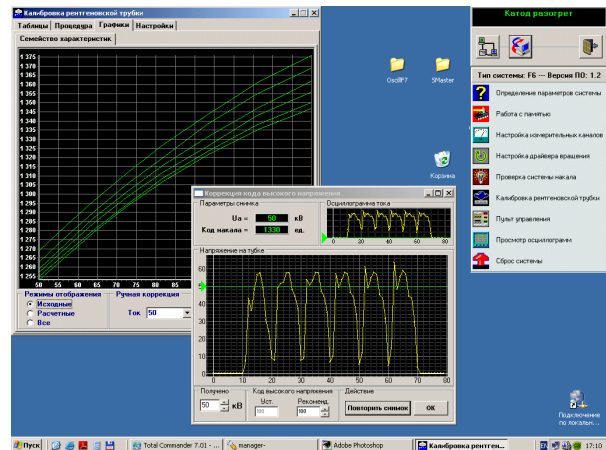


Рис. 4. Зовнішній вигляд вікон програм пакету IEC FX Tools

Після запуску менеджера пакету програм ініціюється запуск програми FxServer, проводиться ідентифікація комп'ютеризованої системи управління рентгенівською установкою, у правій частині екрану монітора відкривається робоче вікно програми, в якому формується меню додатків, обраних для роботи з комп'ютеризованою системою даного типу та версією програмного забезпечення. Зовнішній вигляд вікна програми представлений на рис. 5.



Рис. 5. Зовнішній вигляд робочого вікна програми Manager.exe

Висновки

Дана робота була присвячена розробці методу визначення параметрів, діагностики та відлагодження комп'ютеризованих систем управління рентгенодіагностичним обладнанням за рахунок можливості проведення комплексних робіт з діагностики та відлагодження шляхом розробки механізму одночасної взаємодії з системою кількох сервісних програм, що дозволило зменшити затрати часу на проведення пуско-налагоджувальних та ремонтних робіт. Для вирішення поставленої мети було розроблено ряд сервісних програм та процедур, які дають можливість оператору одночасно користуватися цими програмами, визначати параметри, проводити діагностику та налагоджувати комп'ютеризовані систем управління рентгенодіагностичним обладнанням. Програмний пакет дозволяє виконати весь комплекс ремонтних, пуско-налагоджувальних та регламентних робіт. Він пройшов тестування та протягом кількох років активно використовується сервісними центрами для обслуговування існуючого рентгенівського обладнання серії ІЕС. Принцип модульності програмного забезпечення дає можливість подальшого розширення проекту з метою його вдосконалення та використовуватися для нових моделей комп'ютеризованих систем управління рентгенівським обладнанням цієї серії

Список літератури

1. Tuberculosis: fact sheet// Media centre. World Health Organization. - March 2017. - URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs104/en>
2. Ukraine Tuberculosis profile //World Health Organization. - URL: <http://www.who.int/tb/country/data/profiles/en>.
3. Berkhout, W.E. The ALARA-principle. Backgrounds and enforcement in dental practices [Text] / W.E. Berkhout // Ned Tijdschr Tandheelkd(in Dutch). - 2015 May. - Vol. 122. - Issue 5. - pp. 263-270.

4. Voisin, P. Standarts in biological dosimetry: A requirement to perform an appropriate dose assessment [Text] / P.Vosin // Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2015. Vol. 793. pp. 115-122.

5. Towards patient dose optimization in digital radiography [Text] / G. Andria, F. Attivissimo, G. Guglielmi, A.M.L. Lanzolla, A. Maiorana, M. Mangiantini // Measurement. - 2016 Feb. - Vol. 79. - pp. 331 - 338.

6. Пінчук, І.П. Досвід проведення перевірки рентгенодіагностичних апаратів лікувально-профілактичних закладів та засобів індивідуального захисту на відповідність вимогам Держстандарту на прикладі Харківської області [Текст] / І.П. Пінчук, В.А. Калініченко // Український радіологічний журнал. - 2011. - №3. - С. 354-356.

7. Стадник, Л.Л. Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней [Текст] / Л.Л. Стадник, О.Ю. Шалена, О.В. Носик // Радиационная гигиена. - 2014. - Т. 7. - № 4. - С. 84-88.

8. Рева, С.Н. Анализ зависимости эквивалентной дозы облучения пациентов от формы напряжения питания рентгеновской трубки [Текст] / С.Н. Рева, М.О. Малахова, Л.С. Сорока // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії Інформатизації. Науковий журнал. - Луганськ, 2012. - № 1(26). - С. 17-23.

9. Рева, С.М. Дослідження залежності дози опромінення пацієнтів від форми напруги живлення рентгенівської трубки [Текст] / С.Н. Рева, М.О. Малахова // Східно-Європейський журнал передових технологій. - Харків, 2016. - №5/9 (83). - С. 12-19.

10. Рентгеновский высокочастотный источник питания ИЕС-F7 [Электронный ресурс] : Общия информация / Лаборатория интеллектуальных электронных систем. - URL: <http://iec-lab.com.ua/group.php?id=8&cid=6>.

11. Рентгеновский высокочастотный источник питания ИЕС-F7 [Электронный ресурс] : Стандарты / Лаборатория интеллектуальных электронных систем. - URL: <http://iec-lab.com.ua/viewpage.php?id=32&gid=9&cid=6>.

Надійшла до редколегії 11.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В.Литовченко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ДИАГНОСТИКИ И ОТЛАДКИ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ УСТАНОВКОЙ

М.О. Малахова, С.Н. Рева, А.И. Перминов, Н.Г. Стервоедов

Усовершенствован метод определения параметров, диагностики и отладки компьютеризированной системы управления рентгеновской установкой за счет возможности проведения комплексных работ по диагностике и отладке системы путем разработки механизма одновременного взаимодействия нескольких сервисных программ системой, что позволяет уменьшить затраты времени на проведение пуско-наладочных работ.

Ключевые слова: метод, определение параметров, диагностика, отладка, компьютеризированная система управления, рентгеновская установка.

METHOD OF PARAMETERS DETERMINATION, DIAGNOSTICS AND DEBUGGING OF COMPUTERIZED CONTROL SYSTEM OF X-RAY INSTALLATION

M.O. Malakhova, S.M. Reva, A.I. Perminov, M.G. Styervoyedov

The method of parameters determination, diagnostics and debugging of computerized control system of xray has been improved. It has been achieved through the possibility of carrying out complex work on systems diagnostics and debugging by developing a mechanism for simultaneous interaction of several service programs with system, that allows to reduce the time expenditure for the pre-commission and debugging works.

Keywords: method, parametrs determination, diagnostics, debugging, computerized control system, X-ray installation.

УДК 629.429.3:621.313

Р.Ш. Нуриев

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

В работе рассмотрены вопросы создания подвижного состава на базе электропоезда ЭКр1 «Тарпан»: предложен новый двигатель и его система управления, произведен расчет по наклону кузова в кривых участках пути, а также рассмотрено применение накопителей энергии для данного электропоезда.

Ключевые слова: электропоезд, электроподвижной состав, тяговый привод, синхронный тяговый двигатель, система наклона кузова, накопитель энергии.

Введение

Актуальность работы. В настоящее время большая часть пассажироперевозок на территории Украины осуществляется железнодорожным транспортом. В большей своей части подвижной состав устарел как морально, так и технически. Опираясь на то, что часть электрифицированных участков работает на постоянном токе, а часть на переменном, наиболее целесообразным будет создание двухсистемного электропоезда.

По истечении всех 4 лет эксплуатации HRCS2 на железных дорогах Украины, можем сделать вывод, что он сконструирован для участков с минимальными кривыми профилями пути, и имеет некоторые конструкционные особенности, которые не учитывают использование данного электропоезда в условиях нашего климата. Однако скоростные показатели все же остаются на высоком уровне. ЭКр1 «Тарпан» производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» (КВСЗ) учитывает все особенности эксплуатации электропоездов на железных дорогах Украины [1]. Основные его преимущества заключаются в низкой стоимости, благодаря производственным мощностям расположенным на территории нашей страны, а так же пассажироместимости, что на сегодняшний день является одним из ключевых факторов, однако он уступает в ряде показателей Hyundai Rotem. Поэтому разработка концептуального проекта скоростного электропоезда является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы: создание концептуального проекта нового электропоезда, на базе синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, системой наклона кузова и накопителем энергии.

Обзор и анализ последних достижений

Постоянный рост пассажирских, пригородных и грузовых перевозок обусловлен тем, что железно-

дорожные перевозки являются более дешевыми, по сравнению с другими видами транспорта, а также в некоторых странах являются разумной альтернативой самолётам или автотранспорту [2].

Впервые регулярное движение высокоскоростных поездов началось в 1964 году в Японии по проекту Синкансэн. В 1981 году поезда ВСПС стали курсировать и во Франции, а вскоре большая часть западной Европы, включая даже островную Великобританию, оказалась объединена в единую высокоскоростную железнодорожную сеть. В начале XXI века мировым лидером по развитию сети высокоскоростных линий, а также эксплуатантом первого регулярного высокоскоростного Маглева стал Китай.

В настоящее время на территории Европы и остального мира неоспоримыми лидерами в области высокоскоростного железнодорожного движения являются Япония, Китай, Корея, Германия, Франция, Италия, Швейцария, именно в этих странах применяются все современные достижения в области локомотивостроения и железнодорожной инфраструктуры [2]. В основном высокоскоростные поезда применяются для пассажироперевозок, однако существуют разновидности, предназначенные для грузоперевозок. Так, французская служба La Poste на протяжении 30 лет применяла специальные электропоезда TGV, служившие для перевозки почты и посылок (их эксплуатация завершена в июне 2015 года из-за сократившегося объема почтовых отправок).

Рассмотрим актуальные высокоскоростные электропоезда следующих моделей: AGV (Alstom, Франция), ICE-3 (Siemens, Германия), E-6 Shinkansen (Kawasaki HI, Япония).

AGV (произносится «А-Же-Ве» от фр. Automotrice à grande vitesse — «высокоскоростной самодвижущийся вагон», рис. 1) — скоростные поезда 4-го поколения компании Alstom, которые предполагается использовать во Франции вместо эксплуатирующихся сейчас TGV. Его основные особенности: син-

хронний двигатель нового покоління з постійними магнітами; особе розположення тележек поезда; збільшення показателів безпеки руху зменшенням кількості тележек в поїзді.



Рис. 1. Електропоезд AGV

Intercity-Express (англ. «Міжгородній експрес»), також відомий під скороченням ICE, рис. 2) — мережа високошвидкісних поїздів, в основному розповсюджена в Німеччині, розроблена компанією Deutsche Bahn. Сучасне покоління поїздів Intercity-Express, ICE 3, розроблені консорціумом з компаній Siemens AG і Bombardier під загальним керівництвом Siemens AG. Її основні особливості: найбільш висока потужність електропоезда за критеріями (потужність — кількість вагонів); найбільша ємність пасажирів (в основній частині).



Рис. 2. Електропоезд ICE3

Е6 (рис. 3) — високошвидкісний електропоезд змінного струму, експлуатуючий на лініях Тохокі та Акіта високошвидкісної мережі японських залізниць Синкансен. Обслуговує фирмовий швидкісний поїзд Супер Комачі. До впровадження електропоезда Е6 на цьому ж маршруті працював поїзд Комачі, розвивавший 275 км/ч.



Рис. 3. Електропоезд Shinkansen E6

Впровадження Е6 дозволило збільшити максимальну швидкість поїзда до 320 км/ч. Її основні особливості: найбільш середнє прискорення; найвищий показник аеродинамічних характеристик в своєму класі; наявність унікального аеродинамічного гальмування.

Розглянувши зарубіжні високошвидкісні електропоезди, можна зробити висновок, що вони мають високі швидкісні та технічні показники, але в повній мірі не підходять для умов експлуатації на території України [3]. Тому пропонується розглянути електропоезд вітчизняного виробництва, з метою пошуку найбільш підходящого, за наших умов, базової моделі електропоезда.

ЭКр1 — двохсистемний швидкісний електропоезд, був спроектований та побудований Крюківським вагоннобудівельним заводом, в 2011-2012 роках, з використанням обладнання спроектованого ВУЗами України, а також за консультації європейських партнерів. 80% комплектуючих та матеріалів вітчизняного виробництва. За рахунок роботи по двохсистемному електроживленню, електропоезд може застосовуватися на всіх електрифікованих ділянках України. Поїзд має в своєму складі 7 причепних та 2 головних моторних вагонів. Особливістю є пасажирський відділок в головних вагонах. Кузови вагонів виготовлені з нержавіючої сталі. Конструкція вагонів поїзда в повній мірі відповідає вимогам санітарних норм по ергономіці, мікроклімату, освітленості, шуму та вібрації, а також вимогам пожежної безпеки на всі внутрішні та зовнішні матеріали. Інтер'єр салону виконаний з витривалих, екологічно чистих, важкогорючих матеріалів.

Ціна двохсистемного швидкісного дев'ятивагонного електропоезда для міжрегіональних перевезень виробництва КВСЗ становить 200 000 000 гривень з НДС (166 667 000 гривень без НДС або 7 700 000 доларів США). Ціна найближчого конкурента ЭКр1 на українських залізничних доріжках, корейського HRCS2 становить 29 165 000 доларів США без НДС, а з урахуванням вартості запчастин та документів, загальна вартість корейського електропоезда становить 30 700 000 доларів США. Це 36 840 000 доларів США з НДС проти 7,7 млн доларів США в КВСЗ.

Розглянемо основні характеристики ЭКр1 «Тарпан» які наведені в табл. 1. На електропоезді встановлені асинхронні двигачі ТМФ 59-39-4 характеристики якого наведені в табл. 2. Цей тип двигачів встановлюється на європейських електропоездах серії: ED74 польських залізниць та EJ 480 чеських залізниць.

Для оптимального вибору проведемо порівняльний аналіз тягових двигачів різних типів реалізованих в електроподвижному складі, і

применимых к ЭКр1 [2-6]. Примем следующие показатели, позволяющие качественно оценить рассматриваемые тяговые двигатели:

- энергетические показатели,
- массо-габаритные показатели,

- показатели, характеризующие рабочие свойства,

- показатели, характеризующие надежность и ремонтпригодность.

Сравнительный анализ приведен в табл. 3.

Таблица 1

Характеристики ЭКр1 «Тарпан»

Параметр	Обозначение
Род тока	Переменный 25 кВ, постоянный 3кВ
Ширина пути	1520 мм
Конструкционная скорость	200 км/ч
Общая длина 9ти-вагонного электропоезда	230,0 м
Длина промежуточного вагона	26,696 м
Ширина	3,420 м
База вагона	19,0 м
Высота вагона	4,4 м
Материал обшивки кузова	Нержавеющая сталь
Тип тягового двигателя	Асинхронный двигатель
Срок службы вагонов	50 лет
Количество мест для сидения	612
Количество мест первого класса	128
Количество мест второго класса	370
Количество мест третьего класса	112

Таблица 2

Характеристики асинхронного двигателя ТМФ 59-39-4

Параметр	Обозначения
Номинальное напряжение, В	398
Мощность, кВт	500
Ток якоря в часовом режиме, А	885
Частота, Гц	57
Частота вращения, об/хв	1698
Максимальна частота вращения, об/мин	5125

Таблица 3

Сопоставление результатов анализа двигателей разных типов

Критерии	Синхронный двигатель с электромагнитным возбуждением	Синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов	Реактивно-индукционный двигатель	Двигатель с поперечным полем
Коэффициент полезного действия	±	+	+	+
Масса и габариты	-	+	±	+
Удельная мощность	-	+	±	+
Удельный момент	-	+	±	+
Перегрузочная способность	+	+	+	+
Пульсации момента	+	+	-	-
Возможность работы в аварийных режимах	±	-	±	+
Возможность электрического торможения	+	+	±	±
Электромагнитная совместимость	±	±	±	±
Надежность и ремонтпригодность	-	+	+	+

Новая концепция

Как видно из табл. 3 наиболее рациональным типом тяговых двигателей для скоростного подвижного состава является - синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Синхронные двигатели, которые по ряду показателей превосходят асинхронные двигатели, и по мнению многих исследователей, являются перспективными, в последнее время привлекают к себе внимание передовых инженерных центров, работающих в области электрической тяги [5, 6].

Как показал опыт создания таких двигателей различных типов [5, 6] (синхронный двигатель с электромагнитным возбуждением, синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, реактивно-индукторный двигатель, двигатель с поперечным полем), каждый из типов имеет свои пре-

имущественные области применения в зависимости от типа подвижного состава и мощности [7-14]. Решение задачи многокритериальной оптимизации должно базироваться на апробированной задаче анализа, позволяющего установить достоверную зависимость между критериями оценки и параметрами тягового двигателя при наложенных ограничениях [3].

По результатам проведенного анализа для дальнейших исследований выбран синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов [5-22].

Для расчета тягового синхронного двигателя был разработан программно-алгоритмический комплекс проектирования тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов [15-18]. Результаты расчета параметров тягового двигателя приведены в табл. 4.

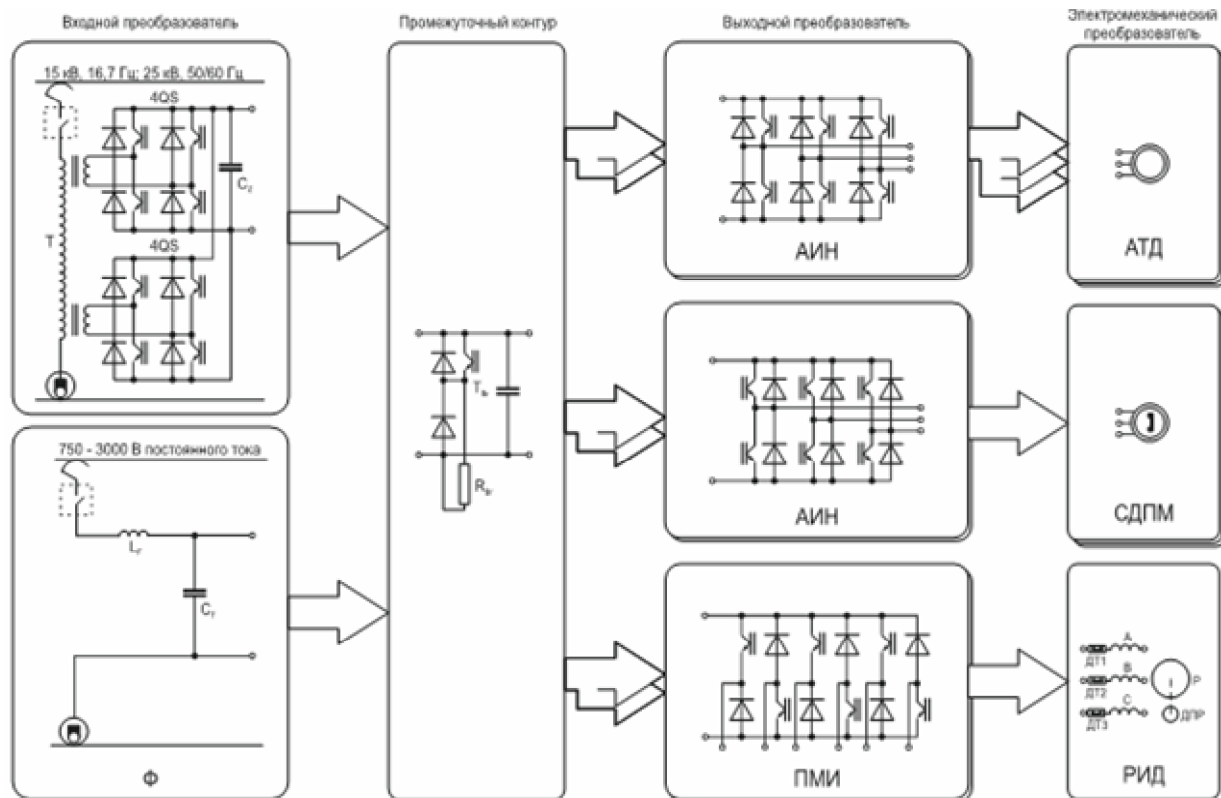


Рис. 4. Перспективная система электромеханического преобразования энергии электроподвижного состава

Таблица 4

Результаты расчета тягового двигателя

Основные характеристики двигателя	
Номинальная мощность	500 кВт
Номинальное линейное напряжение	398,0 В
Номинальный фазный ток	803,7 А
число фаз	3
КПД в номинальном режиме	0,971
Коэффициент мощности в номинальном режиме	0,906
Коэффициент мощности в режиме максимальной частоты вращения	0,997
Номинальная частота вращения	1698 об/мин
Максимальная частота вращения	5125 об/ мин

Основным направлением развития тягового двигателя электроподвижного состава является снижение затрат жизненного цикла электродвижущая сила (ЭДС). Затраты жизненного цикла состоят из затрат на производство тягового двигателя и затрат на эксплуатацию. Учитывая длительный цикла эксплуатации электроподвижного состава, затраты на его производство несравненно ниже затрат на эксплуатацию. Поэтому современные тенденции развития тягового двигателя строятся на снижении затрат на эксплуатацию электроподвижного состава.

Расходы на эксплуатацию состоят из затрат на энергоресурсы, необходимые для работы электроподвижного состава, и расходы на обслуживание и ремонт. Синхронный двигатель имеет большое количество преимуществ перед другими видами тяговый двигатель (ТД), ввиду простоты своего исполнения, и минимальных затратах на ремонт при его эксплуатации.

В настоящее время широкое распространение получили системы питания тягового двигателя на основе (ПП) с промежуточным контуром постоянного напряжения (рис. 4).

В качестве входного преобразователя для ЭДС переменного тока используется трансформатор совместно с 4-qs преобразователем, для ЭДС постоянного импульсный регулятор напряжения. Задача входного преобразователя - преобразование входного напряжения в стабилизированное постоянное напряжение в промежуточном контуре.

Промежуточный контур представляет собой систему пассивных и активных фильтров, обеспечивающих электромагнитную совместимость системы в целом. В ряде конструкций в промежуточный контур введено делитель напряжения, позволяет последовательно включать несколько выходных ПП.

Выходной преобразователь представляет собой систему питания и управления тягового двигателя. Его тип зависит от типа тягового двигателя. Для асинхронного двигателя и синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов применяются автономные инверторы напряжения реализуют как режим регулирования одноразовой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1-4] так и режимы регулирования с пространственно-векторной ШИМ. Для питания каждой из фаз ВД, двигателя с поперечным полем и АИД применяются полумостовые инверторы с ограничением тока в фазе. Питание АО осуществляется по групповой, в основном, тележечной схеме, при которой от одного выходного ПП питаются все тяговые двигатели тележки (2 или 3). Для других тяговых двигателей реализуется индивидуальное питание, один выходной ПП питает один тяговый двигатель. Для улучшения гармонического состава напряжения асинхронного тягового двигателя в режиме однократной ШИМ [1-4] рядом авторов

предлагается параллельная работа нескольких автономных инверторов с чередованием фаз на тяговом двигателе [1-4].

При применении синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов возможно только индивидуальное включение выходного преобразователя - один преобразователь - один тяговый двигатель. В качестве исходного преобразователя используется аналогичный по схеме инвертор напряжения, как и для асинхронного тягового двигателя.

Такие технические решения позволяют унифицировать конструкции ЭДС разного рода тока и с различными типами тягового двигателя [7-10].

Предлагается модернизировать конструкцию поезда путем оборудования его механизмом наклона кузова, который обеспечит увеличение скорости прохождения кривых участков рельсового пути. Об эффективности применения технологии наклона кузовов для скоростного пассажирского движения свидетельствует успешная эксплуатация в 15 странах мира более 60 типов поездов, созданных 10 ведущими мировыми производителями. Как силовой привод систем наклона кузовов этих поездов используются гидравлические, пневматические и электромеханические системы [11]. Гидравлическая система зависит от погодных условий, экологически несовершенна из-за возможности утечек, ее конструкция, эксплуатация и ремонт относительно сложные; пневматическая система не обеспечивает должной производительности; электромеханическая система, будучи наиболее перспективной, не обеспечивает должного уровня безопасности движения ввиду отсутствия самовозврата механизма наклона.

На рис. 5 приведены природные тяговые характеристики двигателя электромагнитного типа, полученные при различной МРС в его обмотке, а также нагрузочная кривая, соответствующая принятым расположению линейного двигателя и конфигурации исполнительного механизма.

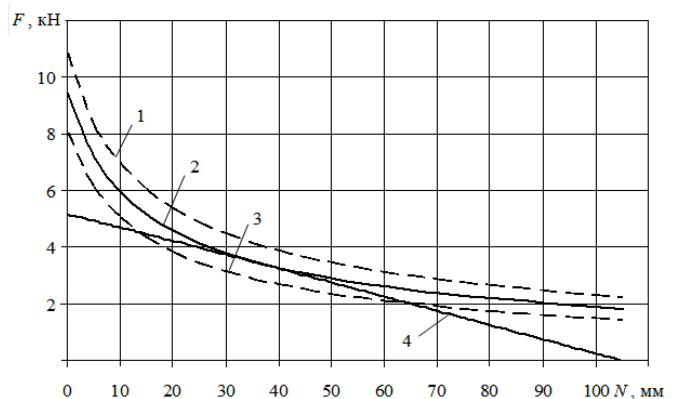


Рис. 5. Характеристики механизма наклона кузова
1 – тяговая при МРС в обмотке 11000 А,
2 – тяговая при МРС в обмотке 9000 А, 3 – тяговая при МРС в обмотке 8000 А, 4 – нагрузочная кривая

Как видно из рисунка, на участке рабочего хода двигателя, соответствующего рабочего зазора 28 - 44 мм, магнитодвижущая сила в обмотке может поддерживаться на уровне 11 кА, на участках 0 - 28 и 44 - 105 мм требуется снижение величины МРС путем широтно-импульсного регулирования по помо-

щью полупроводникового преобразователя энергии прямоходового типа [22, 23].

Общая схема экипажа, оборудованного механизмом наклона кузова на базе линейных электромеханических преобразователей энергии, представлена на рис. 6.

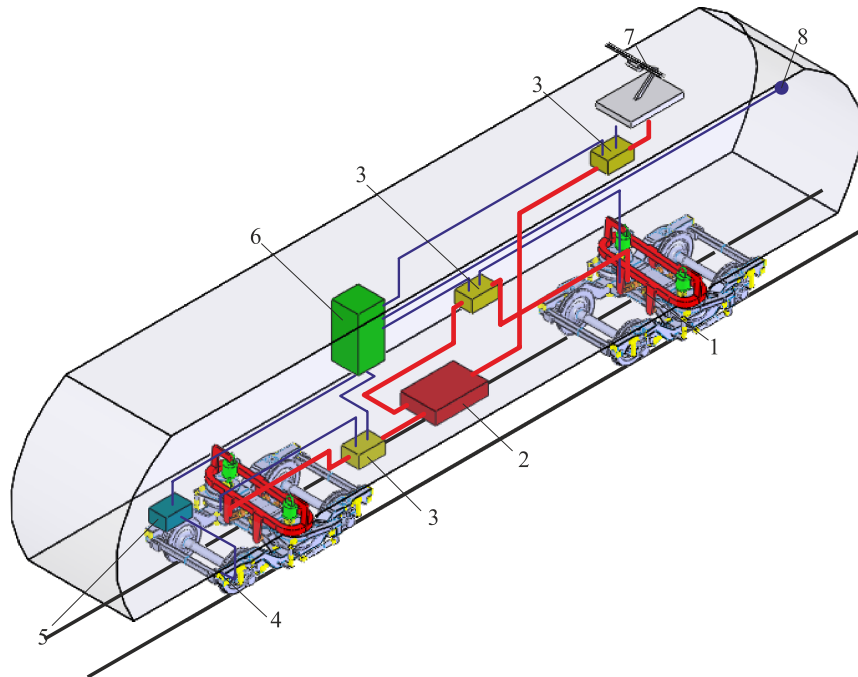


Рис. 6. Концепция компоновки экипажа, оснащенного механизмом наклона кузова:

- 1 – привод наклона кузова на базе линейного электромеханического преобразователя энергии, 2 – энергоблок, 3 – блоки силовой электроники, 4 – speedометр, 5 – акселерометр / гироскоп, 6 – вычислительный модуль (включая вычислитель угла наклона, схему управления блоками силовой электроники и контроллер поездной шины), 7 – наклоняется токосъемник, 8 – интерфейс поездной шины

Предлагаемая концепция компоновки экипажа аналогичная активной системе наклона кузовов FiatSIG «Swing» [13]. Информация о скорости движения, получаемый из speedометров 4, информация о боковом ускорении, что позволяет оценить радиус кривой, а также о подъеме наружного рельса, получаемый из акселерометра / гироскопа 5, поступает на вычислительный модуль 6. На основании полученных данных, в модуле производится расчет необходимого угла наклона кузова с учетом возвышения наружного рельса. В том случае, если расчетный угол превышает максимально реализовано системой значения (7°), модуль производит команду на снижение скорости движения.

Для наклона кузова на расчетный угол, вычислительный модуль 6 формирует сигналы управления, по информационным шинам подаются на блоки силовой электроники 3, управляющие подачей энергии от энергоблока 2 на пневматические и электромеханические исполнительные механизмы тележек 1 и токоприемника 7, способного наклоняться. Информация по достигнутому углу наклона снимается с датчиков на кузове и по информационным шинам передается на блоки силовой электроники. В случае на-

рушения функционирования механизма, информация об этом передается от блоков силовой электроники на вычислительный модуль 6. Его программа предусматривает, в зависимости от уровня опасности, или ограничение функциональности механизмов, или полное их отключение при соответствующем снижении максимальной скорости движения.

На основании данных о скорости движения вычислительный модуль 6 рассчитывает значение задержки, вносимой в сигналы управления механизмами наклона следующих вагонов, на которые указанные сигналы передаются с помощью поездной информационной шины 8.

Таким образом, предложен концептуальный проект электромеханической системы для наклона кузова поезда экр1 «Тарпан». Описаны основные составляющие системы наклона. Построена модель тележки с комбинированной системой наклона кузова. Получено тяговую и нагрузочную характеристики предложенного механизма. Показано удовлетворительное их соответствие.

Использование накопителей энергии, как в тяговой сети, так и на подвижном составе железных дорог в перспективе является одним из эффективных

средств экономии энергетических ресурсов и защиты окружающей среды. Из известных на сегодняшний день четырех типов накопителей, пригодных для этих целей (двухслойные конденсаторы, литиево-ионные аккумуляторы, маховики и сверхпроводящие магниты), сейчас реализованы лишь три первых типа. Причем, на опытном образце скоростного подвижного состава – только инерционного типа, представляющего собой агрегат, который состоит из маховика цилиндрической формы, сочлененного на одном валу с электромеханическим преобразователем энергии – синхронной машиной.

Для выбора рационального типа накопителя с целью его работы в составе тягового электропривода современного скоростного подвижного состава проведем оценку и сравнение примененных на сегодняшний день накопителей по удельным энергетическим показателям. Эти показатели приведены в табл. 5.

Таблица 5
Сравнение удельных энергетических показателей бортовых накопителей для транспорта

Значение	Тип				
	EDLS	Li-I	Инерционный		
			Lirex	MDS L1	MDS L2
МДж/кг	0,02	0,026	0,03	0,037	0,08
МДж/м ³	0,6	17,3	25,7	66,7	151
кВт/кг	0,16	0,26	1,29	2,38	2,5
кВт/м ³	54	173	536	4717	4273

Анализ приведенных в табл. 5 данных показывает то, что удельные весовые энергетические показатели конденсаторных, электрохимических и инерционных накопителей имеют практически один порядок. Что касается удельных объемных энергетических показателей, то здесь инерционные в несколько раз превосходят другие типы. Такая же картина наблюдается и с весовыми, а также объемными удельными показателями мощности [24-28].

Завершая этот анализ, можно с уверенностью сказать, что инерционные накопители энергии существенным образом по своим удельным энергетическим и мощностным показателям превосходят конденсаторные и электрохимические накопители. Поэтому в качестве бортового накопителя целесообразно принять инерционный накопитель энергии с системой электромеханического преобразования энергии в виде обращенной машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковым коммутатором.

Такого рода накопитель разработан в НТУ «ХПИ» для тяговой сети Харьковского метрополитена [28].

Предложена система управления, которая программно реализует перетоки мощности в режиме тяги и торможения подвижного состава на основании логических элементов. Управление осуществляется на основании обратной связи по скорости подвижного состава с ограничениями, накладываемыми на коэффициент преобразования прерывателя и коэффициент изменения ЭДС СЭМПЭ накопителя.

Результаты решения тестовой задачи показали, что эффективность использования накопителя энергии достаточно высока - при варьируемых ускорениях в пределах 0.55...0.28 м/с² она составляет величину 0.28...0.37. Таким образом, использование накопителя дает возможность сэкономить в процессе торможения-разгона порядка 40% энергии.

Выводы

Проведен аналитический обзор современных технологий применяемых на современном скоростном электроподвижном составе эксплуатирующийся на железных дорогах мира. Отмечено, что ЭКр1 отечественного производства, перспективной конструкцией для создания скоростного электропоезда для железных дорог Украины.

Проведен сравнительный анализ тяговых двигателей различных типов реализованных в электроподвижном составе, и выбран синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, с номинальной мощностью 500 кВт, и КПД 0,971. Предложено в перспективных конструкциях электропоездов применять электромеханические системы для наклона кузова. В качестве бортового накопителя принят инерционный накопитель энергии с системой электромеханического преобразования энергии в виде обращенной машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковым коммутатором, что позволит экономить до 40% энергии.

Список литературы

1. Раків В. А. Автономні вагони і потяги // Локомотиви вітчизняних залізниць 1845 — 1955. — 2-е вид., перераб. і доп. — М.: Транспорт, 1995. — С. 485 — 492.
2. Любарский Б. Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу. — Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09. - «Електротранспорт». НТУ «ХПИ». Харків, - 2014. 368с.
3. Любарский Б.Г. Оптимизация режимов работы тягового привода на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов /Б.Г. Любарский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків: УкрДАЗТ.– 2014. – № 2(105)– С. 21–24
4. Lyubarskiy B.G., Selezionare il tipo di convertitore di energia di trazione elettrica per i treni elettrici interregionali./ Italian Science Review. 2014; 3(12). pp. 273-276.
5. Любарский Б.Г. Определение эффективности тягового привода электропоездов / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, С.Ю. Червяков // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – 2013. – № 32– С. 67–75.

6. Проектирование тяговых электрических машин / Под. Ред. М.Д. Находкина – М.: Энергия, 1976г. – 624с.
7. Лебедев Е.Д. и др. Управление синхронными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергия, 1970.- 200 с.
8. ГОСТ 12.2.056-81. ССБТ. Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. Требования безопасности -Введ. 01.01.82.
9. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.-Введ. 01.07.84.
10. ГОСТ 12.2.003-79. ССБТ. Оборудование производственное, общие требования безопасности.- Введ. 01.01.80.
11. Zolotas A. C. New control strategies for tilting trains / A.C. Zolotas, R.M. Goodall, G.D. Halikias // Supplement to Vehicle System Dynamics, 2002. – Vol. 37. – P. 171–182.
12. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение» / А.А.Камаев, Н.Г.Апанович, В.А.Камаев и др.; Под ред. А.А.Камаева.– М.: Машиностроение, 1981.– 351 с.
13. Huber V.H. The bogie-based tilt option - simplicity and flexibility / V.H.Huber // Proc Instn Mech Engrs, 1998. – Vol 212 Part F.– P. 19 – 32.
14. Wang X.M. Study of measurement system of tilting train-based on math platform / X.M.Wang, W.B.Ni, F.Li, J.H.Lin // [Spencer B.F.Jr and etc.] World forum on smart materials and smart structures technology.– Taylor & Francis Group.– London, 2008.– P. 268.
15. Goodall R.M. Active Railway Suspensions: Implementation Status and Technological Trends / R.M.Goodall // Vehicle System Dynamics.– 1997.– Vol. 28, P. 87–117.
16. Boocock D. Development of the Prototype Advanced Passenger Train / D.Boocock, B.L.King // Proc IMechE.– 1982.– Vol. 196.– P. 35–46.
17. Zolotas A.C. A Comparison of Tilt Control Approaches for High Speed Railway Vehicles / A.C.Zolotas, R.M.Goodall, G.D. Halikiast // Proc ICSE 2000, Coventry, UK.– 2000.– September.– Vol. 2.– P. 632–636.
18. Kamoshita S. A control method for hybrid tilting system using tilting beams and air spring inclination / S.Kamoshita, K.Sasaki, H.Kakinuma etc.// QR of RTRI, 2007.– Feb.– Vol. 48, No1.
19. Якунин Д.И. Электромеханический привод системы наклона кузова / Д.И. Якунин, Е.С. Редченко, Б.Х. Ерицян // Тезисы докладов 70-й Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск, 2010. – С. 106.
20. Любарский Б.Г. Упрощенная математическая модель магнитного поля двигателя с поперечным полем / Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, Т.В. Глебова, М.Л. Глебова // Світлотехніка та електроенергетика: міжнар. наук.-техн. журн.– Харк. нац. акад. міськ. госп-ва.– Харьков, 2008.– № 2.– С. 72–78.
21. Любарский Б.Г. Имитационная модель тягового вентильно-индукторного электропривода / Б.Г. Любарский Е.С. Рябов, Л.В. Оверьянова, В.Л. Емельянов.– Електротехніка і електромеханіка.– Харьков, 2009.– № 5.– С. 67–72.
22. Маслиев В.Г. Проблемы скоростного движения поездов в Украине / В.Г. Маслиев, Д.И. Якунин // Междунар. информ. научн.-техн. журнал «Вагонный парк».– Харьков: изд-во «Подвижной состав».– 2007.– №1.– С. 11-13.
23. Huber V.H. The bogie-based tilt option - simplicity and flexibility / V.H.Huber // Proc Instn Mech Engrs, 1998. – Vol 212 Part F.– P. 19 – 32.
24. Оверьянова Л. В. Накопители энергии – перспективная технология для железных дорог / В.И. Омеляненко, В.Е. Бондаренко, Г.В. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // Міжнародний інформаційний науково-технічний журнал «Локомотив-інформ». – Харків: Техностандарт.– 2011. – №4. – С.4–9.
25. Клименко Е. Ю. Сверхпроводящий накопитель энергии для тяговой сети железных дорог / Е. Ю. Клименко, В. И. Омеляненко, Г. В. Омеляненко // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 2/1. – С. 40–45.
26. Sameshima H.. On-board Characteristics of Rechargeable Lithium Ion Batteries for Improving Energy Regenerative Efficiency / Hiroshi Sameshima, Masamichi Ogasa, Takamitsu Yamamoto // QR of RTRI. – 2004. – Vol. 45, No. 2. – P. 45–52.
27. Аннин В. Рекуперация электроэнергии – основное направление энергоснабжения //Локомотив. – 2013. – №7. – С. 6–9.
28. Simon J. Der elektrische Zug einer Serie 425 für die regionalen Beförderungen / J. Simon // Deine Bahn. – 2002. – №8. – P. 494–499.

Надійшла до редколегії 11.08.2017

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

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПРОЕКТ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Р.Ш. Нуриев

В роботі розглянуті питання створення рухомого складу на базі електропоїзда ЕКр1 «Тарпан»: запропоновано новий двигун і його система управління, проведений розрахунок за нахилом кузова в кривих ділянках колії, а також розглянуто застосування накопичувачів енергії для даного електропоїзда.

Ключові слова: електропоїзд, електрорухомий склад, тяговий привід, синхронний тяговий двигун, система нахилу кузова, накопичувач енергії.

CONCEPTUAL PROJECT OF SPEED MOBILE COMPOSITION ON THE BASIS OF PERSPECTIVE TECHNOLOGIES FOR RAILWAYS OF UKRAINE

R.Sh. Nuriev

The paper deals with the creation of the rolling stock on the basis of electric EKr1 "Tarpan": A new engine and its control system calculated the tilt of the body in the curved sections of the path, and also considered the use of energy storage for the electric trains.

Keywords: electric train, electric rolling stock, traction drive, synchronous traction motor, body tilt system, energy storage.

УДК 621.396.967.2

І.В. Свид

Харківський національний університет радіоелектроніки

ПРОБЛЕМА ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЗАПИТАЛЬНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті на основі аналізу протиріч принципів побудови, роздільного та сумісного функціонування з багатопозиційними первинними системами спостереження показана неможливість забезпечення припустимих показників завадозахищеності існуючих запитальних систем спостереження, що породжує проблему.

Ключові слова: завадозахищеність, запитальні системи спостереження

Вступ

Постановка проблеми й аналіз літератури.

Основні елементи процедури контролю повітряного простору (ПП) [1] це:

- аналіз повітряної обстановки;
- прийняття рішень.

Розвідка повітряного простору здійснюється системами спостереження (СС), головна задача яких надати відповіді: де знаходиться повітряний об'єкт (ПО) та визначити державну приналежність. Відповідь на ці питання дають спільно первинні [2] та запитальні [3] СС. Первинні СС відповідають на запитання «де», а запитальні СС, тобто системи ідентифікації «свій-чужий», на запитання «хто». Якість інформації цих двох СС визначається завадостійкістю останніх та визначає, значною мірою, якість інформаційного забезпечення системи контролю ПП.

Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначається складом та якістю інформації, на основі якої особа приймає рішення. Все це накладає дуже жорсткі вимоги до завадозахищеності СС ПП.

Мета роботи – оцінка завадозахищеності СС повітряного простору.

Основна частина

Запитальні СС до яких відносяться:

- вторинні СС;
- системи ідентифікація за ознакою «свій-чужий»;
- вбудовані канали вторинної радіолокації в первинні СС;
- канал спостереження радіосистеми ближньої навігації (РСБН),

значною мірою забезпечують рішення задач, котрі стоять перед системою контролю ПП.

Запитальні СС призначені для вирішення наступних задач:

- визначення координат ПО;
- радіолокаційної ідентифікації ПО за ознакою «свій-чужий»;
- отримання польотної інформації, яка необхідна для контролю управління польотами та наведення ПО;
- диспетчерської ідентифікації ПО.

Крім того, канал індикації РСБН призначений для визначення координат ПО, для чого користуються послугами радіомаяка.

Окремі типи запитальних СС можуть працювати або як автономні пристрої, або вбудовуватися в первинні СС.

Виходячи з принципу функціонування запитальних СС, антена відповідача є слабкоспрямованою. Це вносить суттєві недоліки в процес функціонування розглядаємих систем.

Обґрунтуємо імовірність завадозахищеності запитальних СС яка може бути визначена як:

$$P_{zz} = 1 - P_v P_{vim} P_{pr} ,$$

де P_v - імовірність виявлення сигналів; P_{vim} - імовірність вимірювання параметрів сигналів; P_{pr} - імовірність порушення роботи; $P_v P_{vim}$ - скритність; P_{pr} - завадостійкість; $P_{skr} = 1 - P_v$ - імовірність скритної роботи.

Будемо розглядати енергетичну скритність запитальних СС, яка характеризує здатність протистояти заходам, які направлені на виявлення сигналу приймачем розвідки.

За принципом обслуговування сигналів запиту (СЗ) літаковий відповідач (ЛВ) відноситься до одноканальних систем масового обслуговування (СМО) з відмовами, що вказує на те, що будь-який правильно прийнятий СЗ обслуговується відповідачем, якщо він не зайнятий обслуговуванням іншого, раніше

прийнятого СЗ. При обслуговуванні СЗ приймач відповідача закривається на час паралізації, величина якого визначається режимом роботи. У зв'язку з цим, відповідач системи запитальних СС характеризується коефіцієнтом готовності, що є ймовірністю відповіді на даний СЗ. Крім того, апаратура відповідача розраховується на деяку граничну кількість (максимальне завантаження) відповідей в секунду. При перевищенні кількості запитів максимального завантаження відповідач обмежує число відповідей шляхом виключення СЗ з найменшою амплітудою сигналу.

Особливістю запитальних СС є наявність внутрісистемних завад. Дійсно, сусідні запитальні СС є джерелами завад для розглядаємої запитальної СС. Ці завади проявляються двояко. По-перше, СЗ сусідніх запитальних СС закривають ЛВ на час обслуговування СЗ, що унеможливує відповідь на СЗ розглядаємої запитальної СС. По-друге, випромєнені СВ ЛВ на запити сусідніх запитальних СС, є завадою для розглядаємої запитальної СС. Ці обставини потребують використовувати несинхронну мережу запитальних СС. При такій організації мережі ефективним способом захисту вторинних СС від СВ, викликаних сусідніми запитальними СС, є міжперіодна обробка. Однак побудова запитальних СС на принципі несинхронної мережі та відсутність просторової вибірковості ЛВ дозволяє зацікавленій стороні або несанкціоновано отримувати інформацію від ЛВ, або подавляти запитальну СС шляхом постановки навмисних корельованих завад необхідної інтенсивності.

У запитальних СС кодується як СЗ, так і СВ. Для їх кодування використовуються інтервально-часові, частотно-часові та позиційні коди. Використання такого кодування по-перше потребує обирати смугу пропускання приймача значно більшу за потенціальну, що призводить до зниження завадостійкості розглядаємих систем, а по-друге – приводить до виключення енергетичної скритності. Можливо показати, що СВ можуть бути виявлені з дальності яка значно перебільшує дальність виявлення первинних СС. Використання сигналів з великою базою в якості СЗ та СВ неможливе так як це збільшує часову базу сигналу і, як наслідок, знижує завадостійкість запитальних СС.

Зазначені недоліки побудови існуючих запитальних СС, а також використання розглянутих способів кодування СЗ та СВ не дозволяє віднести їх ні до завадостійких систем, ні до енергетично скритних.

Таким чином, основне протиріччя роздільного функціонування запитальних СС закладено в принцип побудови і принцип обслуговування СЗ, що зумовила низьку завадостійкість останніх. При цьому необхідно відзначити, що створення імітостійко-

го режиму дозволяє закрити лише канал відповіді, залишивши повністю відкритим канал запиту. У цій ситуації, дійсно, протилежна сторона ніколи не може відповісти «я свій». Однак, поставивши заваду каналу запиту, а він залишився відкритим, становиться не можливим визначити де «наш» ПО.

Важливим напрямком підвищення живучості та завадостійкості первинних СС є створення багато-позиційних (БП) первинних СС, за рахунок переходу від несинхронної мережі СС до синхронної мережі СС. Основною перевагою БП первинних СС є підвищення живучості та завадозахищеності у порівнянні з однопозиційними первинними СС. Це досягається територіальним розносом передавальної й приймальної позицій.

Однак, в теоретичних і в практичних роботах по БП первинним СС не розглядаються питання взаємодії рознесеної первинної та існуючого варіанту запитальної СС. Сучасні ж запитальні СС не можуть працювати в рознесеному режимі. Таким чином, підвищення живучості первинних СС шляхом рознесення передавальної й приймальної позицій наштотуються на неможливість реалізації на такому принципі запитальних СС. Розташування ж запитальних СС на приймальному пункті (невипромінюючому) рознесеної первинної СС повністю демаскує останню.

Отже, основне протиріччя спільного функціонування запитальних СС і рознесених первинних СС закладено в принцип побудови запитальних СС, який не дозволяє роботу запитальних СС в рознесеному режимі.

Таким чином, можливість несанкціонованого використання ЛВ запитальних СС визначена принципами побудови останніх.

Дійсно, існуючі запитальні СС побудовані за однаковими принципами:

- несинхронної мережі;
- одноканальної системи масового обслуговування з відмовами.

Побудова запитальних СС за такими принципами виключила як часову, так і просторову різницю між корисними та імітованими сигналами. Ця особливість призводить до того, що зацікавлена сторона має можливість як несанкціоновано отримувати інформацію від ЛВ розглядаємих СС, так і подавляти їх роботу імітованими СЗ потрібної інтенсивності.

Проведемо оцінку ймовірності виявлення ПО існуючими запитальними СС при впливі потоку СЗ, утвореного сумарним потоком СЗ (ПСЗ) сусідніх СС, потоком некорельованих завад (НКЗ) зацікавленої сторони і хаотичними імпульсними завадами (ХІЗ).

При надходженні на вхід ЛВ запитальної СС потоку СЗ і ХІЗ будуть спостерігатися наступні

основні ситуації, що приводять до виключення формування ЛВ СВ:

- подавлення СЗ даного запитувача через утворення з ХІЗ випереджальних хибних СЗ, що викликають випромінювання СВ або спрацьовування схеми подавлення бічних пелюстків (ПБП);
- подавлення СЗ даного запитувача через випереджальний СЗ як сусідніх запитувачів, так і запитувачів зацікавленої сторони;
- високочастотне подавлення окремих імпульсів СЗ даного запитувача при збігу за часом імпульсів потоку СЗ і несприятливих фазових співвідношень;
- подавлення СЗ даного запитувача через випереджальний хибний СЗ, що утворюється в результаті взаємодії першого імпульсу СЗ даного запитувача з випереджальними (на базу коду) імпульсами ХІЗ чи ПСЗ, що викликають випромінювання СВ чи спрацьовування схеми ПБП.

Визначення імовірності цих подій будемо здійснювати у припущенні, що ПЗС і ХІЗ діють на СЗ даного запитувача незалежно один від одного і що кількість джерел, які формують загальний ПСЗ, достатнє для того, щоб вважати потік пуасонівським.

Припустимо, що на вхід відповідача надходять ХІЗ інтенсивністю λ_0 , ПСЗ, що викликає випромінювання СВ, що включає потік СЗ сусідніх запитувачів і потік імітованих СЗ зацікавленої сторони, інтенсивністю λ_1 , та потік СЗ, що викликає спрацьовування схеми ПБП, інтенсивністю λ_2 .

Використовуючи методику розрахунку зазначених імовірностей, досить докладно викладених у [4], одержуємо результати розрахунку імовірності виявлення ПО (рис. 1). Наведені розрахунки отримані при $\lambda_0 = 5000$. Аналіз наведених розрахунків показує, що можливість зацікавленої сторони подавляти запитальні СС за рахунок несанкціонованого використання ЛВ потрібної інтенсивності ставить під сумнів можливість роботи цих систем у конфліктних ситуаціях. Дійсно, як показано на рис. 1, при інтенсивності СЗ $\lambda_1 = 5000$, які може імітувати заці-

кавлена сторона імовірність виявлення ПО запитальною СС складає всього 0,2.

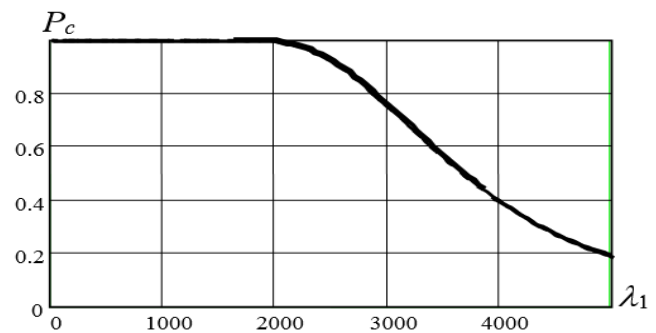


Рис. 1. Імовірність виявлення ПО

Висновки

У статті показано, що існуючий принцип побудови запитальних СС заклад протиріччя у забезпечення потрібної завадозахищеності останніх як при роздільному, так і спільному функціонуванні з рознесеними первинними СС.

Показано, що наведені протиріччя між необхідністю завадозахисту запитальних СС та можливістю її реалізації на відомих принципах породжує проблему завадозахисту зазначених систем.

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. - 446 с.
2. Farina A. and Studer F., (1993), Digital radar data processing, Radio i svyaz, Moscow: 319 p. (in Russian).
3. Stevens M.C., Secondary Surveillance Radar, Artech House, 1988.
4. Обод І.І. Завадозахищеність вторинних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. - Х.: ХНУРЕ, 2014. - 310 с.

Надійшла до редколегії 23.07.2017

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

ПРОБЛЕМА ПОМЕХОЗАЩИТЫ ЗАПРОСНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.В. Свид

В статье на основе анализа противоречий принципов построения, отдельного и совместного функционирования с многопозиционными первичными системами наблюдения показана невозможность обеспечения приемлемых показателей помехозащищенности существующих запросных систем наблюдения, что создает проблему.

Ключевые слова: помехозащита, запросные системы наблюдения.

THE PROBLEM OF PUTTING THE REQUIRED AIR POLLUTION OBSERVATION SYSTEMS

I.V. Svyd

Based on the contradictions analysis in the principles of constructing separate and joint operation with multi-position primary surveillance systems, the article shows the impossibility of providing acceptable indicators of noise immunity of existing query observing systems, which creates a problem.

Keywords: interference immunity, query observing systems.

Математичні моделі та методи

УДК 004.891

Ю.В. Бабенко, И.В. Шостак

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

ПРЕЦЕДЕНТНО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИЙ САМОЛЕТОВ

Рассмотрена процессная модель оценки эффективности модификаций самолетов транспортной категории на основе прецедентно-множественного подхода. В качестве прецедента принято считать базовую модель, а в виде множеств на основе принципа декомпозиции – неизменяемые параметры прецедента и модифицируемые параметры верхнего и нижнего уровней. Под эффективностью принято понимать: производительность, стоимость жизненного цикла и критерии поддержки принятия решений.

Ключевые слова: модификации самолетов, теория прецедентов, множества управляющих параметров, эффективность.

Введение

Процесс создания модификаций самолетов транспортной категории получил широкое распространение как в отечественном, так и в мировом самолетостроении. В практике создания модификаций самолетов [1] существуют два пути: последовательный и параллельный (рис. 1).

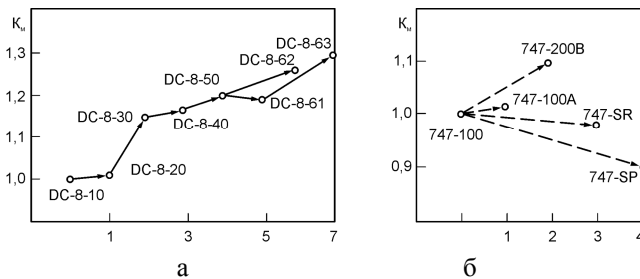


Рис. 1. Последовательная (а) и параллельная (б) разработки модификаций: DC-8-10 и 747-100 – базовые модели (прецеденты); 1 – 5 – модификации; K_m – коэффициент изменения массы

Из приведенных графиков следует, что базовой моделью для модификаций самолета DC-8-10 являлась предыдущая модификация, тогда как для всех модификаций самолета В-747 прецедентом служил самолет В747-100.

При этом перед разработчиками возникает необходимость в реализации модификации не только как физического объекта, но представления её в виде параметров эффективности произведенных модификационных изменений.

В предыдущих исследованиях [2] оценку эффективности модификационных изменений предложено вести по показателям интегральной эффективности: производительности (W), стоимости жизненного цикла ($C_{ж.ц}$) и критериев поддержки принимаемых решений на основных этапах жизненного цикла ($\bar{C}_{ж.ц}$, $a' \leq a$) (рис. 2).

Исходным объектом в предложенном подходе является базовая модель (прецедент в математическом описании) с последующим представлением её

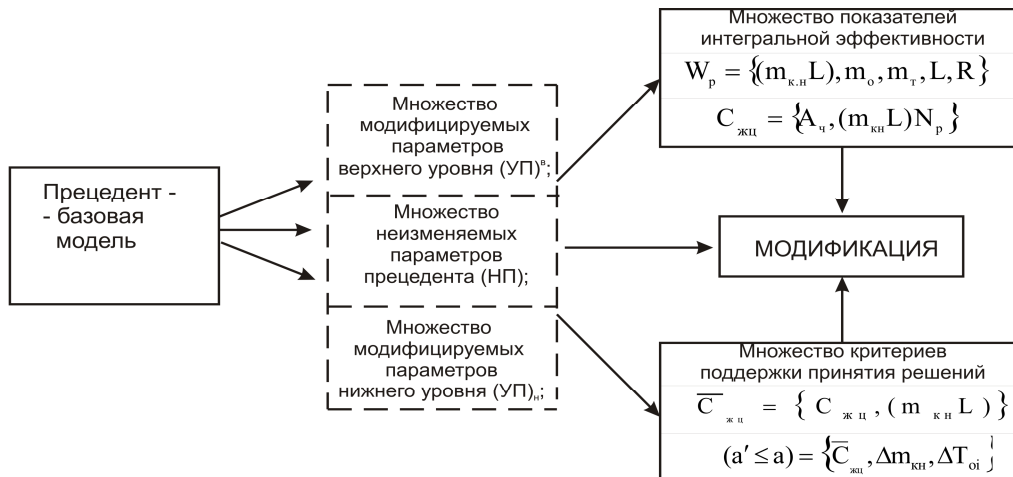


Рис. 2. Представление оценки эффективности модификационных изменений в виде иерархии множеств [2]

в виде неизменяемых (НП) и модифицируемых параметров, а в виде множеств в таком подходе выступают модифицируемые параметры верхнего (УП)^в и нижнего (УП)_н уровней.

Процессная модель формирования оценивания эффективности модификации с учетом особенностей представления прецедента

Как следует из приведенных данных, в процедуре оценивания эффективности модификаций вопрос выбора прецедента (рис. 1) имеет определяющую роль.

Если же учесть и временной фактор (модификации разрабатываются через 10...20 и даже 50 лет), то станет очевидным, что процесс выбора параметров прецедента в виде математической модели становится проблемной задачей.

Вопросам формализованного описания подобных знаниеориентированных проблем [3], а также решению задач поддержки принятия решений посвящен ряд работ таких ученых, как В.М. Глушков, В.П. Гладун, А.П. Еремеев, А.Г. Братухин, О.Н. Ларичев, О.Е. Федорович, И.В. Шостак и др.

В основе теории прецедентов [4, 5] лежит гипотеза о монотонности пространства решений: «по-

хожие входные ситуации приводят к похожим выходным реакциям системы». Сформулируем на основе указанной гипотезы ряд базовых положений, дающих возможность реализовать на практике задачу комплексного оценивания модификационного ряда самолета транспортной категории.

При рассмотрении каждой новой модификации достаточно найти одну или несколько похожих модификаций (прецедентов) и принимать решения, опираясь на них.

Применительно к оценке прецедентов достаточно найти (из состава зафиксированных) хотя бы одну или несколько близких по заданным параметрам модификаций и оценить их меру близости.

Для решения данной задачи необходимо обеспечить формирование соответствующей базы прецедентов в специально разработанной системе поддержки принятия решений (ППР).

Формирование базы прецедентов включает в себя следующие этапы (рис. 3):

- 1) задание признаков для определения уровня значимости прецедента;
- 2) кластеризацию прецедентов по их параметрам;
- 3) формирование требуемого множества прецедентов на основе критерия подобия модификаций.

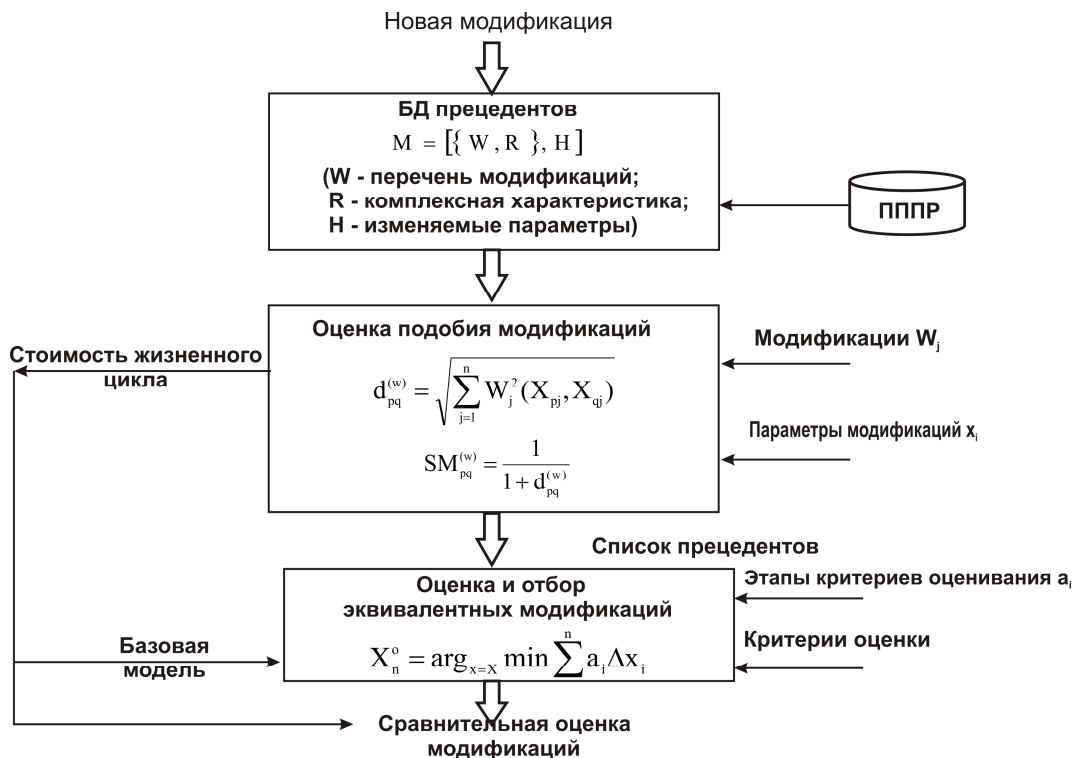


Рис. 3. Процессная модель формирования оценки модификаций

На этапе 1 определяется оценочная функция параметров, что позволяет в дальнейшем производить отбор уместных прецедентов, используя отношение подобия, построенное на множестве наиболее существенных параметров.

Для заданного набора весов признаков

$$W_j (W_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n) \tag{1}$$

и пары прецедентов I_p, I_q , взвешенная мера близости определяется как

$$d_{pq}^{(W)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j^2 (X_{pj} - X_{qj})^2}, \quad (2)$$

где X – значения признаков.

Мера подобия прецедентов $SM_{pq}^{(W)}$ будет определяться выражением

$$SM_{pq}^{(W)} = \frac{1}{1 + d_{pq}^{(W)}}. \quad (3)$$

Если все веса W одинаковы и равны 1, то мера близости соответствует евклидовой мере и обозначается $d_{pq}^{(W)}$, а соответствующая ей мера подобия обозначается $SM_{pq}^{(W)}$.

Тогда оценочная функция признаков будет определяться следующим образом:

$$E(W) = 2 \times \frac{\sum_p \sum_{q(q < p)} (SM_{pq}^{(W)}(1 - SM_{pq}^{(W)}) + (1 - SM_{pq}^{(W)})SM_{pq}^{(W)})}{N(N-1)}, \quad (4)$$

где N – число прецедентов в базе прецедентов.

На **этапе 2** производится кластеризация базы прецедентов для ускорения операций выборки сходных прецедентов и разбиения базы прецедентов на компактные множества покрытия.

В основе алгоритма кластеризации (см. рис. 4) лежит понятие матрицы сходства, определяемой на основе выражений для $d_{pq}^{(W)}$ и $SM_{pq}^{(W)}$.

Основные шаги рассматриваемой процедуры кластеризации []:

1) задается пороговый уровень значимости β ($\beta \in \{0, 1\}$);

2) определяется матрица сходства $SM = (SM_{pq}^{(W)})$ в соответствии с выражениями для $d_{pq}^{(W)}$ и $SM_{pq}^{(W)}$;

3) определяется модифицированная матрица подобия

$$SM_1 = SM \circ SM = (S_{pk}),$$

где $S_{pk} = \max \left[\min (SM_{pk}^{(W)}, SM_{kq}^{(W)}) \right]$;

4) если $SM_1 \subset SM$, то определяются отдельные кластеры на основе правила: прецедент p и прецедент q принадлежат к одному кластеру тогда и только тогда, когда $S_{pq} \geq \beta$, в противном случае матрица SM заменяется на SM_1 и происходит возврат к **шагу 3**.

В системе поддержки принятия решений, построенной на основе рассмотренной процедуры, достигается рост быстродействия за счет снижения временных затрат на поиск решения.

Задача выбора прецедентов является основной для рассматриваемой СППР. Данная задача решена в рамках блока распознавания модификаций или отдельных их параметров. В указанном блоке реализован механизм поиска близких по параметрам модификаций на основе нахождения наиболее сходных с рассматриваемой модификацией эталонных (из числа ранее разработанных) модификаций, на основе заданной меры сходства, т. е. модификации, с которыми производится сравнение рассматриваемой, являются эталонными. Процесс поиска эталонных модификаций включает следующие этапы:

1) описание текущей модификации в виде комплекса параметров;

2) поиск эталонной модификации путем сравнения соответствующих параметров в пределах заданного интервала близости;

3) анализ перечня найденных подобий и формирование искомой информации.

Таким образом, для поиска аналогов необходимо произвести поиск всех модификаций исходной модели самолета транспортной категории, схожих с планируемым на основании заданного отношения подобия.

Поиск эталонных модификаций производится на основе анализа степени близости основных параметров, которые составляют некий набор характеристик X_{ij} , где i – порядковый номер модификации, j – порядковый номер параметра: $i = (1, n)$, $j = (1, m)$.

Описание эталонной модификации будет формироваться из аналогичного набора свойств X_{ij} .

Отклонение комплексной характеристики рассматриваемой модификации от найденных эталонных обозначим как ΔX_i . Используя определение понятия функции полезности [5], характеристики X_i приводятся к изоморфному виду.

Многофакторная обобщенная оценка «расстояния» комплексной характеристики модификации от характеристик найденных эталонов будет иметь вид

$$L = \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i, \quad (5)$$

где a_i – весовые коэффициенты сравнительной значимости отдельных характеристик,

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad 0 \geq a_i \geq 1. \quad (6)$$

Тогда принцип оптимальности может быть представлен в виде

$$X_n^0 = \arg_{x=X} \min \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i. \quad (7)$$

По указанному выше принципу оптимальности происходит ранжирование найденных эталонных модификаций по степени подобия базовой модели самолета транспортной категории.

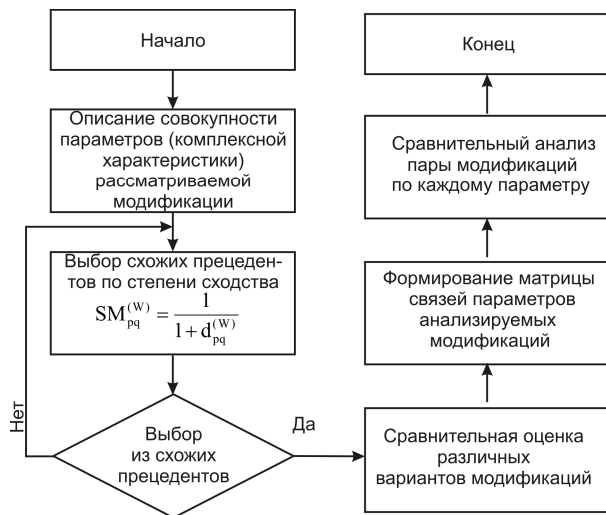


Рис. 4. Алгоритм сравнения рассматриваемой модификации с эталонными

Выводы

В методах оценки эффективности модификационных изменений самолетов транспортной категории исходное положение принадлежит базовой модели – в математическом представлении – прецеденту, и декомпозиции общей характеристики модификаций на: неизменяемые параметры; управляющие параметры верхнего уровня (изменение которых может привести к достижению толерантности); управляющие параметры нижнего уровня, изменение которых предопределяет область эквивалентности улучшения одних параметров за счет других.

Для определения свойств и параметров прецедента предложены процессная модель и алгоритм формирования общей характеристики интегральной эффективности модификации с использованием опыта создания и эксплуатации других модификаций, базовой модели и степени их близости данной модификации, что позволяет реали-

зовать указанную модель в рамках теории дискретной оптимизации.

Предложенный метод представления эффективности в виде структур «прецедент – модификации» имеет следующие преимущества в сравнительном оценивании отдельных параметров верхнего и нижнего уровней, а также различных модификаций модельного ряда:

- упорядоченная процедура сбора и обработки информации;
- уменьшение вероятности манипулирования информацией;
- использование различных вариантов достижения компромисса.

Список литературы

1. Шейнин, В. М. Роль модификаций в развитии авиационной техники [Текст] / В. М. Шейнин, В. М. Макаров – М.: Наука. – 1983. – 226 с.
2. Бабенко, Ю. В. Методы и критерии поддержки принятия решений при модификационных изменениях самолетов транспортной категории в течение жизненного цикла: Монография / Ю. В. Бабенко // Публикации международного научного симпозиума «Наука и инновации в современном мире». – Одесса, 2017, www.sworld.education.
3. Братухин, А. Г. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Сб. ст. под общей редакцией А. Г. Братухина. – Киев.: «Техніка». – 2001. – 709 с.
4. Еремеев, А. П. Поиск решения на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / А. П. Еремеев, П. Р. Варшавский // Известия РН. Системы поддержки принятия решений, 2005, № 1. – С. 97 – 109.
5. Черноморов, Г. А. Теория принятия решений [Текст] / Г. А. Черноморов // Известия вузов. № 3, 2002. – 276 с.

Надійшла до редколегії 1.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Божко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ВИКОРИСТАННЯ ПРЕЦЕДЕНТНО-МНОЖИННОГО ПІДХОДУ В ПРОЦЕДУРІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКАЦІЙ ЛІТАКІВ

Ю.В. Бабенко, І.В. Шостак

Розглянуто процесну модель оцінки ефективності модифікацій літаків транспортної категорії на основі прецедентно-множинного підходу. Як прецедент прийнято вважати базову модель, а у вигляді множин на основі принципу декомпозиції – незмінні параметри прецеденту і модифіковані параметри верхнього і нижнього рівнів. Під ефективністю прийнято розуміти: продуктивність, вартість життєвого циклу і критерії підтримки ухвалення рішень.

Ключові слова: модифікації літаків, теорія прецедентів, множина керованих параметрів, ефективність.

THE USE OF A PREDDY-MULTIPLE APPROACH IN THE PROCEDURE FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF AIRCRAFT MODIFICATIONS

Yu.V. Babenko, I.V. Shostak

The process model of the estimation of the efficiency of modifications of aircraft transport category on the basis of the precedent-plural approach is considered. As a precedent, it is considered to be the base model, but in the form of sets based on the principle of decomposition - the unchanged parameters of the precedent and modified parameters of the upper and lower levels. Under efficiency it is commonly understood: productivity, cost of life cycle and criteria for sub-decision making.

Key words: aircraft modifications, precedent theory, set of controlled parameters, efficiency.

УДК 519.2 : 519.7

В.Ю. Дубницький, Л.Д. Филатова, А.И. Ходырев

Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков

УСТОЙЧИВОСТЬ ОЦЕНКИ ЭНТРОПИИ ГИСТОГРАММЫ НЕПРЕРЫВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИЗМЕНЕНИЮ КОЛИЧЕСТВА ЕЁ ИНТЕРВАЛОВ

Разработаны предложения к методике определения устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов. Предложен способ определения оценки устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов. Проведен численный эксперимент, в процессе которого для различных способов определения количества интервалов гистограммы вычислено среднее значение энтропии и её верхняя и нижняя доверительные границы. Для нормального, логистического, гамма-распределения и распределения Вейбулла по результатам непараметрического дисперсионного анализа установлено, что оценка энтропии непрерывной случайной величины неустойчива к виду закона распределения, количеству интервалов гистограммы и, следовательно, к количеству наблюдений.

Ключевые слова: энтропия, гистограмма, оценка энтропии, непараметрический дисперсионный анализ, нормальное распределение, логистическое распределение, гамма-распределение, распределение Вейбулла.

Введение

Понятие энтропии хорошо известно и широко используется при решении задач, связанных с теорией передачи сигналов в условиях помех в каналах связи. В соответствии с работой [1] энтропией Шеннона непрерывной случайной величины X , имеющей плотность распределения $f(x)$, называют функционал вида:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log_a f(x) dx \text{ (ед)} \quad (1)$$

Если изучаемая система может пребывать в одном из m возможных состояний, то её энтропию определяют по условию:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_a p_m \text{ (ед)}; \quad (2)$$

где p_i – вероятность пребывания системы в одном из i ($i=1,2,\dots,m$) возможных состояний. Если основание логарифма a равно 10, то единицу энтропии называют дит, если величина a равна основанию натурального логарифма, то единицу энтропии называют нит, если величина $a=2$, то единицу энтропии называют бит. Соотношения между этими величинами приведены в табл. 1. Данные, приведенные во втором столбце табл. 1 заимствованы из работы [4].

В данном сообщении единицей измерения энтропии принят нит. Вычисление величины $H(x)$ для различных законов распределения подробно рассмотрено в работах [2, 3]. По аналогии с взаимоотношениями между теорией вероятности и математической статистикой можно говорить, что энтропия, вычисленная по условиям (1, 2), вычислена при известном законе распределения и известных значениях его параметров.

Таблица 1

Соотношения между
единицами измерения энтропии

$\lg N = 0.4343 \ln N$	1 дит = 2,3 нит
$\lg N = 0.3010 \log_2 N$	1 дит = 3,3 бит
$\ln N = 2.3025 \lg N$	1 нит = 0,43 дит
$\ln N = 0.6931 \log_2 N$	1 нит = 1,45 бит
$\log_2 N = 3.3225 \lg N$	1 бит = 0,3 дит
$\log_2 N = 1.4427 \ln N$	1 бит = 0,69 нит

Если закон распределения случайной величины определён по данным, полученным по некоторой выборке, то определённую на основе этого величину энтропии $h(X)$ будем называть оценкой величины $H(x)$. Так как чаще всего источником сведений о свойствах случайных величин служат их гистограммы, построенные по результатам выборочных данных, то в рамках данной работы будет рассмотрено влияние характеристик гистограммы на оценку энтропии, величину $h(X)$.

Анализ литературы

В работе [4] предложено для оценки энтропии случайной величины, заданной своей гистограммой, использовать выражение вида:

$$h(x) = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{n} \ln \frac{n}{n_i} + \ln d. \quad (3)$$

В условии (3) принято, что все интервалы гистограммы имеют равный шаг d . В этой же работе приведены выражения, позволяющие оценить статистические свойства величины $h(X)$. В работе [5] дисперсию D_h оценки энтропии $h(X)$ предложено

определять по условию:

$$D_h = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^m \hat{p}_i \ln^2 \hat{p}_i - (\hat{p}_i \ln \hat{p}_i)^2 \right] + \frac{m-1}{2n^2}; \quad (4)$$

где n – количество наблюдений (объём выборки), m – количество интервалов гистограммы, \hat{p}_i – частота i -ого интервала гистограммы, $\hat{p}_i = n_i / n$; n_i = количеству наблюдений, попавших в i -ый интервал гистограммы. В этой же работе доверительный интервал гистограммы предлагают определять по условию:

$$I_h = \left[h - u \left(\frac{1+\beta}{2} \right) \frac{D_h}{\sqrt{m}}; h + u \left(\frac{1+\beta}{2} \right) \frac{D_h}{\sqrt{m}} \right]; \quad (5)$$

где $u(\cdot)$ – квантиль стандартного нормального распределения. При выполнении расчётов в данном сообщении эта величина принята равной 1,64. Из рассмотрения условий (2...5) следует, что важнейшим параметром, который может влиять на полученный результат является количество интервалов гистограммы m . Способы определения этой величины как функции объёма выборки n подробно рассмотрены в работе [6]. В данной работе принят объём выборки $n=200$. При выполнении расчетов использованы следующие выражения:

$$m = 3,3 \lg(n) + 1; \quad (6)$$

$$m = 5 \lg(n); \quad (7)$$

$$m = \sqrt{n}; \quad (8)$$

$$m = 4\sqrt[5]{2} \cdot (n/u(\cdot))^{0,4}; \quad (9)$$

$$m = 4 \left[0,75(n-1)^2 \right]^{0,2}; \quad (10)$$

$$m = 1,9n^{0,4}. \quad (11)$$

Результаты определения количества интервалов гистограммы для всех приведенных в работе [6] выражений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Определение количества интервалов гистограммы

Расчётная формула	Ф(6)	Ф(7)	Ф(8)	Ф(9)	Ф(10)	Ф(11)
Количество интервалов	9	11	14	31	31	16

Для принятого в работе объёма выборки количество интервалов $m=31$ отвергнуто, как лишённое содержательного смысла при принятом объёме выборки.

В работах [7...10] показано, что оценки вида (3), (4) имеют асимптотически нормальное распределение. Установление этого факта позволило получить оценку для доверительного интервала энтропии гистограммы вида (6) и получены оценки асимптотического смещения оценки энтропии и её дисперсии. В указанных работах сформулированы достаточные условия получения асимптотически нормальной

оценки энтропии. То есть, обоснованы основные теоретические способы получения оценки энтропии. Методическая особенность этих работ в том, что количество интервалов гистограммы заранее определено и влияние изменения этой характеристики на оценки энтропии не рассматривались. Исторический обзор развития метода гистограмм приведен в работе [11]. Современное состояние задачи о построении гистограмм рассмотрено в работе [12]. Влияние количества интервалов гистограммы на решение задачи о выборе закона распределения случайной величины рассмотрено в работе [13, 14]. В работе [15] показано применение понятия энтропии гистограммы для обоснования закона распределения, характерного для данной гистограммы. Таким образом, из проведенного обзора литературы следует, что мостик, связывающий влияние количества интервалов гистограммы на её энтропию, отсутствует.

Постановка задачи: разработка предложений к методике определения устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов.

Полученные результаты

Для получения исходных данных был проведен численный эксперимент. Для его проведения было принято, что все генерируемые псевдослучайные выборки, предназначенные для последующего анализа, получали при условии, что их среднее значение $m = 200$ и среднеквадратическое отклонение $s = 40$.

Генерируемые выборки, в нашем случае, должны были соответствовать нормальному распределению, логистическому распределению, гамма-распределению и распределению Вейбулла. Сведения об основных законах распределения случайных величин, использованных в работе, приведены в табл. 3. В этой таблице и далее принято, что греческие буквы соответствуют параметрам функций плотности, латинские буквы – их основным числовым характеристикам: m – математическому ожиданию, s – среднеквадратическому отклонению, v – коэффициенту вариации. Для определения параметров принятых в работе законов распределения использованы результаты работ [15, 16]. Сведения о параметрах законов распределения, принятых в качестве исходных при моделировании, приведены в табл. 4.

Для каждого из указанных в табл. 3, 4 законов распределения генерировали по 200 псевдослучайных чисел. Этот процесс выполняли, используя систему STATGRAPHICS V.1. Результаты моделирования приведены в табл. 5, 6. В табл. 5 приведены основные статистические характеристики выборок, полученных в результате моделирования соответствующих распределений. В табл. 6 приведены параметры законов распределения, определённые для выборок, полученных в результате моделирования соответствующих распределений.

Таблиця 3

Основные характеристики функций плотности распределения вероятности

Функции плотности распределения при $-\infty < x < \infty$		
Тип распределения	Плотность распределения	Зависимость параметров распределения от его начальных характеристик
Нормальное распределение	$f(x) = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \exp(-(x-\mu)^2/(2\sigma^2))$	$\mu = m; \sigma = s$
Логистическое распределение	$f(x) = \frac{\exp((x-\mu)/\lambda)}{\lambda[1+\exp((x-\mu)/\lambda)]^2} = \frac{1}{4\lambda \operatorname{ch}^2((x-\mu)/2\lambda)}$	$\mu = m; \lambda = \frac{s\sqrt{3}}{\pi} = 0,55133s$
Функции плотности распределения при $0 \leq x < \infty$		
Гамма-распределение	$f(x) = (\lambda^\alpha/\Gamma(\alpha)) \cdot x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}, x > 0$	$\alpha = 1/v^2; \lambda = m/s^2$
Распределение Вейбулла	$f(x) = (c/\alpha)(x/\alpha)^{c-1} \exp[-(x/\alpha)^c]$	Выражение в явном виде отсутствует

Таблиця 4

Начальные значения параметров законов распределения вероятности, принятые при моделировании

Типы законов распределения, использованные в работе							
Нормальный		Логистический		Гамма-распределение		Вейбулла	
μ	λ	μ	λ	α	λ	α	c
200	40	200	22,052	25	0,125	215,93098	5,82824

Таблиця 5

Средние значения и среднеквадратические отклонения полученных в результате моделирования выборок

Типы законов распределения, использованные в работе							
Нормальный		Логистический		Гамма-распределение		Вейбулла	
m	s	m	s	m	s	m	s
197,5519	39,1722	197,4389	44,4990	198,827	42,1772	203,891	40,7029

Таблиця 6

Значения параметров законов распределения вероятности, полученные при моделировании

Типы законов распределения, использованные в работе							
Нормальный		Логистический		Гамма-распределение		Вейбулла	
μ	λ	μ	λ	α	λ	α	c
197,5519	39,1722	197,4389	21,5956	25,40485	0,11768	220,125	5,825

Сравнение результатов, приведенных в табл. 2 и табл. 6 позволяет сделать вывод о том, что параметры законов распределения для полученных выборок вполне удовлетворительно соответствуют первоначально заданным значениям и могут быть использованы для дальнейшего анализа. Используя программную систему Atte Stat, реализующую процесс вычис-

лений условий (3...5) для всех указанных выше законов распределений, определены нижнее доверительное на уровне 0,95 значение энтропии $h^-(x)$, среднее значение энтропии $h(x)$ и её верхнее доверительное значение $h^+(x)$. Все вычисления проведены для интервалов, количество которых указано в табл. 2. Результаты вычислений приведены в табл. 7.

Таблиця 7

Оценка энтропии для выбранных законов распределения

Вид закона распределения	Количество интервалов	Оценка энтропии (бит)		
		Нижнее доверительное значение $h^-(x)$	Среднее значение $h^-(x)$	Верхнее доверительное значение $h^+(x)$
Нормальный	9	1,951337	1,978717	2,006123
	11	2,14735	2,172424	2,197490
	14	2,364088	2,386382	2,408677
	16	2,512838	2,533772	2,554706
Логистический	9	1,488867	1,526402	1,563938
	11	1,680299	1,713566	1,746833
	14	1,935790	1,962951	1,990115
	16	2,058687	2,083275	2,114287
Гамма-распределение	9	2,044215	2,065975	2,087739
	11	2,209686	2,232114	2,254535
	14	2,451659	2,472181	2,492703
	16	2,571364	2,595528	2,611697
Вейбулла	9	1,801036	1,832229	1,863405
	11	2,209686	2,232114	2,254535
	14	2,451659	2,472181	2,4927603
	16	2,571365	2,591528	2,611697

На этом этапе подготовку данных для решения поставленной задачи – определение устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов можно считать завершённой. Рабочая гипотеза, проверяемая в данной работе следующая: вид закона распределения и количество интервалов разбиения существенно влияют на среднее значение энтропии, полученное по заданной гистограмме. Для этого введём коэффициент:

$$\eta_{uk} = h_{uk}(x)/h_{lk}(x) \quad (12)$$

где u – количество интервалов гистограммы, $u = 1 \dots 4$ (1 – 9 интервалов, 2 – 11 интервалов, 3 – 14 интервалов, 4 – 16 интервалов гистограммы); k – вид закона распределения выборки, для которой построена гистограмма, $k = 1 \dots 4$ (1 – нормальный закон распределения, 2 – логистический, 3 – гамма-распределение, 4 – распределение Вейбулла). Для большей наглядности это отношение приведено в децибелах (dB) и показателе «Отличие в разы».

Обоснование такого способа измерения отношения двух величин дано в работах [17, 18]. Результаты соответствующих вычислений приведены в табл. 8. График, иллюстрирующий это влияние для показателя «отличие в разы», показан на рис. 1. На рисунке значение показателя «отличие в разы» представлено на оси ординат, на оси абсцисс показано количество интервалов, вид закона распределения ясен из принятых условных обозначений. Из графиков, показанных на рисунке можно предположить, что исследуемые факторы влияют на устойчивость полученной оценки. Для статистического обоснования сделанного предположения использован двухфакторный непараметрический дисперсионный анализ. Исходные данные для анализа показателя «отличия в разы» приведены в табл. 9.

Таблица 8

Оценка влияния количества интервалов гистограммы и вида закона распределения на величину коэффициента η_{uk}

Вид распределения	Количество интервалов гистограммы (m)	Среднее значение энтропии (нит)	Децибелы, dB	Отличие в разы
Нормальное	9	1,978717	0	1
	11	2,172424	0,405609	1,1
	14	2,386382	0,813563	1,21
	16	2,533772	1,073838	1,28
Логистическое	9	1,526402	0	1
	11	1,713566	0,502319	1,12
	14	1,962951	1,092405	1,29
	16	2,083275	1,350777	1,36
Гамма-распределение	9	2,065975	0	1
	11	2,232114	0,335913	1,08
	14	2,472181	0,779552	1,2
Вейбулла	9	1,832229	0	1
	11	2,232114	0,857366	1,22
	14	2,472181	1,301005	1,35
	16	2,591528	1,505762	1,41

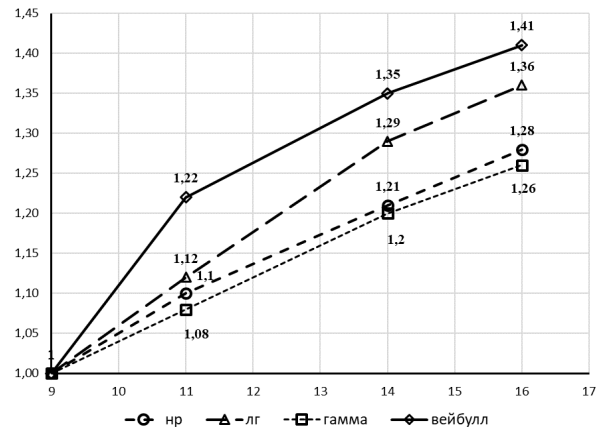


Рис. 1. Изменение показателя «отличие в разы» в зависимости от вида закона распределения и количества интервалов гистограммы

Таблица 9

Исходные данные для двухфакторного дисперсионного анализа показателя «отличия в разы»

Количество интервалов гистограммы	Вид закона распределения			
	Нормальный	Логистический	Гамма-распределение	Вейбулла
9	1,00	1,00	1,00	1,00
11	1,10	1,12	1,08	1,22
14	1,21	1,29	1,20	1,35
16	1,28	1,36	1,26	1,41

Для анализа этих данных использованы критерии Фридмана и Пэйджа, основы применения которых описаны в работе [5]. Критерий Фридмана проверяет нулевую гипотезу о том, что отсутствует эффект столбца. В нашем случае это означает, что изменение закона распределения гистограммы не влияет на устойчивость оценки энтропии. Критерий Пейджа проверяет нулевую гипотезу о том, что отсутствует эффект строки. В нашем случае это означает, что все рассмотренные в работе факторы не влияют на оценку устойчивости энтропии, рассматриваемую в данной работе. В результате вычислений установлено, что для критерия Фридмана величина $P_v = 0,06$. Для критерия Пейджа величина $P_v = 0,30$. Эти величины превосходят критическую величину $P_v = 0,05$. Таким образом, следует в каждом случае принять альтернативную гипотезу о том, что оценка энтропии непрерывной случайной величины неустойчива к виду закона распределения, количеству интервалов гистограммы и, как это следует из условий (6...11) к количеству наблюдений.

Выводы

1. Разработаны предложения к методике определения устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов.

2. Предложен способ определения оценки устойчивости оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов.

3. Проведен численний експеримент, в процесі якого для різних способів визначення кількості інтервалів гистограми вивчено середнє значення ентропії та її верхня та нижня довірчі межі.

4. Для нормального, логістичного, гамма-розподілу та розподілу Вейбулла за результатами непараметричного дисперсійного аналізу встановлено, що оцінка ентропії неперервної випадкової величини нестійка до виду закону розподілу, кількості інтервалів гистограми та, відповідно, до кількості спостережень.

Список літератури

1. Кузьмін І.В. Основи теорії інформації та кодування / І.В. Кузьмін, В.А. Кедрус. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с.
2. Заездный А.М. Основи розрахунків за статистичною радіотехнікою / А.М. Заездный – М.: Связь, 1969. – 447 с.
3. Michlowicz J. V. Handbook of DIFFERENTIAL ENTROPY / J.V. Michlowicz, J.M. Nichols, Bucholtz F. – New York.: A. SHARPMAN & HALL, 2014. – 220 p.
4. Электрические измерения неэлектрических величин / [А.М. Турчин, П.В. Новицкий, Е.С. Левшина и др.] под ред. П.В. Новицкого. – Л.-д.: Энергия, 1975. – 576 с.
5. Гайдьшев І.П. Моделювання стохастических та детермінованих систем: Руководство пользователя программы Atte Stat / І.П. Гайдьшев. БИ, 2015. – 484 с.
6. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.-д.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
7. Башарин Г.П. О статистической оценке энтропии независимых случайных величин / Г.П. Башарин // Теория вероятностей и её применение. – 1959. – Т.IV, №3. – С. 361-364.
8. Добрушин Р.Л. Упрощенный метод экспериментальной оценки энтропии случайных последовательностей / Р.Л. Добрушин // Теория вероятностей и её применение. – 1958. – Т.3, вып. 4. – С. 462-464.

9. Зубков А.М. Предельные распределения статистической оценки энтропии / А.М. Зубков // Теория вероятностей и её применение. – 1973. – Т. 18, вып. 3. – С. 643-650.

10. Михайлов В.Г. Статистическое оценивание энтропии дискретных случайных величин с большим числом исходов / В.Г. Михайлов, В.А. Ватулин // Успехи математических наук. – 1995. – Т. 50, вып. 5 (305). – С. 121-134.

11. Ioannidis Y. The history of histograms / Y. Ioannidis // Proceeding 2003 VL Conference/ 2003. pp 19-30.

12. Битюков С.И. Сравнение гистограмм в физических исследованиях / С.И. Битюков, А.В. Максимушкина, В.В. Смирнова Сравнение гистограмм в физических исследованиях // Изв.ВУЗов, сер. «Ядерная физика». – 2016. – №1. – С. 81-90.

13. Петрушин В.Н. Бикритериальный метод построения и оценки качества гистограмм / В.Н. Петрушин, М.В. Ульянов, И.А. Чертихина, Е.В. Никульчев // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2012. – №4 – С. 3-12.

14. Тарасов И.Е. О выборе интервалов гистограммирования / И.Е. Тарасов // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 2.1 (44) – С. 181-184.

15. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. / Р.Н. Вадзинский. – М.: НАУКА, 2001. – 295 с.

16. Дубницький В.Ю. Оптимальная аппроксимация функции плотности распределения информации по критерию минимума потери информации / В.Ю. Дубницький, И.Г. Скорикова, А.И. Ходырев // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. 4. – С. 45-51.

17. Зельдин Е.А. Децибелы / Е.А. Зельдин. – М.: Энергия, 1977. – 64 с.

18. Дубницький В.Ю. Определение относительной оценки тяжести хвоста распределения – уровня хвоста / В.Ю. Дубницький, А.И. Ходырев // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2015. – Вип. 7 (132). – С. 83-92.

Надійшла до редколегії 1.08.2017

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

СТІЙКІСТЬ ОЦІНКИ ЕНТРОПІЇ ГІСТОГРАМИ НЕПЕРЕРВНОЇ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ЗМІНИ КІЛЬКОСТІ ЇЇ ІНТЕРВАЛІВ

В.Ю. Дубницький, Л.Д. Філатова, О.І. Ходырев

Розроблено пропозиції до методики визначення стійкості оцінки ентропії гистограми неперервної випадкової величини по відношенню до зміни кількості її інтервалів. Запропоновано спосіб визначення оцінки стійкості оцінки ентропії гистограми безперервної випадкової величини по відношенню до зміни кількості її інтервалів. Проведений чисельний експеримент в процесі якого для різних способів визначення кількості інтервалів гистограми обчислено середнє значення ентропії та її верхня та нижня довірчі межі. Для нормального, логістичного, гамма-розподілу та розподілу Вейбулла за результатами непараметричного дисперсійного аналізу встановлено, що оцінка ентропії неперервної випадкової величини нестійка до виду закону розподілу, кількості інтервалів гистограми та до кількості спостережень.

Ключові слова: ентропія, гистограма, оцінка ентропії, непараметричний дисперсійний аналіз, нормальний розподіл, логістичний розподіл, гамма-розподіл, розподіл Вейбулла.

EVALUATION STEADFASTNESS OF A CONTINUOUS RANDOM QUANTITY HISTOGRAM ENTROPY RELATIVE TO ALTERNATING NUMBER OF ITS INTERVALS

V.Yu. Dubnitskiy, L.D. Filatova, A.I. Khodyrev

Proposals were developed for evaluation steadfastness determination method of continuous random quantity histogram entropy relative to alternating number of its intervals. A determination process was proposed for evaluation steadfastness of continuous random quantity histogram entropy relative to alternating number of its intervals. Numerical experiment was performed and in its course average value of entropy and its top and bottom confidence limits for various determination methods of number of histogram intervals. It was found for normal distribution, logistical distribution, gamma distribution and Weibull's distribution by non-parametric dispersion analysis, that continuous random quantity entropy evaluation is not steadfast to the type of distribution law, to histogram number of intervals and to the number of observations.

Keywords: entropy, histogram, entropy evaluation, non-parametric dispersion analysis, normal distribution, logistical distribution, gamma distribution, Weibull's distribution.

УДК 577.352.5: 631.53.027.34

Л.І. Леві, О.М. Петровський

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЕННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

На основі будови клітин визначені електричні властивості біологічної тканини, з якої складається насіння рослин. Показана зміна складових активного опору в залежності від частоти електромагнітного випромінювання за допомогою якого проводилась стимуляція. Експериментально доведено, що еквівалентну електричну схему неможливо звести до простих випадків з'єднання опорів і ємностей, а саме насіння не можна вважати нейтральним діелектриком. Розроблена методика оцінки інтенсивності обмінних процесів залежно від електричного опору насіння.

Ключові слова: насіння, мембрана, опір, ємність, частота, еквівалентна схема, обмінний процес.

Вступ

Проведення передпосівної обробки насіння різними чинниками впливу позитивно позначається на процесах його проростання, вегетації рослин, і як наслідок, покращується формування колосу, плодів, підвищується врожайність. Існує чимало технологій передпосівної обробки насінневого матеріалу, що включають хімічні, біологічні, фізичні фактори впливу на стан насіння з метою стимуляції фізіологічних процесів проростання і розвитку. Зміна біофізичних властивостей насіння, стимуляція обміну речовин, інтенсифікація проростання, збільшення поглинання води й добрив є вирішальними задачами передпосівної обробки. Результат дії високочастотного електромагнітного поля на насіння залежить від електричних характеристик насіння. Крім того, вивчення зміни електричних характеристик після ВЧ-обробки насіння дає певні відомості що до зміни обмінних процесів у насінні.

Мета досліджень. На основі електрофізичної моделі будови насіння визначити зміну його електричних властивостей під впливом електромагнітної стимуляції обмінних процесів, із позитивним впливом на фізіологічний стан – схожість та енергію росту рослин.

Вдосконалення способу високочастотної електромагнітної стимуляції з забезпеченням оптимальних змін електричних властивостей насіння.

Аналіз літературних джерел. Сформувався два основних уявлення про вплив електромагнітних полів радіочастотного діапазону на матеріали і речовини. Для високочастотної області (міліметровий діапазон) перевага віддається «інформаційному впливу» [7], а для низькочастотної області (сантиметровий, дециметровий, метровий діапазони) зміни пояснюються за рахунок теплового впливу.

Трансформація електромагнітної енергії у матеріалах і речовинах приводить до нагрівання, од-

нак, наслідки цього ефекту можуть бути різними, починаючи з чисто фізичних змін у речовині (плавлення, прискорення розчинення), чи супроводжуватися хімічними реакціями (утворення складних ефірів, розщеплення крохмалів) [3]. У рослинах і біологічних об'єктах електромагнітні поля забезпечують оборотні і необоротні процеси, що використовуються для прискорення проростання насіння і збільшення врожайності рослин, знищення комах та їхніх личинок [1, 4]. Неоднозначність одержуваних результатів після впливу ЕМП обумовлена багатфакторністю систем, а також змінними зовнішніми умовами, найбільш істотними з яких є: вихідна вологість і температура зразка, що опромінюється, відношення рівня потужності до маси, стан зразка (щільність і рухливість).

За особливостями впливу на біологічні об'єкти спектр електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону підрозділяють на п'ять інтервалів [3, 5].

1. Одиниці герц ... 10 кГц – хвильова зона знаходиться на відстанях, де інтенсивність електромагнітного поля втрачає свою біологічну значимість.

2. 10кГц ... 30 МГц – характерне нерівномірне поглинання електромагнітної енергії різними біоструктурами насіння. Поглинання енергії зростає пропорційно квадрату колової частоти ω^2 .

3. 30 МГц ... 10 ГГц – характерно виникнення виражених інтерференційних явищ, що супроводжується складним розподілом поглиненої енергії. Максимальне поглинання має місце у випадку виникнення резонансних явищ за певного співвідношення довжини хвилі і розмірів об'єкта [5, 8]. Виникають області так званих «гарячих плям».

4. 10 ... 200 ГГц – характерне швидке загасання хвилі під час проходження через тканини. Ефективна глибина проникнення близько 0,01 ... 0,1 λ . Характерний ефект локального впливу. На частотах 49 ... 60 ГГц спостерігаються біорезонансні явища.

5. 200 ... 3000 ГГц – характерно поглинання енергії самими поверхневими шарами.

В основі механізму дії ЕМ поля лежить первинна дія на електрично заряджені частинки (іони, електрони, атоми, молекули), з яких складаються тканини біологічного об'єкту. Це дія обумовлена як тепловим, так і нетепловим осциляторним ефектом високочастотних коливань. Під впливом ЕМ поля за рахунок трансформації високочастотної енергії в теплову всередині тканин утворюється тепло, що залежить від електричних властивостей тканин, головним чином, від питомої електропровідності й діелектричної проникності, а також від частоти застосовуваного струму.

За рахунок наявності ємнісної складової, загальний опір біологічних тканин буде залежати від частоти, на якій здійснюється вимір опору. Зі збільшенням частоти загальний опір буде зменшуватися за рахунок зменшення ємнісної складової опору.

На високих частотах опір буде прямувати до нуля, а загальний опір перестане залежати від частоти і визначається паралельно з'єднаними опорами. Таке явище має місце на частотах 10^5 – 10^6 Гц. Найбільший опір біологічна тканина має для постійного струму і струму низької частоти, коли ємнісний опір набагато перевищує значення активного опору. Відношення опору на низькій частоті до опору на високій частоті називається поляризаційним коефіцієнтом. Величина поляризаційного коефіцієнту вказує на інтенсивність обмінних процесів. Чим більша інтенсивність обмінних процесів, тим більший поляризаційний коефіцієнт. Зазначимо, що у разі припинення обмінних процесів і руйнування клітинних мембран поляризаційний коефіцієнт зменшується. Самі мембрани стають провідниками, їхній опір стає малим. Тому загальний опір буде мати найменше значення і не буде залежати від частоти.

За частоти змінного струму близько 10^5 – 10^6 Гц ємнісна складова комплексного опору зменшується. Активний опір не залежить від частоти і лишається весь час сталим.

Коли клітини мембрани повністю зруйновані або їх функції остаточно порушені, ємнісна складова комплексного опору майже відсутня, то загальний опір перестане залежати від частоти і може вважатися чисто активним.

Основні результати теоретичних досліджень

Розроблено спосіб опромінення насіння. Спосіб полягає в опроміненні насіння електромагнітним полем високої частоти, яке виникає між конденсаторними пластинами, з'єднаними з генератором електромагнітних коливань [6].

Використовується синусоїдальна безперервна форма сигналу, що задається генератором сигналів,

забезпечується роботою ключа і блоку управління. Час опромінення обумовлений біофізичними властивостями опромінюваного насіння. Потужність залежить від фізіологічних параметрів оброблюваного матеріалу та умов навколишнього середовища.

Визначення електричних характеристик насипного насіння пшениці озимої проводили за допомогою вимірювача добротності (Q-метра) Е-4-4. Діапазон частот генератора цього приладу знаходиться в межах від 50кГц до 35МГц. Вимірювання проводилися на частотах 3, 6, 9, 12 МГц. Використовувався метод розстроювання ємності.

Вимірювалися характеристики необробленого насіння (контрольна партія) і насіння, оброблене електромагнітним полем ВЧ діапазону. Опромінення ВЧ полем проводили на частоті 27,12МГц за допомогою апарату УВЧ-60 Мед ТеКо. Потужність опромінення становила 60Вт, а тривалість обробки 5хвилин.

Наявність у біологічних тканинах поляризованих мембран приводить до того, що крім активного опору біологічні тканини характеризуються ще й ємнісним опором. Взагалі опір біологічних тканин, внаслідок вищезгаданих причин, буде комплексним. Мембрану клітини можна представити в вигляді паралельно з'єднаних активного опору та ємності (реактивного ємнісного опору). Опори міжклітинного і внутрішньоклітинного середовищ матимуть переважно лише активну складову. Для зручності визначення лінійних розмірів клітин, що необхідно у врахуванні масштабного фактора, представлено клітини в вигляді прямокутних паралелепіпедів. Розміри паралелепіпедів такі ж, як і розміри клітин. Зміна форми клітини істотно не вплине на електричні параметри. Як відомо, на електричні параметри перш за все впливають фізичні властивості тіла (питомий опір, діелектрична проникність, лінійні розміри). Форма тіла має другорядне значення.

У моделі зроблено спрощення і розташовано клітини впорядковано в вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 1). У цій моделі клітини розглядаються як паралелепіпеди певних розмірів, оточені зовнішніми клітинними мембранами, які, в свою чергу, оточені міжклітинним середовищем.

Еквівалентна електрична схема однієї комірки моделі (клітини) може бути представлена певним поєднанням опорів і ємностей (рис. 2.).

Оскільки можна вважати, що опір міжклітинного середовища набагато менший опору клітини $r_{mc} \ll r_k$, то в подальших розрахунках не враховано r_{mc} . Комплексний опір мембрани \dot{Z}_1 , паралельно з'єднаних r_m і C_m , буде визначатися таким чином [2]:

$$\frac{1}{\dot{Z}_1} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{X_c} = \frac{1}{r_m} + j\omega C_m. \quad (1)$$

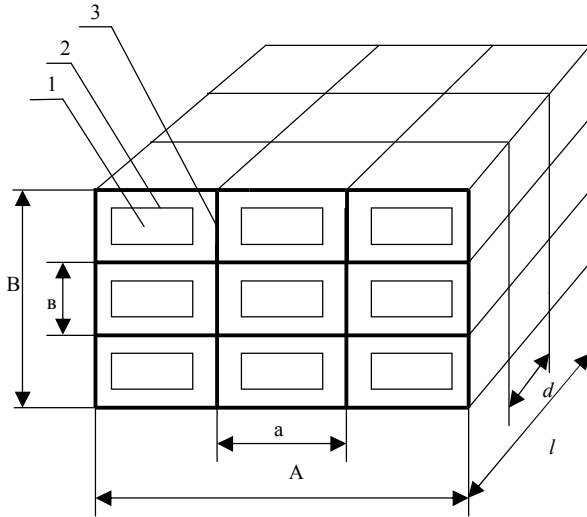


Рис. 1. Модель тіла, що має клітинну будову:
1 – вміст клітини; 2 – клітинна мембрана;
3 – міжклітинне середовище; a, b, d – лінійні розміри клітини; A, B, l – лінійні розміри насіння

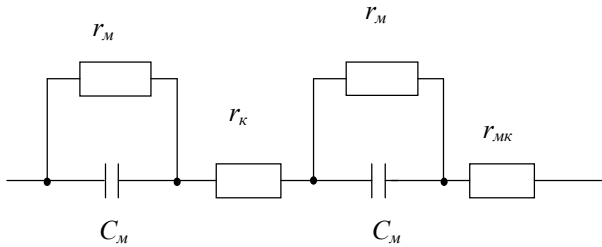


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема клітини:
 r_m – активний опір мембрани, Ом; C_m – ємність мембрани, Ф; r_k – опір вмісту клітини, Ом; r_{mk} – опір міжклітинного середовища, Ом.

Після перетворень з урахуванням масштабного фактора одержано:

$$\dot{Z}_{заг} = (\gamma l / S) \times \frac{R_{КОМ} \rho_{МК}^2 + \gamma \rho_{МК} R_{КОМ}^2 - \gamma X_{КОМ}^2 - j(\rho_{МК} X_{КОМ} + \gamma R_{КОМ} X_{КОМ} \rho_{МК} + \rho_{МК} \gamma R_{КОМ} X_{КОМ})}{(\rho_{МК} + \gamma R_{КОМ})^2 + (\gamma X_{КОМ})^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } R_{КОМ} = (r_k + 2r_m + r_k r_m^2 \omega^2 C_m^2) / (1 + \omega^2 C_m^2 r_m^2), \quad (3)$$

$$X_{КОМ} = \omega C_m \cdot 2r_m^2 / (1 + \omega^2 C_m^2 r_m^2). \quad (4)$$

Аналізуючи вираз (2), можна побачити, що простий вигляд він має тільки у деяких окремих випадках, коли здійснюється висока поляризація клітинних мембран (значна інтенсивність обміну речовин), то $\omega^2 C_m^2 r_m^2 \gg 1$. Якщо, крім того, можна знехтувати провідністю міжклітинного середовища, тобто $1/R \rightarrow 0$, і відповідно $\rho_{МК}^2 \rightarrow \infty$, то поділивши чисельник і знаменник виразу (2) на $\rho_{МК}^2$ і враховуючи, що за зробленими припущеннями $\rho_{МК} \rightarrow \infty$, одержимо:

$$\dot{Z}_{заг} = \frac{\gamma l}{S} (R_{КОМ} - jX_{КОМ}). \quad (5)$$

Тобто, за зробленими припущеннями, опір насіння складається з послідовно з'єднаних активного опору $\gamma R_{КОМ} / S$ та ємнісного опору $\gamma X_{КОМ} / S$.

Якщо опір комірки моделі (клітини) переважно реактивний (ємнісний), але провідністю міжклітинного середовища нехтувати не можна, то

$$\frac{1}{\dot{Z}_{заг}} = \frac{S}{\gamma l} \left(\frac{\gamma}{\rho_{МК}} + j \frac{1}{X_{КОМ}} \right). \quad (6)$$

У цьому випадку ми маємо паралельне з'єднання активного опору міжклітинного середовища та ємнісного опору мембрани. За достатньо низьких і достатньо високих частотах опір тканини буде переважно активним, але його абсолютне значення за низьких частот суттєво залежить від степеня поляризації клітинних мембран.

Експериментальні дослідження

Результат дії високочастотного електромагнітного поля на насіння залежить від електричних характеристик насіння. Крім того, вивчення зміни електричних характеристик після ВЧ обробки насіння дає певні відомості щодо зміни обмінних процесів у насінні.

Визначення електричних характеристик насипного насіння озимої пшениці проводили за допомогою вимірювача добротності (Q-метра) Е-4-4. Діапазон частот генератора цього приладу знаходиться в межах від 50кГц до 35 МГц. Вимірювання проводилися на частотах 3, 6, 9, 12 МГц. Використовувався метод розстроювання ємності. Насіння насипали у вимірювальну комірку, в якій знаходилися дві паралельні металеві пластинки, що утворювали плоский конденсатор. Діелектриком такого конденсатора виступало насипане в комірку насіння. Для вимірів застосовували котушки з попередньо визначеними значеннями індуктивності і добротності [12, 14].

Вимірювали характеристики необробленого насіння (контрольна партія) і насіння, обробленого електромагнітним полем ВЧ діапазону. Опромінення ВЧ полем проводили на частоті 27,12 МГц за допомогою апарата УВЧ-60 Мед ТеКо. Потужність опромінення складала 60 Вт, а тривалість обробки – 5 хвилин. Для обробки насіння ВЧ полем і для вимірювання його електричних характеристик використовувалося незволене насіння, його вологість складала приблизно 10 %. За допомогою Q-метра вимірювали комплексний опір, тобто активну і ємнісну складові опору. Для визначення цих характеристик використовували паралельну схему з'єднання ємності й активного опору. Це дозволило розрахувати діелектричну проникливість і питомий опір насіння.

Експериментальні результати визначення активного опору для неопроміненого і опроміненого насіння пшениці наведені на рис. 3.



Рис. 3. Залежність активного опору опроміненого (нижня крива) і неопроміненого (верхня крива) насіння пшениці від частоти

Із наведених результатів видно, що обробка насіння полем ВЧ впливає на його електричні характеристики. Слід зазначити, що в досліджах використовувалося сухе насіння, тобто насіння, яке спеціально не зволожували. Внаслідок цього ємнісна складова комплексного опору значно перевищує його активну складову і дозволяє, в даному випадку, вважати насіння діелектриком.

Опромінене насіння характеризується меншим значенням активного опору для паралельної схеми вимірювання, що пов'язано зі збільшенням проникливості мембран після опромінення насіння полем ВЧ.

ВИСНОВКИ

Розроблена фізико-математична модель електричних властивостей біологічних тканин рослин, що дає змогу аналізувати пасивні електричні характеристики насіння на різних частотах до і після опромінення. Визначено, що еквівалентна електрична схема насіння є комбінованою й її неможливо звести до послідовно чи паралельно з'єднаних постійних ємності та активного опору. Експериментально підтверджено, що під дією ВЧ опромінення змінюється

опір; це пояснюється інтенсифікацією обмінних процесів, збільшенням водопоглинання і, як наслідок, стимулюється процес проростання.

Список літератури

1. Бородин И. Ф. Воздействие электромагнитной волны с семенем при дезинсекции зерна / И. Ф. Бородин, С. В. Вендин, С. Г. Кузнецов // *Техника в сельском хозяйстве*. – 1991. – № 6. – С. 8–10.
2. Грабовски Б. *Справочник по электронике* / Б. Грабовски : [пер. с фр. А. В. Хаванов – 2-е изд., испр.]. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 416 с.
3. Исмаилов Э. Ш. *Биофизическое действие СВЧ излучений* / Э. Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 306 с.
4. Кутовой В. А. *Высокочастотная технология защиты зерна от амбарных вредителей* / В. А. Кутовой, Б. И. Рудяк, Л. А. Базыма [и др.] // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2001. – № 4. – С. 129–132.
5. *Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами* / В.П. Олейник. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 61 с.
6. Пат.51700 UA МПК (2009) A01C 1/00 (2010. 07), *Способ передосівного опромінення насіння зернових*. / Петровський О.М., Смердов А.А., Жемела Г.П., Волков С.І., Ландар А.А. // власник Петровський О.М. Патент на корисну модель №51700. заявлено 15.02.2010; опубліковано 26.07.2010. Бюл. № 14 2010р.
7. Черенков А. Д. *Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства* / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // *Світлотехніка та електроенергетика* / *Міжнародний науково-технічний журнал*. – Х.: ХНАМГ. – 2005. – № 5. – С. 77–80.
8. Thomasset A. *Proprietes bioelectriques des tissus. Mesure de l'impedance en clinique* / A. Thomasset // *Lyon Med.* – 1962 – № 28. – P. 107–109.

Надійшла до редколегії 22.08.2017

Рецензент: д-р. хім. наук, проф. В.В. Соловійов, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Л.И. Леви, А.Н. Петровский

На основе строения клеток определены электрические свойства биологической ткани, из которой состоит семя растений. Показано изменение составляющих активного сопротивления в зависимости от частоты электромагнитного излучения с помощью которого проводилась стимуляция. Экспериментально доказано, что эквивалентную электрическую схему невозможно свести к простым случаям соединения сопротивлений и емкостей, а именно семена нельзя считать нейтральным диэлектриком. Разработана методика оценки интенсивности обменных процессов в зависимости от электрического сопротивления семян.

Ключевые слова: семена, мембрана, сопротивление, емкость, частота, эквивалентная схема, обменный процесс.

PHYSICO-MATHEMATICAL MODEL OF INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF BIOLOGICAL FABRICS

L.I. Levi, A.N. Petrovskiy

Based on the structure of cells, the electrical properties of the biological tissue from which the seeds of plants are composed are determined. The change in the components of the active resistance is shown depending on the frequency of the electromagnetic radiation by means of which stimulation was carried out. It has been experimentally proved that an equivalent electrical circuit can not be reduced to simple cases of connecting resistances and capacitances, namely, the seeds can not be considered a neutral dielectric. A technique for estimating the intensity of metabolic processes as a function of the electrical resistance of seeds has been developed.

Keywords: seeds, membrane, resistance, capacity, frequency, equivalent circuit, exchange process.

УДК 514.853

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, М.М. Гонтар

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ СФЕРИЧНОГО РОБОТА З МАЯТНИКОВИМ ПРИВОДОМ

У статті розглядається побудова математичної моделі руху сферичного робота з маятниковим приводом при прямолінійному русі по горизонтальній та похилій поверхні, при подоланні перешкод та при повороті. За допомогою отриманої моделі проведено дослідження залежності радіусу повороту робота від швидкості його руху і кута нахилу маятника для руху на низькій, середній і високій швидкостях

Ключові слова: сферичний робот, гіроскопічний ефект, радіус повороту, маятник.

Вступ

Серед різноманітних типів мобільних роботів, сферичні роботи стають все більш привабливими в останнє десятиліття, оскільки вони мають ряд переваг:

- тільки одна точка контакту із землею з мінімальним тертям при пересуванні, що дозволяє заощаджувати енергію;
- сферична структура дозволяє пересуватися навіть в значно обмежених просторах;
- сферичний екзоскелет може захистити внутрішню структуру від зовнішніх впливів (пилу, рідини або навіть газів);
- немає жодної небезпеки, що робот впаде, перевернеться та втратить мобільність, що є значною небезпекою для інших типів роботів, таких як, наприклад, людиноподібні.

До сьогодні, кількість проведених досліджень по реалізації сферичних роботів була не значною. Сферичні роботи зазвичай можуть генерувати лише незначний крутний момент для власного обертання. Це робить складним для цих роботів подолання перешкод і підйом в гору. Хоча більшість сферичних роботів використовують в якості рушійної сили зміщення центру мас, принципи, які використовуються для переміщення маси, відрізняються. Це може бути використання внутрішнього приводного блоку, маятника або оболонки робота, що деформується.

В статті розглядається рух сферичного робота з маятниковим приводом, що працює на гладких плоских поверхнях. Деякі попередні дослідження також оговорюють пересування по плоских поверхнях.

Кошіяма [1] проаналізував динаміку сферичних роботів і розробив прототип робота. По-перше, він розділив для простоти рух переміщення і рух керування, після чого для отримання рівнянь руху використав рівняння Лагранжа. Він також провів експеримент руху з використанням прототипу робота. Лапланте [2] запропонував математичний опис і результати моделювання, що визначають взаємозв'язок між крутизною рульового управління і вели-

чиною переміщення внутрішньої маси сферичного робота. Як і очікувалося, повільніші швидкості і великі кути повороту призводять до різкого рульового управління роботом. Шпітцмюлер [3] розробив прототип і винайшов для нього простий спосіб розмікненого управління. Між тим, попередні дослідження мають деякі проблеми – аналіз динаміки ігнорує можливий гіроскопічний ефект сферичного тіла, що котиться. Хоча цим ефектом можна знехтувати при невеликій швидкості, він стає важливим при зростанні швидкості.

Основна частина

Для отримання математичної моделі динаміки руху сферичного робота з маятниковим приводом розіберемо рух робота на дві складові – прямолінійний рух і поворот, які досліджувалися окремо.

Динаміка прямолінійного руху. Для виведення рівнянь руху використаємо рівняння Лагранжа.

Горизонтальний рух. Потенційні, кінетичні і обертальні енергії як для кулі, так і для маятника робота задаються таким чином (рис. 1):

$$\left\{ \begin{array}{l} U_1 = 0; \\ U_2 = -M_2 g e \cos(\theta_1 + \theta_2); \\ K_1 = M_1 (r\omega_1)^2 / 2; \\ K_2 = M_2 \left[(r\omega_1 - e \cos(\theta_1 + \theta_2)(\omega_1 + \omega_2))^2 + (e \sin(\theta_1 + \theta_2)(\omega_1 + \omega_2))^2 \right] / 2; \\ T_1 = J_1 \omega_1^2 / 2; \\ T_2 = J_2 (\omega_1 + \omega_2)^2 / 2, \end{array} \right. \quad (1)$$

де U_1 – потенційна енергія кулі по відношенню до висоти її ЦМ; U_2 – потенційна енергія маятника по відношенню до висоти ЦМ кулі; K_1 – кінетична енергія кулі; K_2 – кінетична енергія маятника; T_1 – обертальна енергія кулі; T_2 – обертальна енергія маятника; r – радіус кулі; e – відстань між ЦМ кулі і маятника; θ_1 – кут повороту кулі; θ_2 – кут повороту маятника відносно кулі; ω_1 – кутова швидкість кулі;

ω_2 – кутова швидкість маятника відносно кулі; J_1 – момент інерції кулі відносно її ЦМ; J_2 – момент інерції маятника відносно його ЦМ; M_1 – маса кулі; M_2 – маса маятника; g – прискорення вільного падіння.

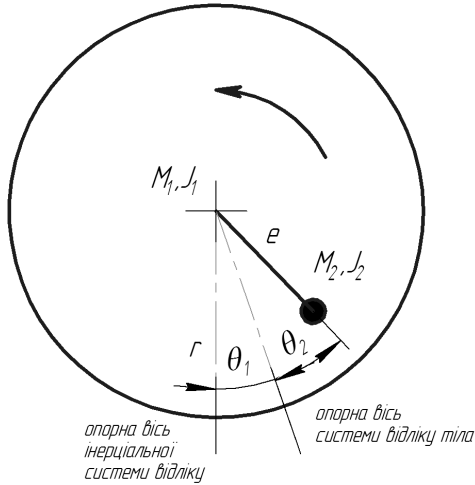


Рис. 1. Моделювання зміни напрямку руху кулі

Функція Лагранжа розраховується таким чином

$$L = K_1 + K_2 + T_1 + T_2 - U_1 - U_2, \quad (2)$$

Тепер рівняння руху Лагранжа може бути виражена таким чином:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \omega_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -T + T_f, \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \omega_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} = T, \quad (4)$$

де t – час; T – крутний момент, прикладений між кулею і маятником; T_f – крутний момент тертя між кулею і поверхнею землі. Таким чином, ми маємо:

$$-T + T_f = a_1 (J_1 + J_2 + M_1 r^2 + M_2 r^2 + M_2 e^2 - 2M_2 \times r e \cos(\theta_1 + \theta_2)) + a_2 (J_2 - M_2 r e \cos(\theta_1 + \theta_2) + M_2 e^2) + M_2 (r e \sin(\theta_1 + \theta_2) (\omega_1 + \omega_2)^2 + g e \sin(\theta_1 + \theta_2)); \quad (5)$$

$$T = a_1 (J_2 - M_2 r e \cos(\theta_1 + \theta_2) + M_2 e^2) + a_2 (J_2 + M_2 e^2) + M_2 g e \sin(\theta_1 + \theta_2). \quad (6)$$

Для простоти будемо називати кут нахилу маятника відносно вертикальної осі, а саме $\theta_2 - \theta_1$, кутом ведення.

Рух при підйомі і спусканні. Після отримання рівнянь горизонтального руху, досить просто вивести динаміку руху при підйомі і спусканні. Якщо прийняти, що єдиною відмінністю між горизонтальним рухом і рухом при підйомі або спусканні є напрямок сили тяжіння, необхідно внести невеликі зміни у значення U_1 і U_2 :

$$U_1 = -M_1 g r \theta_1 \sin \alpha, \quad (7)$$

$$U_2 = -M_2 g r \theta_1 \sin \alpha - M_2 g e \cos(\theta_1 + \theta_2 + \alpha), \quad (8)$$

де α – кут нахилу поверхні (рис. 2).

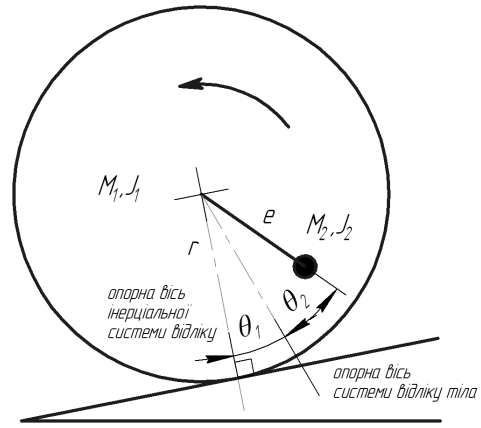


Рис. 2. Рух кулі при підйомі і спусканні

$$-T + T_f = a_1 (J_1 + J_2 + M_1 r^2 + M_2 r^2 + M_2 e^2 - 2M_2 \times r e \cos(\theta_1 + \theta_2)) + M_2 r e \sin(\theta_1 + \theta_2) (\omega_1 + \omega_2)^2 + a_2 (J_2 - M_2 r e \cos(\theta_1 + \theta_2) + M_2 e^2) + M_2 g e \sin(\theta_1 + \theta_2 + \alpha) - (M_1 + M_2) g r \sin \alpha; \quad (9)$$

$$T = a_1 (J_2 - M_2 r e \cos(\theta_1 + \theta_2) + M_2 e^2) + a_2 (J_2 + M_2 e^2) M_2 g e \sin(\theta_1 + \theta_2 + \alpha). \quad (10)$$

Подолання перешкоди. Розглянемо рух роботу при подоланні ним перешкоди (рис. 3). Будемо вважати, що прослизання відсутнє та робот не має кінетичної енергії.

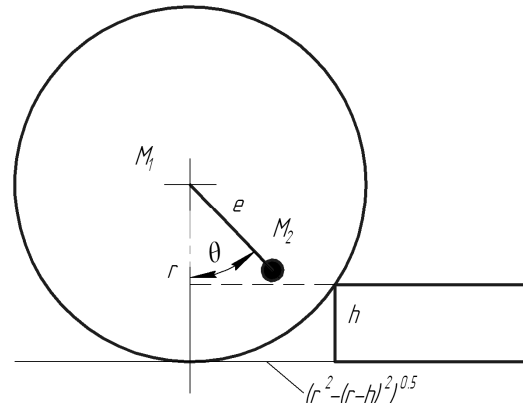


Рис. 3. Подолання перешкоди

Для того, щоб сферичний робот міг піднятися на перешкоду, його крутний момент повинен бути більшим, ніж зворотний крутний момент від сили тяжіння:

$$\begin{aligned} M_2 g e \sin \theta &> (M_1 + M_2) g \sqrt{r^2 - (r-h)^2}, \\ M_2^2 e^2 \sin^2 \theta &> (M_1 + M_2)^2 (r^2 - (r-h)^2), \\ (r-h)^2 &> r^2 - e^2 \sin^2 \theta M_2^2 / (M_1 + M_2)^2, \\ h &< r - \sqrt{r^2 - (e \sin \theta M_2 / (M_1 + M_2))^2}, \\ h_{\max} &= r - \sqrt{r^2 - (e M_2 / (M_1 + M_2))^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

де h – висота перешкоди; θ – кут ведення маятника.

Внаслідок досить незначної величини кута ведення для сферичних роботів висота перешкоди, яку вони можуть подолати, є досить незначною у порівнянні з радіусом робота. Таким чином подолання перешкод є критичним недоліком руху сферичних роботів. Тому для подолання перешкод необхідне застосування спеціальних методів, таких, наприклад, як використання кінетичної енергії робота, "стрибків" при швидкому русі маятника або використання каркасного корпусу, пусті ділянки якого дозволяють долати перешкоди навіть не торкаючись до них.

Динаміка повороту. Прийmemo модель руху робота при повороті (рис. 4). Тут θ – кут крену (нахилу) кулі; γ – кут нахилу маятника відносно кулі; ω – кутова швидкість руху кулі; Ω – кутова швидкість повороту кулі; r – радіус кулі; e – відстань між ЦМ кулі і маятника; I – момент інерції кулі навколо своєї осі крену; M_1 – маса кулі; M_2 – маса маятника; g – прискорення вільного падіння.

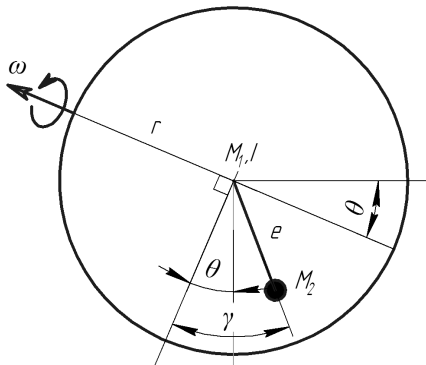


Рис. 4. Моделювання повороту

Для простоти, боковий кут нахилу маятника відносно кулі, γ , будемо називати кутом повороту, а нахил головного валу, θ , – кутом крену.

Поворот кулі на низькій швидкості. Основними припущеннями, прийнятими під час проведення цього аналізує: рівновага сил крутного моменту включає відцентрову силу повороту; робот рухається по окружності, центром якої є точка перетину поверхні і лінії валу обертання робота (рис. 5).

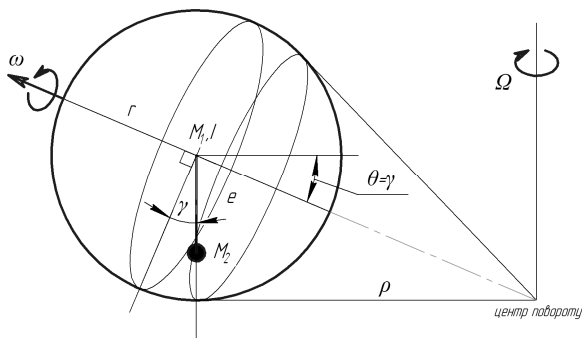


Рис. 5. Моделювання повороту з малою швидкістю

Відцентрову силою можна знехтувати в процесі розрахунку, якщо робот рухається на дуже низькій швидкості. У таких випадках, кут крену θ є

таким же, як кут повороту маятника γ . Радіус повороту ρ може бути визначений як:

$$\rho = r / \tan \gamma . \quad (12)$$

де U_1 – потенційна енергія кулі по відношенню до висоти її ЦМ; U_2 – потенційна енергія маятника по відношенню до висоти ЦМ кулі; K_1 – кінетична енергія кулі; K_2 – кінетична енергія маятника; T_1 – обертальна енергія кулі; T_2 – обертальна енергія маятника; r – радіус кулі; e – відстань між ЦМ кулі і маятника; θ_1 – кут повороту кулі; θ_2 – кут повороту маятника відносно кулі; ω_1 – кутова швидкість кулі; ω_2 – кутова швидкість маятника відносно кулі; J_1 – момент інерції кулі відносно її ЦМ; J_2 – момент інерції маятника відносно його ЦМ; M_1 – маса кулі; M_2 – маса маятника; g – прискорення вільного падіння.

Враховуючи, що довжина шляху l , пройдена при повороті, рівна

$$l = \omega r \cos \gamma = \rho \Omega , \quad (13)$$

кутова швидкість повороту Ω дорівнює:

$$\Omega = \omega r \cos \gamma / \rho = \omega r \cos \gamma \tan \gamma / r = \omega \sin \gamma . \quad (14)$$

Поворот кулі на середній швидкості. Коли робот рухається з середньою швидкістю, гіроскопічним ефектом можна знехтувати, але відцентрова сила має бути прийнята до уваги (рис. 6, 7).

Тут F_1 – відцентрова сила, прикладена до ЦМ кулі; F_2 – відцентрова сила, прикладена до ЦМ маятника; N – вертикальна сила реакції від точки контакту; f – тертя в точці контакту;

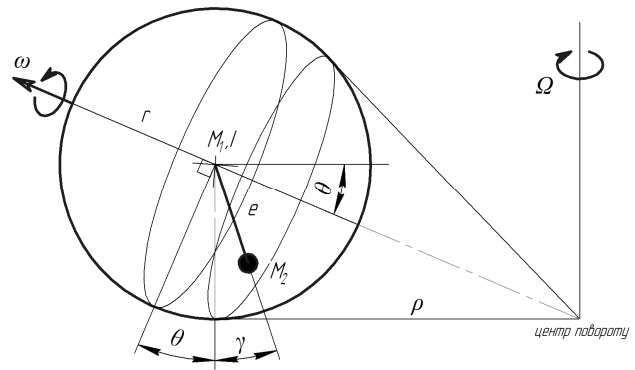


Рис. 6. Моделювання повороту на середній швидкості

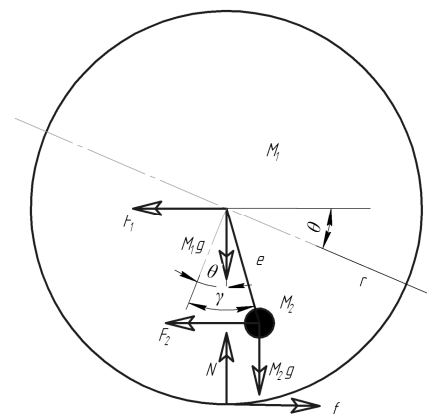


Рис. 7. Сили, прикладені до елементів робота

$$F_1 = M_1 \rho \Omega^2, \quad (15)$$

$$F_2 = M_2 (\rho - \sin(\gamma - \theta) e) \Omega^2, \quad (16)$$

$$\Omega = v / \rho. \quad (17)$$

Рівновага сили крутного моменту:

$$F_1 + F_2 = f, \quad (18)$$

$$N = (M_1 + M_2) g, \quad (19)$$

$$rf = e \sin(\gamma - \theta) M_2 g + e \cos(\gamma - \theta) F_2. \quad (20)$$

З круглої форми кулі маємо:

$$\tan \theta = r / \rho. \quad (21)$$

Для простоти можна припустити, що θ і $(\gamma - \theta)$ мають досить малі значення, що дозволяє прийняти наступні спрощення:

$$\sin(\gamma - \theta) \approx (\gamma - \theta), \quad (22)$$

$$\cos(\gamma - \theta) \approx 1, \quad (23)$$

$$\tan \theta \approx \theta. \quad (24)$$

Ігноруючи також множення малих величин, отримуємо таке рівняння:

$$\rho = \left((M_1 + M_2) r v^2 + e M_2 (g r - v^2) \right) / (e g M_2 \gamma). \quad (25)$$

Важливо відмітити, що похибки моделі, які виникають внаслідок прийнятих спрощень (22), (23) і (24), не завжди є малими. Наприклад, $\tan \theta$ може досягати значення 0,3, що призводить до похибки в 3% у спрощенні (24). Сумарна похибка може досягати 10%, залежно від швидкості і кута повороту, що робить (25) недостовірним в деяких випадках.

Тим не менш, способи управління, розглянуті в цьому дослідженні, не залежать від рівняння (25). Найбільш важливою характеристикою сферичної робота є те, що чим більшим є кут повороту і чим меншою є швидкість, тим крутішим стає поворот. Використовуючи цю властивість, робот може управляти сам собою за допомогою зворотних зв'язків.

Таким чином, похибка в декілька відсотків не відкидає застосування методів контролю та основні результати цього дослідження.

Поворот кулі на великій швидкості. Коли куля рухається на високій швидкості, ні гіроскопічним ефектом, ні ефектом відцентрової сили не можна нехтувати. Враховуючи, що $\rho \gg r > e$, сила тертя в точці контакту дорівнює:

$$f = F_1 + F_2 = M_1 \rho \Omega^2 + M_2 (\rho - \sin(\gamma - \theta) e) \Omega^2 \approx (M_1 + M_2) \rho \Omega^2. \quad (26)$$

Крутний момент, прикладений до кулі:

$$N = e \sin(\gamma - \theta) M_2 g + e \cos(\gamma - \theta) F_2 - rf \approx M_2 g e \sin(\gamma - \theta) + M_2 \rho \Omega^2 e \cos(\gamma - \theta) - r (M_1 + M_2) \rho \Omega^2; \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \bar{\omega} &= \Omega \hat{z} - \dot{\theta} \hat{l} + \omega \hat{k} = \Omega (\cos \theta \hat{m} - \sin \theta \hat{k}) - \dot{\theta} \hat{l} + \omega \hat{k} = \\ &= \Omega \cos \theta \hat{m} + (\omega - \Omega \sin \theta) \hat{k}, \end{aligned} \quad (28)$$

так як $\hat{z} = \cos \theta \hat{m} - \sin \theta \hat{k}$, $\dot{\theta} = 0$.

$$L = I \Omega \cos \theta \hat{m} + I_3 (\omega - \Omega \sin \theta) \hat{k}. \quad (29)$$

$$\bar{M}_N = -N \hat{l} = \frac{dL}{dt} = \Omega \times L =$$

$$= I \Omega^2 \cos \theta \hat{z} \times \hat{m} + I_3 \Omega (\omega - \Omega \sin \theta) \times \hat{k} =$$

$$= I \Omega^2 \cos \theta (-\sin \theta) \hat{l} + I_3 \Omega (\omega - \Omega \sin \theta) (-\cos \theta) \hat{l} =$$

$$= -\hat{l} \left(I \Omega^2 \cos \theta \sin \theta + I_3 \Omega \cos \theta (\omega - \Omega \sin \theta) \right). \quad (30)$$

або, враховуючи, що $(I - I_3) / I_3 \ll 1$, $\Omega / \omega \ll 1$,

$$N = I \Omega^2 \cos \theta \sin \theta + I_3 \Omega \cos \theta (\omega - \Omega \sin \theta) =$$

$$= I_3 \Omega \omega \cos \theta \left(1 + \frac{I - I_3}{I_3} \frac{\Omega}{\omega} \sin \theta \right) = I_3 \Omega \omega \cos \theta, \quad (31)$$

де $\bar{\omega}$ – вектор кутової швидкості кулі; Ω – кутова швидкість обертання кулі; θ – кут крену кулі; L – вектор кутового моменту кулі; I_3 – момент інерції кулі навколо її вісі обертання; I – момент інерції кулі навколо вісі, перпендикулярної до вісі обертання; \bar{M}_N – вектор крутного моменту, прикладеного до кулі. З рівнянь (27) і (31) маємо:

$$M_2 g e \sin(\gamma - \theta) + M_2 \rho \Omega^2 e \cos(\gamma - \theta) - r (M_1 + M_2) \rho \Omega^2 \approx I_3 \Omega \omega \cos \theta. \quad (32)$$

Враховуємо рівняння $\Omega = \omega \cos \theta / \rho$, маємо

$$I_3 \frac{r \omega \cos \theta}{\rho} \omega \cos \theta \approx M_2 g e \sin(\gamma - \theta) + M_2 \rho \frac{r^2 \omega^2 \cos^2 \theta}{\rho^2} \times$$

$$\times e \cos(\gamma - \theta) - r (M_1 + M_2) \rho \cdot \left(r^2 \omega^2 \cos^2 \theta / \rho^2 \right),$$

$$I_3 \frac{r \omega^2 \cos^2 \theta}{\rho} \approx M_2 g e \sin(\gamma - \theta) + M_2 \frac{r^2 \omega^2 \cos^2 \theta}{\rho} \times$$

$$\times e \cos(\gamma - \theta) - r (M_1 + M_2) \cdot \left(r^2 \omega^2 \cos^2 \theta / \rho \right),$$

$$\rho M_2 g e \sin(\gamma - \theta) \approx r \omega^2 \cos^2 \theta (I_3 - M_2 r e \cos(\gamma - \theta) + r^2 (M_1 + M_2)),$$

$$\rho \approx \frac{r \omega^2 \cos^2 \theta (I_3 - M_2 r e \cos(\gamma - \theta) + r^2 (M_1 + M_2))}{M_2 g e \sin(\gamma - \theta)}.$$

Якщо $\theta = 0$ завдяки стабілізуючому гіроскопічному ефекту, отримуємо наступне рівняння:

$$\rho \approx \frac{r \omega^2 (I_3 - M_2 r e \cos \gamma + r^2 (M_1 + M_2))}{M_2 g e \sin \gamma}. \quad (33)$$

Чисельні розрахунки. Задавши параметрами для прототипу робота, можна обчислити радіус повороту для деяких різних умов (рис. 8). Відмітимо, що нульова швидкість означає нескінченно малу швидкість. Вона також може бути витлумачена як характеристики повороту без повного урахування відцентрової сили. Приймаємо для чисельного моделювання такі значення параметрів сферичного робота: $e = 0,06$ м; $g = 9,8$ м/с²; $M_1 = 3,0$ кг; $M_2 = 1,5$ кг; $r = 0,3$ м; $I_3 = J_1 = 6,0 \cdot 10^{-2}$ кг·м²; $v = r \omega$.

Як видно з рисунку, поворот є крутішим при великих кутах повороту і менших швидкостях.

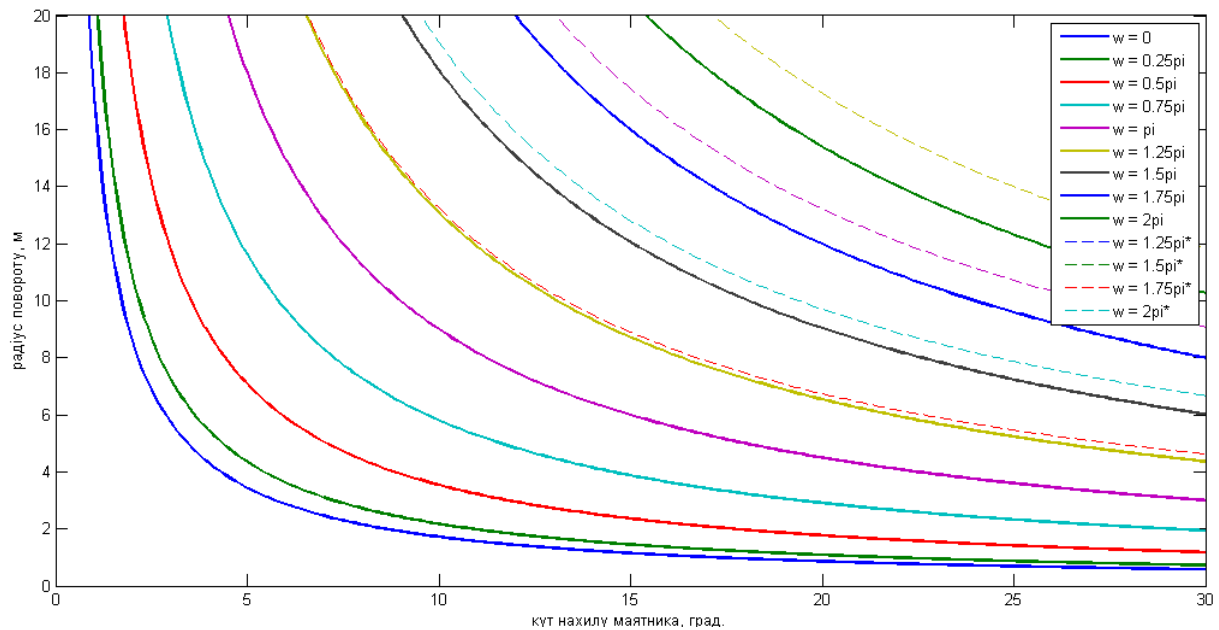


Рис. 8. Залежність радіусу повороту від кута повороту маятника (* – з урахуванням гіроскопічного ефекту)

Висновки

Отримана математична модель руху сферичного робота з маятниковим приводом при прямолінійному русі (по горизонтальній, похилій поверхні та при подоланні перешкод) та повороті дозволяє проводити його імітаційне моделювання як об'єкта управління.

Проведене дослідження залежності радіусу повороту від швидкості і кута повороту робота для руху на низькій, середній і високій швидкостях показало, що з врахуванням гіроскопічного ефекту, чи без нього, основна тенденція не змінюється – чим менша швидкість і чим більший кут повороту маятника, тим меншим буде радіус повороту. Так як ця залежність залишається незмінною незалежно від врахування гіроскопічного ефекту, то синтез системи автоматичного управління рухом сферичного робота можна проводити не враховуючи його.

nisms, Motion Principle, Control Methods and Experimental Results of a Stand-alone Spherical-wheeled Robot) / A. Koshiyama, K. Fujii // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. C (Japanese), 1996. – 62(602):3793-3801.

2. Laplante, J.F. Etude de la Dynamique D'un Robot Spherique et de son effet sur L'attention et la Mobilite de Jeunes Enfants. Génie mécanique / J.F. Laplante. – Université de Sherbrooke, 2004. – 153 p.

3. Spitzmueller S. Microcontroller Based Control System for a Rolling Minirobot. Master's thesis / S. Spitzmueller. – Helsinki University of Technology, 1998.

4. Halme A. Motion control of a spherical mobile robot. Advanced Motion Control / A. Halme, T. Wang // AMC'96-MIE. Proceedings., 4-th International Workshop on, 1, 1996.

5. Иванова Т.Б. Динамика и управление сферическим роботом с осесимметричным маятниковым приводом / Т.Б. Иванова, Е.Н. Пивоварова. // Нелинейная динамика, т. 9, № 3, 2013. – С. 507-520.

6. Баландин Д.В. Управление движением сферического робота с маятниковым приводом / Д.В. Баландин, М.А. Комаров, Г.В. Осипов // Изв. РАН. Теория и системы управления, № 4, 2013. – С. 150–163.

Список літератури

1. Koshiyama A. Development and Motion Control of the All-Direction Steering-Type Mobile Robot (4th Report, Mecha-

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

Надійшла до редколегії 22.06.2017

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА С МАЯТНИКОВЫМ ПРИВОДОМ

Д.Н. Нелюба

В статье рассматривается построение математической модели движения сферического робота с маятниковым приводом при прямолинейном движении по горизонтальной и наклонной поверхности, при преодолении препятствий и при повороте. С помощью полученной модели проведено исследование зависимости радиуса поворота робота от скорости его движения и угла наклона маятника для движения на низкой, средней и высокой скоростях

Ключевые слова: сферический робот, гироскопический эффект, радиус поворота, маятник.

PENDULUM DRIVEN SPHERICAL ROBOT MOTION MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT

D.M. Neliuba

The article discusses development of a pendulum driven spherical robot mathematical model for rectilinear motion along horizontal and inclined surfaces, to overcome obstacles and turn. Using resulting model investigated dependence of robot turning radius on its movement speed and pendulum inclination for low, medium and high speeds.

Keywords: spherical robot, gyroscopic effect, turning radius, pendulum.

УДК 62.7:519.2

О.Ю. Кропачек

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РИСКОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ КВАДРАТИЧНОЙ ДИСКРИМИНАНТНОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрена вероятностная модель квадратичного дискриминирующего преобразования входных случайных векторных измерительных сигналов в информационной системе технической диагностики, когда коэффициенты функции преобразования случайны. Показано, что такая модель – это суперпозиция условных (по классам диагностируемых состояний) центрального и нецентрального распределений Фишера, число степеней которых зависит как от объемов обучающих выборок компонент входного вектора, так и по классам состояний. Предложен метод оценивания достоверности диагностики, как функции не только размерности входного вектора измеряемых информативных признаков, но и дискриминантной функции.

Ключевые слова: диагностика, контроль, достоверность, вероятность, кумулянт, дискриминантная функция, статистический риск.

Введение

Постановка проблемы. Повышение эффективности работы любых информационных систем контроля, диагностики, идентификации невозможно без учета априорной информации, связанной с исходной неопределенностью состояний контролируемых или диагностируемых объектов. Кроме того, уменьшение такой неопределенности связано с повышением точности измерительных преобразований и уменьшения остаточной неопределенности решений, принимаемых в ходе контроля или функциональной диагностики.

Известные вероятностные подходы в теории информации и информационной теории измерений позволяют рассчитывать и анализировать количество ожидаемой информации для моделей измерительных преобразований и задач кодирования случайных измерительных сигналов. Теория же оценивания достоверности полученного количества информации в задачах контроля и диагностики практически не разработана. Это ограничивает возможности теоретического анализа и совершенствования информационных моделей оптимального синтеза информационно-измерительных систем контроля и диагностики объектов со случайными свойствами.

Анализ литературы. Проблема снижения рисков диагностических решений в условиях неустрашимой априорной неопределенности свойств объектов технической диагностики всегда являлась предметом вероятностно-статистического анализа процедур преобразования первичной измерительной информации во вторичные логические решения. При этом, степень и глубина изучения проблемы связывалась со сложностью математической модели процедуры такого дискриминантного преобразова-

ния [1, 2]. Лучше всего изучена проблема для простых (линейных) процедур, реализованных в виде параметрических линейных дискриминантных функций (ДФ) [1, 3, 4]. Квадратичные функции, учитывающие априорную информацию большего (в разы) объема исследованы – недостаточно [5]. По крайней мере, отсутствуют статистически обоснованные модели функциональной связи между объемами обучающих выборок, используемых для синтеза коэффициентов ДФ и интервальными оценками достоверности получаемых решений.

Цель статьи. Изложение методики оценивания достоверности диагностики, когда для принятия решений используется квадратичная ДФ со случайными коэффициентами, дисперсии которых зависят от объема многомерных и многократных измерений на этапе обучения информационной системы диагностики.

Моделирование среднего риска при ограниченных выборках

Кумулянтный анализ квадратичной дискриминантной функции

$$\delta^{(K)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^{(K)} - m_i^{(1)}}{S_i^{(1)}} \right)^2 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i^{(K)} - m_i^{(0)}}{S_i^{(0)}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{S_i^{(1)}}{S_i^{(0)}} \right)^2, \quad (1)$$

где $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$ – оценки элементов векторов средних $\mu_{(0)}$, $\mu_{(1)}$, полученных по образцовым выборкам диагностического сигнала; $S_i^{(0)}$, $S_i^{(1)}$ – оценки элементов дисперсионных матриц $D_{(0)}$, $D_{(1)}$, полученных по выборкам диагностического сигнала;

$x_i^{(K)}$ – реализация i -го значения контрольной выборки $\{x_1^{(K)}, \dots, x_n^{(K)}\}$ с заданным номером состояния:

$$K = \begin{cases} 0, & \text{если } \pi \in \pi_0; \\ 1, & \text{если } \pi \in \pi_1, \end{cases}$$

с последующим восстановлением ее плотности распределения, позволяет достаточно точно рассчитать все возможные риски диагностических решений. Такой расчет позволяет учесть:

а) размерность n входного вектора \bar{X} измерительных сигналов;

б) объем N обучающей выборки, используемой для оценивания всех постоянных коэффициентов ДФ;

в) минимальный средний риск \bar{R}_0 , соответствующий условию $N \rightarrow \infty$, когда случайные оценки коэффициентов функции (1) становятся априорно детерминированными параметрами.

Формально, функциональную зависимость среднего риска от n , N и \bar{R}_0 можно представить функционалом:

$$\bar{R} = \bar{R}_0 + A(n, \bar{R}_0) N^{-B(n, R_0)}, \quad (2)$$

учитывающим условие

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \bar{R} = \bar{R}_0. \quad (3)$$

Коэффициенты $A(n, \bar{R}_0)$ и $B(n, R_0)$ являются функциями независимых аргументов n и \bar{R}_0 .

Для нахождения аналитической модели функционала (2) было проведено трехмерное (по n , N и R_0) моделирование случайных оценок $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$, $S_i^{(0)}$, $S_i^{(1)}$ для условий:

1) $\mu_{(0)} = 0$;

2) $D_{(0)} = D_{(1)} = I$ (дисперсионные матрицы по состояниям π_0 и π_1 – диагональные и единичные);

3) $\mu_{(1)} = \delta \cdot \tau^{-1/2}$;

4) δ – расстояние Махаланобиса, определяемое через интеграл вероятностей [6] при заданном риске \bar{R}_0 :

$$\bar{R}_0 = \Phi\left(\frac{\delta}{2}\right). \quad (4)$$

Для получения случайных оценок $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$, $S_i^{(0)}$, $S_i^{(1)}$ генерировались (на компьютере) последовательности псевдослучайных нормально распределенных чисел со средними $\mu_{(0)}$ (по состоянию π_0), $\mu_{(1)}$ (по состоянию π_1) и единичными дисперсиями (для базового варианта модели (2) с объемами

обучающих выборок $N_1 = 20$, $N_2 = 100$). Генерация модельных последовательностей выборок велась в пространстве $n \in [1, 20]$ и $\bar{R}_0 \in [0.005, 0.49]$.

Для вычисления риска \bar{R} рассчитывались первые 7 условных (по состояниям π_0 и π_1) кумулянтов ДФ (1), затем модельное, на базе плотности распределения плотности вероятности с последующим интегрированием этой условной плотности распределения вероятностей.

Для расчета множества (по n и \bar{R}_0) значений функционалов $A(n, R_0)$ и $B(n, R_0)$ использовались уравнения:

$$\begin{cases} B(n, R_0) = \ell n \left(\frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_0}{\bar{R}_2 - \bar{R}_0} \right) / \ell n \left(\frac{N_2}{N_1} \right), \\ A(n, R_0) = (\bar{R}_1 - R_0) N_1^B. \end{cases} \quad (5)$$

По матрице 100×100 рассчитанных значений функционалов $A(n, R_0)$ и $B(n, R_0)$ были получены их следующие полиномиальные регрессионные модели:

$$A(n, \bar{R}_0) = 0.6 + 0.1n - 1.2\bar{R}_0 - 0.2n\bar{R}_0, \quad (6)$$

$$B(n, \bar{R}_0) = 1.533 - 0.112n + 0.012n^2 - 0.0004378n^3 - 1.435\bar{R}_0 - 0.876\bar{R}_0^2 - \quad (7)$$

$$-4.145\bar{R}_0^3 - 0.067n\bar{R}_0 + 0.34n\bar{R}_0^2 - 0.004614n^2\bar{R}_0.$$

Исследование точности модели при неравенстве рисков первого и второго рода

Модель среднего риска (2) с коэффициентами в форме полиномиальных регрессий (6) и (7) была получена в предположении равенства дисперсионных матриц $D_{(0)}$ и $D_{(1)}$, что априори предполагает равенство рисков первого и второго рода

$$\alpha = \beta. \quad (8)$$

В реальной ситуации, условие (8) не выполнено (или его учет заставляет использовать не квадратичную, а более простую – линейную ДФ, что приводит к потере диагностической информации).

Для проверки точности модели (2), она исследовалась для различных отношений

$$\phi = \alpha/\beta, \quad (9)$$

при фиксированном риске \bar{R}_0 .

Отношение (9) моделировалось использованием неравных по состояниям π_0 и π_1 дисперсионных матриц условного, по этим состояниям, вектора \bar{X} . Полученное при таком моделировании значения среднего риска \bar{R}_ϕ использовалось для вычисления относительной погрешности моделирования

$$\varepsilon = \frac{(\bar{R} - \bar{R}_\phi)}{\bar{R}} \cdot 100 (\%) . \quad (10)$$

В табл. 1 представленны значения погрешностей ε в функции N при фиксированных величинах n и значениях $\phi = 1.5, \bar{R}_0 = 0.18$.

Таблица 1

Значения погрешностей моделирования ε в функции N и n (в %)

n	N				
	20	40	60	80	100
1	0.9	0.5	0.4	0.25	0.15
5	2.5	1.96	1.62	1.33	1.1
10	3.9	3.11	2.72	2.4	2.06

В табл. 2 даны величины погрешностей моделирования ε (в %) в функции отношения ϕ при $n = 1$ и трех значений обучающей выборки N .

Из табл. 1 и 2 видно, что погрешности моделирования увеличиваются с ростом отношения $\phi = \alpha/\beta$ и размерности n вектора \bar{X} входных измерительных сигналов. Увеличение объема обучающих выборок N приводит к снижению погрешности ε .

Таблица 2

Значения погрешностей моделирования ε (в %) в функции отношения ϕ при $n = 1$ и различных N

N	ϕ		
	1.5	2.0	2.5
20	0.9	3.13	12.4
50	0.44	1.54	6.16
100	0.15	0.525	2.11

Исследование свойств модели среднего риска

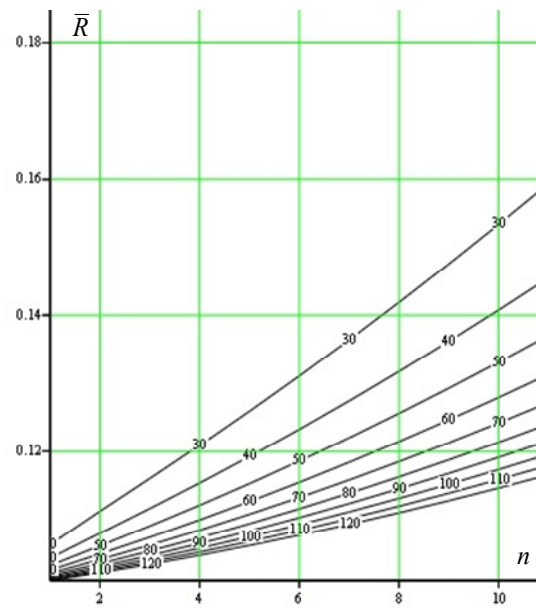
Разработанная трехмерная модель среднего риска \bar{R} (2) с коэффициентами полиномиальных регрессий (6), (7), была исследована на функциональную зависимость от числа n информативных диагностических параметров при ограничениях на объемы N обучающих выборок по диагностируемым состояниям π_0 и π_1 .

На рис. 1 представлены зависимости среднего риска \bar{R} в функции n для разных значений N ($N = 20, 50, 100$), когда для формирования системы информативных параметров (признаков) используют ранжированный по степени убывания информативности ряд параметров.

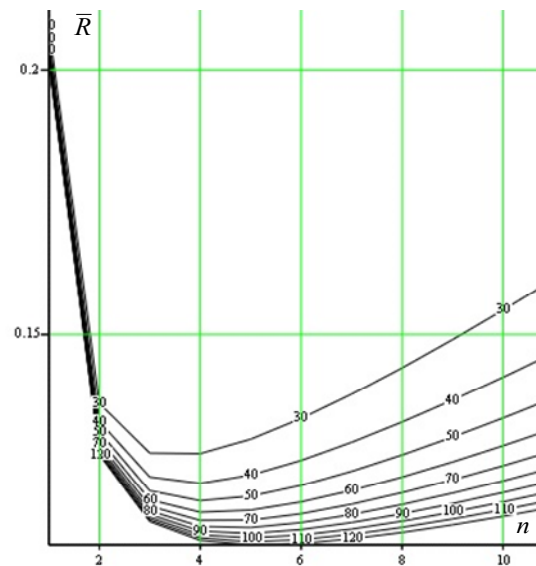
Модель такого убывания информативности задавалась в двух вариантах (при фиксированном начальном значении риска \bar{R}_0):

а) медленное убывание информативности

$$\bar{R} = \bar{R}_0(1 + n^{-1}); \quad (11)$$



а



б

Рис. 1. Зависимости модельного риска \bar{R} от размерности n пространства информативных параметров $\bar{R}_0 = 0.1$: а – медленное, б – быстрое уменьшение информативности параметров

б) быстрое убывание информативности

$$\bar{R} = \bar{R}_0(1 + n^{-2}). \quad (12)$$

Более интересным является исследование риска \bar{R} одновременно от объема выборки N и размерности n (рис. 2). Из рис. 1 и 2 видно, что выбор размерности пространства информативных параметров – это задача оптимизационная, в которой модельный средний риск \bar{R} играет роль целевой функции, а оптимум соответствует ее глобальному (в пространстве $N \in [20, 100], \bar{R} \in [0.005, 0.49], N \in [20, 100]$) значению.

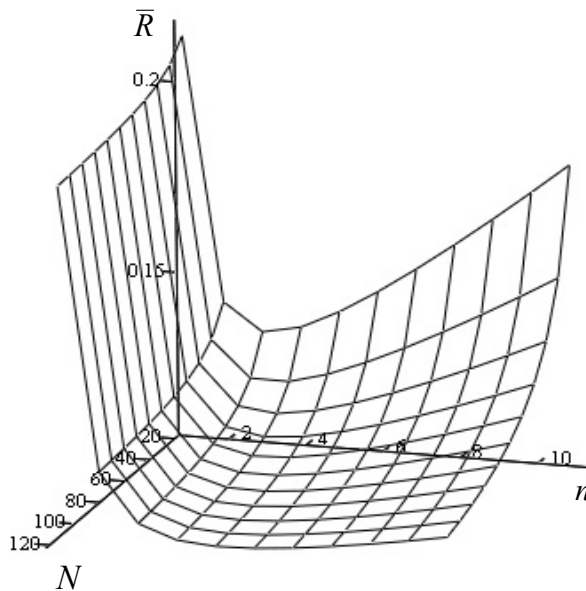


Рис. 2. Зависимости модельного риска \bar{R} от объема выборки N и размерности n пространства параметров $\bar{R}_n = 0.1$

Из этих рисунков видно также, что оптимальное число информативных параметров растет с увеличением объема N обучающих выборок. При этом средний риск \bar{R} падает.

Выводы

В статье получены следующие результаты:

1. Доказана, статистическим моделированием, приемлемая точность и адекватность модели при нарушениях равенства друг другу рисков первого и второго рода. Показано (табл. 1 и 2), что погрешность моделирования менее 4 %, если отношения рисков $\phi \leq 2$, $n \leq 30$ и $N \geq 40$.

2. Доказана возможность использования модельного риска \bar{R} (уравнения (2), (6), (7)) для решения задач оптимизации пространства информативных диагностических параметров, обеспечивающей минимум \bar{R} при ограничениях на объемы обучающих выборок на этапе оценивания коэффициентов квадратичной ДФ.

Список литературы

1. Раудис Ш. Ограниченность выборки в задачах классификации / Ш. Раудис // Статистические проблемы управления. – Вильнюс. – 1976. – Вып. 18. – С. 1–185.
2. Мигуценко Р. П. Исследование влияния ограниченности априорной информации на вид и размер достоверности диагностики / Р. П. Мигуценко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 201–204.
3. Уткин Л. В. Модель классификации на основе неполной информации о признаках в виде их средних значений / Л. В. Уткин, Ю. А. Жук, И. А. Селиховкин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 3. – С. 71–81.
4. Щапов П. Ф. Синтез информационной модели процедуры альтернативной функциональной диагностики / П. Ф. Щапов, Р. П. Мигуценко // Приборы и методы измерений. – Минск. – 2014. – Вып. 2. – С. 94–100.
5. Щапов П. Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределённости : монография / П. Ф. Щапов, О. Г. Аврунин. – Х. : ХНАДУ, 2011. – 191 с.
6. Щапов П. Ф. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів : Монографія / П. Ф. Щапов, Р. П. Мигуценко, О. Ю. Кропачек – Х: НТУ «ХПИ», 2015. – 260 с.

Надійшла до редколегії 29.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РИСКОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ РИЗИКІВ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КВАДРАТИЧНОЇ ДИСКРИМІНАНТНОЇ ФУНКЦІЇ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

О.Ю. Кропачек

Розглянута імовірнісна модель квадратичного дискримінуючого перетворення вхідних випадкових векторних вимірювальних сигналів в інформаційній системі технічної діагностики, коли коефіцієнти функції перетворення випадкові. Показано, що така модель – це суперпозиція умовних (по класах діагностованих станів) центрального і нецентрального розподілів Фішера, кількість ступенів котрих залежить як від обсягів навчальних вибірок компонент вхідного вектора, так і по класах станів. Запропоновано метод оцінювання достовірності діагностики, як функції не тільки розмірності вхідного вектора вимірюваних информативних ознак, але і дискримінантної функції.

Ключові слова: діагностика, контроль, достовірність, ймовірність, кумулянт, дискримінантна функція, статистичний ризик.

INVESTIGATION OF DIAGNOSTIC RISKS OF SQUARE DISCRIMINANT FUNCTION PARAMETRICALLY UNCERTAINTY WITH INDUSTRIAL OBJECTS DIAGNOSTICS

O.Yu. Kropachok

A probabilistic model of quadratic discriminating transformation of input random vector measuring signals in the information system of technical diagnostics is considered, when the coefficients of the transformation function are random. It is shown that such a model is a superposition of conditional (by classes of diagnosed states) central and no central Fisher distributions, the number of degrees of which depends both on the volumes of training samples of the input vector components and on the classes of states. A method for estimating the reliability of diagnostics as a function of not only the dimensionality of the input vector of measurable informative features but also the discriminate function is proposed.

Keywords: diagnostics, control, reliability, probability, cumulant, discriminate function, statistical risk.

Інформаційні технології

УДК 651. 34

Кассем Халифе, Т.Н. Шипова

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье проведены анализ и исследования моделей и методов разработки системного программного обеспечения компьютерных систем критического применения. Представлены факторы, влияющие на это процесс. Определены требования к качеству разработки системного программного обеспечения в целом и указано на приоритетность показателей безопасности программного обеспечения. Проведен анализ и сравнительное исследование основных подходов математического моделирования процесса разработки системного программного обеспечения. Определены приоритетные направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова: системное программное обеспечение, требования к качеству программного обеспечения, безопасность, SCRUM, Agile, математическое моделирование.

Вступ

Постановка проблемы. В настоящее время Украинское законодательство понятие программного обеспечения определяет практически исключительно как объект авторского права и регламентирует процесс правового регулирования законом «Про авторське право і суміжні права» в редакции от 11 июня 2001 года. Однако ряд международных документов стандартизации программного обеспечения (ISO/IEC 25012:2008, IDT, ISO/IEC 25021:2012, IDT и др.) [8], подзаконных актов, принятых правительством Украины (ДСТУ ISO/IEC 25010:2016, ДСТУ ISO/IEC 25012:2016, ДСТУ ISO/IEC 25021:2016 и др.) [2] дают определение этой категории и регламентируют основные требования к качеству программного обеспечения (ПО). Анализ указанных документов, а также исследование специфики внедрения и функционирования ПО, позволил сделать вывод о значительном повышении требований к его качеству в условиях инсталляции и использования в компьютерных системах критического применения (КСКП).

Проведенный анализ требований показал, что более 54% требований к ПО КСКП связаны с обеспечением функциональной и информационной безопасности ПО. Следует заметить, что специфика ПО КСКП состоит в том, что более 70% его контента составляет системное ПО, обеспечивающее основные функции и жизнедеятельность систем критического применения. В то же время в силу своей приоритетности в процессе функционирования КСКП требования к безопасности системного ПО еще выше чем, у прикладного ПО.

В соответствии с руководящими документами [2, 8] в настоящее время существует ряд способов обеспечения безопасности системного ПО. Среди них выделим следующие:

- идентификация и аутентификация субъектов и объектов доступа;
- ограничение программной среды;
- защита машинных носителей информации;
- регистрация событий безопасности;
- антивирусная защита;
- обнаружение в системе управления компьютерных программ либо иной компьютерной информации, предназначенной для несанкционированного уничтожения, блокирования, модификации, копирования или нейтрализации средств защиты информации;
- контроль (анализом) защищенности информации;
- обеспечение целостности программной среды и информации;
- разработка «безопасных программ» или безопасное программирование;
- применение правовых методов защиты ПО и др.

Проведенные исследования показали, что вопросам обеспечения безопасности системного ПО уделяется достаточно большое внимание. Однако, в большей степени, используемые или предлагаемые методы защиты, касаются уже готовых продуктов, тем самым давая злоумышленникам возможности использовать «ошибки безопасности» системного ПО, допущенные и невыявленные разработчиками программного обеспечения. Поэтому, несмотря на многообразие методов и средств защиты системного ПО, вопросам разработки «безопасных программ» или безопасному программированию внимания уделяется недостаточно. В то же время, как показывает статистика киберпреступлений, именно этот недостаток становится причиной большинства успешно проведенных атак на КСКП.

Основные возможности устранения данного недостатка лежат в рамках управления разработкой су-

существующих методологий разработки ПО. Проведем анализ основных методологий разработки системного программного обеспечения и факторов, влияющих на этот процесс.

1. Анализ основных методологий разработки системного программного обеспечения и факторов, влияющих на этот процесс

Из литературы [1-8] известно, что системное ПО это совокупность программ для управления аппаратурой компьютера и обеспечения работы прикладных программ. Классификация системного ПО представлена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация системного ПО

С точки зрения жизненного цикла программно-обеспечения и основных методологий разработки существенных различий в этапах разработки между прикладным и системным программным обеспечением нет. Однако, системное программное обеспечение разрабатывается так, чтобы компьютерная система могла эффективно выполнять свои функции. И именно от качества системного программного обеспечения зависят основные показатели функционирования КСКП. При разработке системного ПО, важным шагом является выбор методологии реализации этой задачи, позволяющей повысить эффективность и качество программного продукта. При этом необходимо учитывать, что совокупность процессов разработки системного ПО представляет собой сложную многофакторную систему прохождений этапов в рамках выбранной методологии.

Анализ литературы показал, что в основном современные методологии разработки ПО можно разделить на три основные группы: последовательные (прогнозируемые), циклические (полупрогнозируемые), гибкие (абстрактные). Следует заметить, что такое

разделение достаточно условно, так как в ходе выполнения поставленных задач возможны случаи изменения стратегий разработки. И тогда возникают ситуации пересечения данных методологий.

Проведенные исследования показали, что к числу последовательных методологий следует отнести каскадную модель (или модель водопада, Waterfall), которая характеризуется тем, что этапы разработки, такие как: анализ, проектирование, реализация, тестирование, идут друг за другом. Такая методика эффективно работает только тогда, когда требования стабильны и не меняются в ходе разработки, т.к. мы сразу описываем все требования, а потом сразу проектируем всю систему целиком [1].

К циклическим методологиям можно отнести V-Model и спиральную модель разработки. Имея ряд отличий друг от друга (например, в V-Model этап анализа и проектирования связан с этапом тестирования, а в спиральной модели на этапе анализа рисков создаются прототипы, концепты, модели которые призваны разрешить риск на ранней стадии) в целом данные модели обладают рядом достоинств, по сравнению с водопадной моделью. Это возможность незначительных отступлений в требованиях на повторных циклах, учет рисков в процессе разработки и т.д. Анализ деятельности известных фирм-разработчиков ПО показал, что в последнее время семейство гибких методологий занимает основное внимание на рынке. Основные принципы функционирования организаций в соответствии с данной категорией методологий сформулированы в документе, который получил название Agile Manifesto [5, 8]. В нем зафиксировано тринадцать основных принципов, среди которых выделим следующие (рис. 2): люди и их взаимодействие важнее процессов и инструментов; готовый продукт важнее документации по нему; сотрудничество с заказчиком важнее жестких контрактных ограничений; реакция на изменения важнее следования плану. Как видно из рис. 2 именно эти принципы характеризуют отличия между гибкими и последовательными методологиями и лежат в основе философии гибкой разработки ПО.

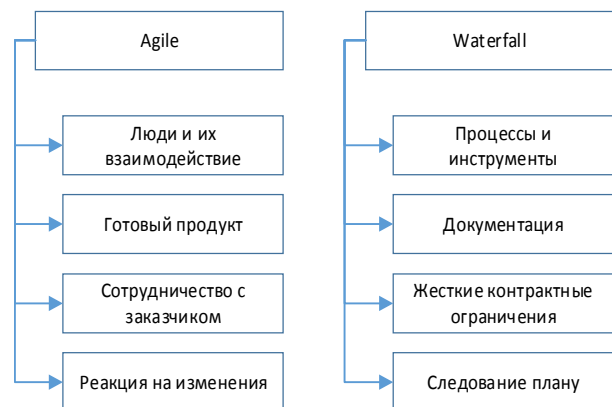


Рис. 2. Основные отличия между гибкими и последовательными методологиями

Проведенные исследования показали, что основным достоинством гибких методологий является ориентированность на проекты, где требования могут меняться по ходу разработки. В таких методологиях значительно ниже стоимость исправления ошибки.

В соответствии с результатами исследования Agile Survey [7] об использовании гибких методологий представим диаграмму их популярности в виде рис. 3.

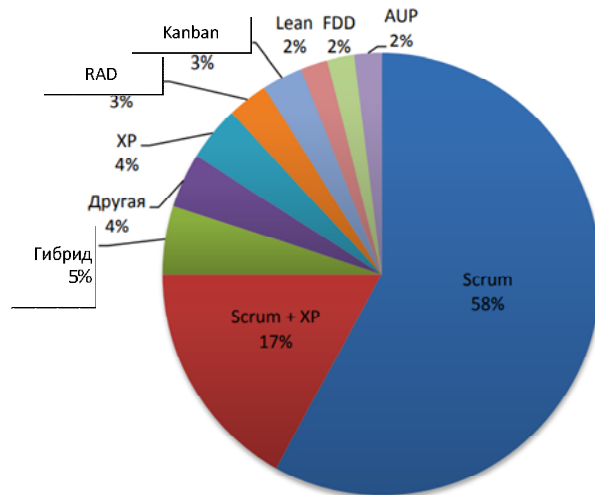


Рис. 3. Диаграмма популярности гибких методологий разработки ПО

Как видно из диаграммы среди гибких методологий можно выделить такие как: Scrum, XP, Kanban, RAD. При этом анализ деятельности разработчиков ПО в Украине показал, что сейчас наиболее популярной является методология Скрам (Scrum).

Проведенный анализ литературы показал, что Scrum — это каркас разработки, с использованием которого люди могут решать появляющиеся проблемы, при этом продуктивно и производя продукты высочайшей значимости. Авторами Scrum [7, 8] заявлены следующие особенности: легкий (англ. Lightweight); понятный, доступный.

Наряду с уже озвученными достоинствами, Scrum обладает и рядом недостатков. Среди них необходимо выделить следующие. Упор на самоорганизующуюся, многофункциональную команду. При кажущемся снижении затрат на координацию команды, это приводит к повышению затрат на отбор персонала, его мотивацию, обучение.

При определенных условиях рынка труда, формирование полноценной, эффективной Scrum команды может быть невозможным. Отсутствие плана коммуникаций и реагирования на риски [5] (в том числе и безопасности). Это в значительной степени сужает рамки использования методологии в проектах для КСКП. Анализ литературы показал, что методология экстремального программирования (XP) — состоит из 12 практик: парное программирование, разработка через тестирование, рефакторинг, простая архитектура, коллективное владение кодом, непрерывная инте-

грация, заказчик в команде, частые релизы, игра в планирование, 40-часовая рабочая неделя, стандарты кодирования, метафора системы [9].

Проведенные исследования показали, что также, как и Scrum, экстремальное программирование несет не только ряд преимуществ, но и содержит недостатки. В частности, это:

- сложности взаимодействия разработчиков при парном программировании;
- необходимость обеспечить постоянное присутствие заказчика в команде или заказчика в команде по вызову;
- сильная зависимость от устного общения;
- отсутствие стандартного способа описания дизайна и др.

Данные недостатки существенно затрудняют использование данной методологии для КСКП.

Анализ литературы показал, что методология Канбан (Kanban) представляет собой конвейер задач. Имеет всего 3 правила: визуализация процесса разработки с помощью канбан-доски, ограничение на количество задач на каждом этапе, постоянное измерение производительности команды и улучшения [4-6].

Основные преимущества системы Канбан:

- короткий производственный цикл, высокая оборачиваемость активов, в том числе запасов;
- отсутствуют или чрезвычайно низки издержки хранения производственных и товарных запасов;
- высокое качество продукции на всех стадиях производственного процесса и др.

Основные недостатки системы "точно в срок":

- сложность обеспечения высокой согласованности между стадиями производства продукции;
- значительный риск срыва производства и реализации продукции.

Следует заметить, что в последнее время все чаще разработчики ПО склоняются к комплексному использованию перечисленных выше методологий, что в значительной степени повышает эффективность работы коллектива.

Анализ литературы показал, что методология RAD (Rapid Application Development) — ориентирована на быструю разработку приложения, итеративно, с максимально простой архитектурой, минимальными издержками на процесс, максимально используя готовые компоненты и мощные инструменты [3].

Проведенные исследования показали, что на практике подобный подход к разработке приложений сопряжен с серьезными проблемами.

Все внимание сконцентрировано на экранных формах, а то, что касается правил обработки данных и системных функций, остается без внимания. Модули проектируются изолированно друг от друга. Следствием этого являются противоречия модулей, дублирование функций и данных, что может быть выявлено только при тестировании комплекса модулей. Функциональные возможности наращиваются параллельно

в нескольких направлениях, значит, структура базы данных должна контролироваться жестко.

Обработка исключительных ситуаций для каждого модуля производится своя [3].

Исходя из этого, RAD можно использовать лишь для небольших проектов, в которых определены требования бизнеса, ограничено количество интерфейсов и система ориентирована на экранные формы.

Таким образом, проведенные исследования показали, что несмотря на многообразие существующих методологий разработки ПО, все они не лишены ряда недостатков. В то же время их комбинации в процессе разработки может позволить повысить эффективность разработки и качество ПО.

Следует заметить, что в настоящее время не бывает универсального набора входных условий и внешних факторов воздействий для всех ситуаций при выборе той или иной методологии. В каждом случае необходимо рассматривать множество специфических факторов, которые должны быть ориентированы на специфику проекта. Особенно это важно в сложных проектах разработки системного ПО для КСКП. Требования таких систем обязывают разработчика уделять повышенное внимание вопросам безопасности ПО и учитывать факты повышения интереса злоумышленников именно к системному ПО. В работе за основу выберем методологию Scrum. Также следует отметить, что, выбрав эту методологию, необходимо ее адаптировать к повышенным требованиям качества (безопасности, надежности, производительности и др.).

2. Анализ и сравнительное исследование основных подходов математического моделирования процесса разработки системного программного обеспечения

Анализ литературы [5, 6, 10] показал, что в настоящее время существует множество подходов математического моделирования процесса разработки программного обеспечения в целом и системного ПО в частности. Их основой являются положения теорий компьютерной инженерии, массового обслуживания, нейронных сетей, нечеткой логики, графовых моделей и комбинаторных методов расчета и др. Кроме того, получили свое развитие средства решения оптимизационных задач, формализуемых на основе данных моделей. Это, прежде всего, аналитические методы, методы математического программирования, эвристические методы и др.. Проанализируем наиболее часто используемые на практике модели разработки системного ПО, которые в различной степени адаптированы к современным требованиям при формализации процессов управления разработкой.

Одним из современных направлений математического моделирования является биологическое направление с помощью нейронных сетей [10]. Во многом

это связано со спецификой функционирования компьютерных систем, которые являются человеко-машинными системами. Кроме того, в последнее время все большее внимание разработчики и проектировщики стали уделять вопросам защиты данных от программных угроз. А в этом случае результаты исследования систем, проведенные с помощью биологического подхода, показывают наиболее адекватные результаты [5-6].

Анализ систем биологического моделирования показал, что одним из наиболее популярных направлений в настоящее время является моделирование с помощью нейронных сетей. Связано это в основном с разработкой нейронной сети Хопфилда [10], в которой компьютерная сеть представляется в виде рекуррентной системы, решающей ряд специфических задач (прогнозирование, кластеризация, предварительного анализа и др.) При этом в качестве показателя качества системы выступает энергетическая функция вида:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

где w_{ij} – весовой коэффициент между i -м и j -м нейронами; x_i и x_j – компоненты вектора X (входных данных системы), а в качестве критерия решения задачи распределения доступа и защиты данных в компьютерной сети используется выражение вида:

$$E = \min \left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1, k \neq i}^N \sum_{j=1}^{N_p(i)} \sum_{\ell=1}^{N_p(k)} |P_{ij} \cap P_{k\ell}| x_i^j x_k^\ell \right), \quad (2)$$

где P_{ij} – j -й ресурс между источником и адресатом; $|P_{ij} \cap P_{k\ell}|$ – число узлов компьютерной сети, которые совместно используют маршруты P_{ij} и $P_{k\ell}$; $x_i^j = 1$, если выбирается P_{ij} , и $x_i^j = 0$ в обратном случае; $N_p(i)$ – число вариантов направлений доступа, определенных между источником и адресатом.

Исследования генетического подхода моделирования показали, что он основан на идее, когда некий алгоритм может стать более эффективным, если позаймствует лучшие характеристики у других алгоритмов («родителей»).

Анализ работ в области защиты данных [1-10] показал, что данное направление моделирования имеет ряд преимуществ, связанных с учетом специфики внешних воздействий на систему.

Однако, проведенные исследования моделей компьютерных систем, представленных в виде нейронных сетей [10] наряду с их достоинствами показали и недостатки связанные с существенными (до 100 наблюдений) временными затратами на процесс обучения при построении модели, и как следствие, «консерватизмом» по отношению к динамическим изменениям в процессе

управления разработкой системного ПО. Поэтому данные модели целесообразно использовать при моделировании отдельных компонент или структурных элементов интеллектуальных систем принятия решений или использовать в основе процесса выработки практических рекомендаций менеджерам.

Исследования моделей на основе аппарата управляемых случайных процессов позволили определить два характерных направления управления, реализуемых данным подходом: информационная невыводимость и информационное невливание [5].

Среди достоинств данного подхода моделирования следует выделить возможность ее реализации в компьютерных системах в виде монитора ссылок и системы аудита.

Кроме того в сложных, многофакторных системах использование данного подхода моделирования позволяет анализировать отдельные составляющие без опасности снижения точности результатов моделирования в целом.

В то же время математические модели процесса разработки программного обеспечения в связи с учетом особенностей современной методологии SCRUM и факторов повышения требований к безопасности нуждаются в ряде доработок.

В автоматной модели управления технология разработки системного ПО представляется детерминированным автоматом, на вход которого поступает последовательность команд пользователей. Основными элементами автоматной модели являются: множество состояний системы $\{V\}$, множество пользователей $\{U\}$, множество матриц доступов $\{M\}$, множество команд пользователей, изменяющих матрицу доступов $\{CC\}$, множество команд пользователей, изменяющих состояние $\{VC\}$, множество выходных значений $\{Out\}$.

Среди достоинств данного подхода моделирования следует отметить многообразие подходов управления, определяющих не только правила распределения задач, но и конфигурацию, порядок взаимодействия между объектами и субъектами процесса разработки ПО.

Среди недостатков автоматных моделей можно отметить сложность их практической реализации в случае учета всего разнообразия подходов и методологий разработки системного ПО. Кроме того, задача учета фактора безопасности данным направлением моделирования также не решена.

Как отмечено в ряде источников [6], доминирующим при решении широкого круга задач анализа и синтеза систем управления различного назначения длительное время оставался графокомбинаторный подход. В этом случае процесс разработки ПО представляется в виде функции: $G(N, C)$ или $G(x)$, где

N – множество состояний в управлении, C – множество связей между состояниями, x – характеристика качества управления (эффективность, безопасность, стоимость и др.), выбранная в качестве критерия оптимизации. Тогда частная задача разработки системного ПО может трансформироваться в оптимизационную задачу вида: $G(x) \rightarrow opt$.

Решение сетевых задач управления в рамках данного подхода основывалось на моделировании процесса в виде графа, и было связано с направленным перебором возможных вариантов с целью достижения некоторого оптимума относительно анализируемого свойства.

На рис. 4 представлена сравнительная характеристика наиболее известных подходов математической формализации процессов управления разработкой с указанием их достоинств и недостатков.

Модели управления разработкой ПО			
Графовые	Автоматные	Аппарат случайных процессов	Нейронные сети
<p>Достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - простота реализации; - возможность определения произвольных функций распределения случайных величин 	<p>Достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - многообразие политик управления, определяющих порядок взаимодействия субъектов и объектов управления между собой. 	<p>Достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - возможность реализации в системах в виде монитора ссылок и системы аудита. 	<p>Достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - возможность учета специфики внешних воздействий; - возможность учета фактора априорной неопределенности входных сигналов; - возможность моделирования адаптивных систем;
<p>Недостатки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - не учитываются изменяемые и подстраиваемые в процессе функционирования параметры. 	<p>Недостатки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сложность практической реализации. 	<p>Недостатки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие учета специфики методологии SCRUM и требований безопасности. 	<p>Недостатки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сложность описания аналитического представления; - необходимость разбиения модели ряд простых моделей.
<p>Общий недостаток: Сложность учета фактора априорной неопределенности в параметрах безопасности, отсутствие учета в моделях динамических изменений в ходе разработки ПО</p>			

Рис. 4. Сравнительная характеристика наиболее известных подходов математической формализации процесса управления разработкой системного ПО

Таким образом, в результате анализа и сравнительных исследований существующих моделей процесса разработки системного ПО были выявлены ряд характерных особенностей, достоинств и недостатков существующих направлений анализа и синтеза этих систем.

Исследование основных подходов моделирования показал, что большинство моделей, связанных с реализацией технологии разработки ПО не учитывают факторов априорной неопределенности в параметрах безопасности.

Кроме того, отсутствие учета в моделях динамических изменений в ходе разработки ПО (особенно-стей SCRUM) требует соответствующих исследований и разработок.

Выводы

Проведен анализ основных требований к качеству программного обеспечения компьютерных систем критического применения, указано на приоритетность требований безопасности системного ПО и обязательность соблюдения этих требований на всех этапах жизненного цикла ПО.

Проведены исследования основных методов и средств обеспечения заданных требований. Рассмотрены существующие методологии разработки ПО, указано на недостаточность внимания со стороны разработчиков вопросам безопасности.

Проанализированы основные направления и подходы математического моделирования, выделены перспективные направления математической формализации процессов управления разработкой системного ПО.

Указано на целесообразность совершенствования существующих методологий разработки системного ПО, путем разработки новой технологии с учетом повышенных требований безопасности.

Список литературы

1. Департамент QA: Ошибки управления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://blog.alsedi.com/departament-qa-oshibki-upravleniya/>.
2. ДСТУ ISO/IEC 25012:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних

засобів та її оцінювання (SQaRE). Модель якості даних (ISO/IEC 25012:2008, IDT) [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69135.

3. Казарин О.В. Безопасность программного обеспечения компьютерных систем : Монография/ О.В. Казарин. – М.: МГУЛ, 2003. – 212 с.

4. Луцаев В.В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени / В.В. Луцаев. Институт системного программирования Российской академии наук – М: 2013. 176 с.

5. Семенов С.Г. Модель оценки риска разработки программного обеспечения. / С.Г. Семенов, Д.А. Лисица // Материалы XV Международной НТК «Проблемы информатики и моделирования». – Х: НТУ «ХПИ», 2015. С.82.

6. Семенов С.Г. Методика математического моделирования защищенной ИТС на основе многослойной GERT-сети / С.Г. Семенов Методика математического моделирования защищен // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сборник научных работ. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Х: НТУ «ХПИ», 2012. – №62 (968). – С 173-181.

7. EXECUTIVE SUMMARY AGILITY ACCELERATES THE DELIVERY OF BUSINESS VALUE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.agile247.pl/wp-content/uploads/2017/04/versionone-11th-annual-state-of-agile-report.pdf>.

8. OSSTMM 3. Open-Source Security Testing Methodology Manual [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isecom.org/mirror/OSSTMM.3.pdf>

9. Test & Test Case Management in Jira [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://blog.alsedi.com/test-test-case-management-in-jira-part-0/>

10. Hopfield J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, Proceedings of National Academy of Sciences, vol. 79 no. 8 pp. 2554–2558, April 1982.

Надійшла до редколегії 15.08.2017

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

АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ РОЗРОБКИ СИСТЕМНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Кассем Халифі, Т.М. Шипова

У статті проведено аналіз і дослідження моделей і методів розробки системного програмного забезпечення комп'ютерних систем критичного застосування. Представлені фактори, що впливають на це процес. Визначено вимоги до якості розробки системного програмного забезпечення в цілому і вказано на пріоритетність показників безпеки програмного забезпечення. Проведено аналіз і порівняльне дослідження основних підходів математичного моделювання процесу розробки системного програмного забезпечення. Визначено пріоритетні напрямки подальшого дослідження.

Ключові слова: системне програмне забезпечення, вимоги до якості програмного забезпечення, безпеку, SCRUM, Agile, математичне моделювання.

ANALYSIS AND INVESTIGATION OF MODELS AND METHODS OF SOFTWARE SOFTWARE DEVELOPMENT

Kassem Khalife, T.M. Shipova

The article analyzes and studies models and methods for developing system software for critical computer systems. Factors affecting this process are presented. The requirements to the quality of the development of the system software in general have been determined and the priority of the software security indicators has been indicated. The analysis and comparative study of the main approaches of mathematical modeling of the system software development process are carried out. Priority directions for further research are determined.

Keywords: system software, software quality requirements, security, SCRUM, Agile, mathematical modeling.

УДК 004.415.53:005.6

А.В. Коваленко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ УЯЗВИМОСТИ К SQL ИНЪЕКЦИЯМ

Представлены результаты исследования и алгоритмы тестирования на уязвимость к одним из наиболее распространенных видов атак на Web-приложения – SQL инъекции. Аргументировано выбран подход математического моделирования на основе GERT-сетей. Разработан комплекс математических моделей технологии тестирования Web-приложений. В основу математического моделирования положен подход GERT-сетевого синтеза. В результате разработаны математические модели технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям. Математическая модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям отличается от известных, усовершенствованным способом определения расстояния между результатами инъекции.

Ключевые слова: уязвимости к SQL инъекциям, GERT-сети, уязвимости безопасности

Введение

Проведенные исследования [1-8, 15-20] показали, что на основе анализа методологии тестирования уязвимости Web-приложений к DOM XSS и материалов Open Web Application Security Project, можно разработать алгоритм анализа уязвимости Web-приложений к SQL инъекциям. Отличительной особенностью данного алгоритма является учет только уязвимости, которая имеется в GET параметрах URL и использует только слепой метод инъекции SQL кода, использующего особенность использования булевых операторов в SQL запросах (Boolean blind SQL injection).

1. Алгоритм анализа уязвимости к SQL инъекциям

Структурная схема алгоритма анализа уязвимости Web-приложения к SQL инъекциям представлена на рис. 1.

В соответствии с представленным алгоритмом, его этапы можно описать следующим образом:

1. Из введенного URL ссылки получается список GET параметров.
2. Выполняется проверка стабильности Web-страницы. Для этого выполняется два последовательных запроса в Web-страницы и вычисляется расстояние между содержанием HTML кода страницы с помощью критерия Джаро-Винклера [8]. Если значение критерия меньше определенного порогового значения, выполнять дальнейший анализ невозможно.
3. В параметр GET запроса выполняется инъекция SQL кода, который не меняет результат запроса к базе данных и сохраняется результирующий HTML код.
4. В параметре GET запроса выполняется инъекция SQL кода, который меняет результат запроса к базе данных, приводит или к получению полного



Рис. 1. Структурная схема алгоритма анализа уязвимости Web-приложения к SQL инъекциям

набора данных из таблицы, или к отсутствию результата, после чего сохраняется результирующий HTML код.

5. С помощью критерия Джаро-Винклера выполняется сравнение результатов инъекции SQL кода. Если значение критерия меньше определенного порогового значения, то в данном GET параметре является возможная уязвимость к SQL инъекции.

6. Шаги 2 – 5 повторяются для всех параметров GET запроса предоставленного URL.

Для построения формальной модели алгоритма анализа уязвимости Web-приложений к SQL инъекциям выбрана стохастическая GERT-сеть. Проведенные исследования показали, что GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*) – является методом изучения и анализа стохастических сетей, используемых для описания логической взаимосвязи между частями проекта или этапами процесса [9-12]. Главной целью GERT является оценка логики сети и продолжительность активности и получения заключения о необходимости выполнения некоторых активностей. Сети GERT состоят из узлов типа AND, INCLUSIVE-OR и EXCLUSIVE-OR, и веток с двумя и более параметрами. Ветка, имеет направление, имеет узел начала и узел конца. Параметры ветви содержат:

1) вероятность прохождения ветви (P_a) при условии, что узел, который является источником ветви, был реализован;

2) время (t_a) прохождения ветви, если она будет реализована.

Время t_a может быть случайной величиной. Если ветвь не является частью реализации сети, то есть во время выполнения процесса активность, связанная с ветвью, не происходит, то $t_a = 0$.

Узел в стохастической сети GERT состоит из функции входа (контрибутивной функции) и функции выхода (дистрибутивной функции). Каждая из функций описывается определенным логическим отношением относительно связанных ветвей. В целом, проведенные исследования показали, что GERT-моделирование является эффективным способом определения заранее неизвестных законов и функций распределения случайных величин при известном алгоритме функционирования (процесса). Именно поэтому, в качестве инструмента математического моделирования нами было выбрано GERT-моделирование. На основании представленного алгоритма разработаем GERT-модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям.

2. GERT-модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям

Построим, в соответствии с представленным описанием сетевую GERT-модель технологии тес-

тирования уязвимости к SQL инъекциям. Графическое изображение GERT-модели представлено на рис. 2. В представленной сети узлы графа интерпретируются состояниями компьютерной системы в процессе тестирования уязвимости к SQL инъекциям, а ветви графа – вероятностно-временными характеристиками переходов между состояниями. В частности ветвь (1,2) характеризует время получения и анализа GET-параметров из введенного URL ссылки. Ветвь (2,3) отображает время отправления первичных и вторичных запросов в Web-страницы. Ветвь (3,4) задает случайное время сравнения страниц (время вычисления расстояния между содержанием HTML кода страницы с помощью критерия Джаро-Винклера). Ветвь (4,5) характеризует время, за которое выполняется инъекция SQL кода, который не меняет результат запроса к базе данных, а также который меняет результат запроса к базе данных соответственно. Далее ветвь (5,6) характеризует время сравнения результатов инъекции SQL кода. Ветвь (4,2) характеризует временные характеристики возврата системы в первоначальное состояние, когда значение критерия Джаро-Винклера меньше определенного порогового значения, в то же время ветвь (6,2) отображает временные характеристики перехода к новой проверке в случае если значение критерия Джаро-Винклера больше определенного порогового значения.

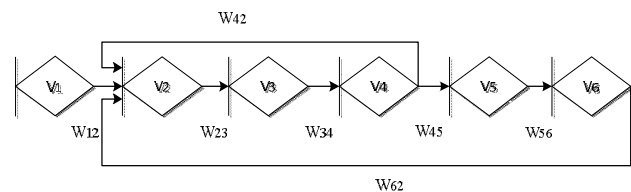


Рис. 2. GERT-модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям

Характеристики ветвей модели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ветвей модели технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям

№ п/п	Ветвь	W-функция	Вероятность	Производящая функция моментов
1	(1,2)	W_{12}	p_1	$\lambda_1 / (\lambda_1 - s)$
2	(2,3)	W_{23}	p_2	$\lambda_2 / (\lambda_2 - s)$
3	(3,4)	W_{34}	p_3	$\lambda_3 / (\lambda_3 - s)$
4	(4,5)	W_{45}	p_4	$\lambda_4 / (\lambda_4 - s)$
5	(5,6)	W_{56}	p_5	$\lambda_3 / (\lambda_3 - s)$
6	(4,2)	W_{42}	$q_1 = 1 - p_4$	$\lambda_5 / (\lambda_5 - s)$
7	(6,2)	W_{62}	p_6	$\lambda_6 / (\lambda_6 - s)$

Эквивалентная W-функция времени выполнения технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям равна:

$$W_E(s) = \frac{W_{12}W_{23}W_{34}W_{45}W_{56}}{1 - W_{12}W_{23}W_{34}W_{42} - W_{12}W_{23}W_{34}W_{45}W_{56}W_{62}} = p_1p_2p_3p_4p_5\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4(\lambda_3 - s)(\lambda_5 - s)(\lambda_6 - s) \times \left(\begin{aligned} &(\lambda_1 - s)(\lambda_2 - s)(\lambda_3 - s)^2(\lambda_4 - s)(\lambda_5 - s)(\lambda_6 - s) - \\ &- \left(p_1p_2p_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \times \left(q_1\lambda_5(\lambda_3\lambda_4 - \lambda_4s - \lambda_3s - s^2)(\lambda_6 - s) - p_4p_5p_6\lambda_3\lambda_4\lambda_6(\lambda_5 - s) \right) \right) \end{aligned} \right)^{-1} \quad (1)$$

Выполняя комплексное преобразование $z = -s$, получим:

$$\Phi(z) = (vz^2 + bz + k) / (z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m), \quad (2)$$

где $v = -p_1p_2p_3p_4p_5\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4$, $b = p_1p_2p_3p_4p_5\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4(\lambda_5 + \lambda_6)$, $k = -p_1p_2p_3p_4p_5\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5\lambda_6$,

$$r = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5 - 2\lambda_3 - \lambda_6, \quad m = -\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_5\lambda_6(\lambda_4 + p_1p_2p_3q_1 - p_4p_5p_6 / (\lambda_1\lambda_2))$$

$$\tilde{n} = (\lambda_1\lambda_4 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3^2 + 2\lambda_3\lambda_6 - \lambda_4\lambda_6 - \lambda_5\lambda_6 - \lambda_1\lambda_6 - \lambda_4\lambda_5 - 2\lambda_3\lambda_4 - 2\lambda_3\lambda_5 - \lambda_1\lambda_2 - 2\lambda_1\lambda_3 - 2\lambda_2\lambda_3),$$

$$d = -\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5\lambda_6 \left[\begin{aligned} &\left(\frac{1}{\lambda_2\lambda_3\lambda_5} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_3\lambda_5} + \frac{1}{\lambda_2\lambda_3\lambda_4} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_3\lambda_4} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_4\lambda_5} + \frac{1}{\lambda_2\lambda_3\lambda_6} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_3\lambda_6} + \frac{1}{\lambda_3\lambda_5\lambda_6} \right) + \\ &+ \frac{2}{\lambda_2\lambda_5\lambda_6} + \frac{2}{\lambda_1\lambda_5\lambda_6} + \frac{1}{\lambda_3\lambda_4\lambda_6} + \frac{2}{\lambda_2\lambda_4\lambda_6} + \frac{2}{\lambda_1\lambda_4\lambda_6} - \frac{1}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_2\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_2\lambda_4} - \\ &\frac{1}{\lambda_3\lambda_4\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_2\lambda_4\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_2\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_5\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_4\lambda_6} - \frac{2}{\lambda_4\lambda_5\lambda_6} - \\ &\frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_4\lambda_5\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_4\lambda_5\lambda_6} \end{aligned} \right],$$

$$g = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{2}{\lambda_1\lambda_2} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_5} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_4} + \frac{2}{\lambda_4\lambda_5} + \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_4\lambda_5} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_4\lambda_5} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_6} - \frac{1}{\lambda_2\lambda_3} - \right. \\ &\frac{1}{\lambda_1\lambda_3} - \frac{1}{\lambda_3\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_2\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_5} - \frac{1}{\lambda_3\lambda_4} - \frac{2}{\lambda_2\lambda_4} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_4} - \frac{1}{\lambda_3\lambda_6} - \frac{2}{\lambda_2\lambda_6} - \frac{2}{\lambda_1\lambda_6} - \\ &\left. \frac{2}{\lambda_5\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_5\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_5\lambda_6} - \frac{2}{\lambda_4\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_4\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_4\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_4\lambda_5\lambda_6} \right) + p_1p_2p_3q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_5, \end{aligned} \right]$$

$$h = - \left[\begin{aligned} &\left(\frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5\lambda_6 \times \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_2} + \frac{\lambda_3}{\lambda_4\lambda_5} - \frac{1}{\lambda_3} - \frac{2}{\lambda_2} - \frac{2}{\lambda_1} - \frac{2}{\lambda_5} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_5} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_5} - \frac{2}{\lambda_4} - \right. \right. \\ &\left. \left. - \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_4} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_4} - \frac{2}{\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_1\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_5\lambda_6} - \frac{\lambda_3}{\lambda_4\lambda_6} \right) + \left(\frac{p_1p_2p_3q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_5\lambda_6 \times \left(\frac{1}{\lambda_5\lambda_6} + \frac{\lambda_3}{\lambda_4\lambda_5\lambda_6} - \frac{1}{\lambda_4\lambda_5} \right)} \right) \right], \end{aligned} \right]$$

$$w = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5\lambda_6 \times \left(2 + \frac{\lambda_3}{\lambda_2} + \frac{\lambda_3}{\lambda_1} + \frac{\lambda_3}{\lambda_5} + \frac{\lambda_3}{\lambda_4} + \frac{\lambda_3}{\lambda_6} \right) - \left(p_1p_2p_3q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_5\lambda_6 \times \left(-1 - \frac{\lambda_3}{\lambda_4} - \frac{\lambda_3}{\lambda_6} \right) \right) + p_4p_5p_6\lambda_3\lambda_4\lambda_6 \right) \end{aligned} \right].$$

Плотность распределения вероятностей времени выполнения технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям равна:

$$\phi(x) = (2\pi i)^{-1} \times \int_{-i\infty}^{i\infty} \frac{e^{zx} (vz^2 + bz + k)}{z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m} dz, \quad (3)$$

где операция интегрирования выполняется с помощью интеграла Бромвича-Вагнера [13].

Тогда $\hat{a}^{zx} \Phi(z)$ можно представить в виде:

$$e^{zx} \Phi(z) = e^{zx} \times$$

$$\times \frac{vz^2 + bz + k}{z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m} = \frac{\mu(z)}{\psi(z)}. \quad (4)$$

Тогда плотность распределения времени выполнения алгоритма тестирования уязвимости к SQL инъекциям равна:

$$\phi(x) = \sum_{k=1}^7 \text{Res} [e^{zx} \Phi(z)] = \sum_{k=1}^7 \frac{\mu(z_k)}{\psi'(z_k)} = \sum_{k=1}^7 \frac{e^{zx} (vz^2 + bz + k)}{7z_k^6 + 6rz_k^5 + 5cz_k^4 + 4dz_k^3 + 3gz_k^2 + 2hz_k + w} \quad (5)$$

Многочлен

$rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m$ порождает семь полюсов. Решение уравнения $rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m = 0$ может быть найдено любым методом, например, по формулам Виета [13]. В результате вычисляются особые точки $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7$.

Таким образом, на основе экспоненциальной GERT-сети разработана математическая модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям, которая отличается от известных, усовершенствованным способом определения расстояния между результатами инъекции. Использование в предложенном способе критерия Джаро-Винклера, для сравнения результатов инъекции SQL кода и введение порогового значения позволит повысить точность результатов тестирования уязвимости к SQL инъекциям.

3. Исследования GERT-модели технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям

Рассмотрим пример атаки SQL инъекций. Суть таких инъекций – внедрение в данные (передаваемые через GET, POST запросы или значения Cookie) произвольного SQL кода.

Найдем плотности распределения $\phi(x)$ вероятностей времени выполнения алгоритма при условии, что z выбираются как корни уравнения $z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m = 0$, условные вероятности и интенсивности в ветвях GERT-сети имеют значения: $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = 0,999999$, $p_6 = 0,9$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,9999$, $\lambda_4 = 0,8$, $\lambda_5 = 0,1$, $\lambda_6 = 0,999999$.

$$\phi(x) = \sum_{k=1}^6 \operatorname{Res}_{z=z_k} [e^{zx} \Phi(z)] = \frac{e^{(a+\delta i)x} (v(a+\delta i)^2 + b(a+\delta i) + k)}{7u(a+\delta i)^6 + 6r(a+\delta i)^5 + 5c(a+\delta i)^4 + 4d(a+\delta i)^3 + 3g(a+\delta i)^2 + 2h(a+\delta i) + w} - \frac{e^{(a-\delta i)x} (v(a-\delta i)^2 + b(a-\delta i) + k)}{7u(a-\delta i)^6 + 6r(a-\delta i)^5 + 5c(a-\delta i)^4 + 4d(a-\delta i)^3 + 3g(a-\delta i)^2 + 2h(a-\delta i) + w} \quad (8)$$

Используя выражения Эйлера [13], получим:

$$\phi(x) = \sum_{k=1}^6 \operatorname{Res}_{z=z_k} (e^{zx} \hat{O}(z)) = e^{(a+\delta i)x} \frac{\tau + i\beta}{\gamma + i\theta} + e^{(a-\delta i)x} \frac{\tau - i\beta}{\gamma - i\theta} = \frac{2e^{ax}}{\gamma^2 + \theta^2} ((\tau\gamma + \beta\theta) \cos(\delta x) + (\tau\gamma - \beta\theta) \sin(\delta x)), \quad (9)$$

где $\tau = a^2v - \delta^2v + ab + k$, $\beta = 2a\delta v - \delta b$, $\gamma = 7ua^6 - 10ua^4\delta^2 + 105ua^2\delta^4 - 7u\delta^6 + 6ra^5 - 60ra^3\delta^2 + 30ra\delta^4 + 5ca^4 - 30ca^2\delta^2 + 5c\delta^4 + 4da^3 - 12da\delta^2 + 3ga^2 - 3g\delta^2 + 2ha + w$,

$$\theta = 49ua^5\delta - 140ua^3\delta^3 + 49ua\delta^5 + 30ra^4\delta - 60ra^2\delta^3 + 6r\delta^5 + 20ca^3\delta - 20ca\delta^3 + 12da^3\delta - 4d\delta^3 + 6ga\delta + 2h\delta.$$

На рис. 4 представлены кривые плотности распределения $\phi(x)$ вероятностей времени выполнения технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям для приведенных выше условий (в качестве входных данных использовались корни полинома (7)). При

С учетом приведенных признаков GERT-сети, в соответствии с выражением (2), а также используя математический пакет *Mathcad*, получим, что в знаменателе выражения (3) сформирован полином $x^7 - 0.1x^6 - 174x^5 + 2.471x^4 - 509x^3 + 128x^2 + 2.014x - 0.169 = 0$. (7)

Корни этого полинома (и соответственно функция $\Phi(z)$) равны:

- $x_1 \approx -2.11254039$, $(P(x_1) \approx 0; \text{iter} = 1)$;
- $x_2 \approx -0.56188563$, $(P(x_2) \approx 0; \text{iter} = 4)$;
- $x_3 \approx -0.20818597 - i \cdot 0.609441$, $(P(x_3) \approx 0; \text{iter} = 5)$;
- $x_4 \approx -0.20818588 + i \cdot 0.609441$, $n(P(x_4) \approx 0; \text{iter} = 4)$;
- $x_5 \approx -0.10358122$, $(P(x_5) \approx 0; \text{iter} = 3)$;
- $x_6 \approx 1.6471895 - i \cdot 0.7751076$, $(P(x_6) \approx 0; \text{iter} = 1)$;
- $x_7 \approx 1.6471895 + i \cdot 0.7751076$, $(P(x_7) \approx 0; \text{iter} = 4)$.

На рис. 3 представлена кривая графика зависимости функции $\Phi(z)$ от z в рассматриваемых выше условиях. Как видно из рисунка случайная величина z распределена в соответствии с показательным законом.

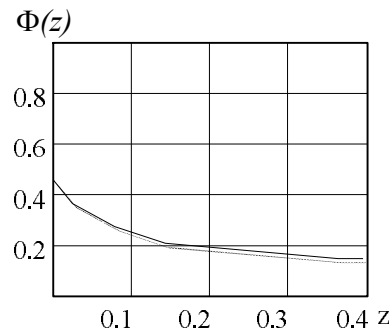


Рис. 3. График зависимости функции $\Phi(z)$ от интенсивности z

Найдем эту функцию и исследуем ее с использованием *Mathcad*. В соответствии с (5) $\phi(x)$ равна:

этом рис. 4, а соответствует случаю когда в качестве входных данных $(a + \delta i)$ использовалось значение x_1 ; рис. 4, б соответственно случаю использования x_2 ; рис. 4, в – использовалось значение x_3 . Рис. 4, д соответствует случаю когда в качестве входных

данных использовалось значение x_4 ; рис. 4, е – x_5 ; рис. 4, ж – x_6 ; рис. 4, з – x_7 соответственно.

Как и рассматриваемом выше примере, внешний вид кривых графиков рис. 4 дает основания

предположить, что не все найденные выше решения (корни полинома (7)) применимы при математическом и имитационном моделировании в качестве входных данных.

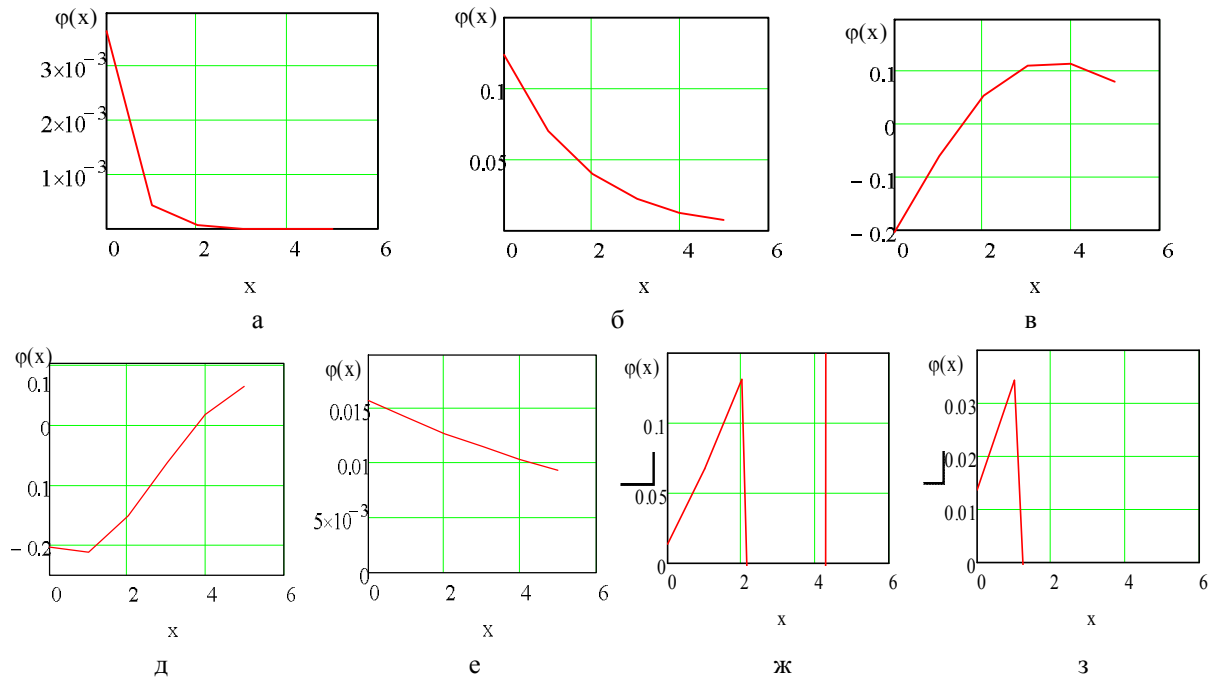


Рис. 4. Графики плотности распределения $\varphi(x)$ – вероятности времени выполнения технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям

Так значения x_3 , x_4 , x_6 и x_7 невозможно в дальнейшем использовать при анализе и моделировании.

В то же время внешний вид графиков, полученных для значений x_1 , x_2 и x_5 дает основания предположить, что случайная величина времени выполнения технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям соответствует гамма-распределению (близкое к экспоненциальному).

Результаты проверки этой гипотезы по критерию χ^2 Пирсона [14] подтвердили ее правдоподобность.

Так при достаточно большом значении доверительной вероятности $Q = 0,95$ для всех рассматриваемых x_1 , x_2 и x_5 соответствующие значения χ^2 ($\chi_1^2 = 19,3$, $\chi_2^2 = 15,1$, $\chi_5^2 = 25,6$) $\ll \overline{\chi^2} = 101,9$.

Выводы

В работе разработан комплекс математических моделей технологии тестирования WEB-приложений. В основу математического моделирования положен подход GERT-сетевого синтеза. В результате разработана математическая модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям.

Математическая модель технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям отличается от из-

вестных, усовершенствованным способом определения расстояния между результатами инъекции. Использование в предложенном способе критерия Джаро-Винклера, для сравнения результатов инъекции SQL кода и введение порогового значения позволит повысить точность результатов тестирования безопасности программного обеспечения.

В ходе исследования представленных моделей было определено, что случайная величина времени выполнения рассматриваемых технологий тестирования в целом соответствует гамма-распределению. Проверка этой гипотезы произведена по критерию χ^2 Пирсона.

Список литературы

1. About The Open Web Application Security Project – OWASP: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.owasp.org/index.php/About_The_Open_Web_Application_Security_Project.
2. OWASP Top 10 – 2017 RC1: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/OWASP/Top10/blob/master/2017/OWASP%20Top%2010%20-%202017%20RC1-English.pdf>.
3. Positive Research 2016: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/upload/ptru/analytics/Positive-Research-2016-rus.pdf>.
4. OSSTMM 3 – The Open Source Security Testing Methodology Manual. Contemporary Security Testing And Analysis: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isecom.org/mirror/OSSTMM.3.pdf>.

5. Testing for DOM-based Cross-site scripting (OTG-CLIENT-001) – OWASP: [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://www.owasp.org/index.php/Testing_for_DOM-based_Cross_site_scripting_\(OTG-CLIENT-001\)](https://www.owasp.org/index.php/Testing_for_DOM-based_Cross_site_scripting_(OTG-CLIENT-001)).

6. Testing for SQL Injection (OTG-INPVAL-005) – OWASP: [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://www.owasp.org/index.php/103Testing_for_SQL_Injection_\(OTG-INPVAL-005\)](https://www.owasp.org/index.php/103Testing_for_SQL_Injection_(OTG-INPVAL-005)).

7. Cohen W., Ravikumar P., Fienberg S. A Comparison of String Metrics for Matching Names and Records [Електронний ресурс] / William W. Cohen, Pradeep Ravikumar, Stephen E. Fienberg. Режим доступу:

<https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/Web/People/wcohen/postscript/kdd-2003-match-ws.pdf>.

8. Kevin Dreßler a , Axel-Cyrille Ngonga Ngomo On the Efficient Execution of Bounded Jaro-Winkler Distances / Semantic Web – Interoperability, Usability, Applicability an IOS Press Journal Електронний ресурс

<http://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj944.pdf>

9. Pritsker A. A. B., Happ W. W. GERT: Graphical Evaluation and Review Technique. Part I. Fundamentals // The Journal of Industrial Engineering (May 1966).

10. Pritsker, A. A. B. Modeling and analysis using Q-GERT networks New York: Wiley : Distributed by Halsted Press, 1979.

11. Семенов С.Г. Gert-модель прогнозування параметрів функціональної безпеки технічних систем / С.Г.Семенов, Гавриленко С.Ю., Кассем Халіфе // Зб. наукових праць. Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2016. – Вип. 2(139) С.50-52.

12. Semenov S.G., Zniyevskaya V N., Kassem Khalife Development of Gert model of management system by using test cases // Journal of Qafqaz university-mathematics and computer science 2016, Vol.(4), № 1. С. 52-59

13. Эдвардс Г. Последняя теорема Ферма. Генетическое введение в алгебраическую теорию чисел / Г. Эдвардс. – М.: Мир, 1980. – 486 с.

14. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

15. Коваленко А.В. Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко // Збірник

наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 5(142). – Х.: ХУПС – 2016. – С. 153-157.

16. Коваленко А.В. Проблемы анализа и оценки рисков информационной деятельности / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 3(140). – Х.: ХУПС – 2016. – С. 40-42.

17. Коваленко А.В. Метод качественного анализа рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Випуск 2(23). – Харків: ХУПС. – 2016. – С. 150-158.

18. Коваленко А.В. Алгоритм анализа уязвимости SQL Injection для управления рисками разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, А.С. Коваленко // Збірник тез другої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі» (ПНПЗК-2017). м. Харків. 10-12 квітня 2017 р. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2017. – С. 27.

19. Коваленко А.В. Метод управления рисками разработки программного обеспечения на основе алгоритмов анализа уязвимостей / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, А.С. Коваленко // Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології» (IS&CT). м. Кіровоград. 20-22 квітня 2017 р. – Кіровоград: КНТУ. – 2017. – С. 92.

20. Коваленко А.В. Алгоритмы анализа DOM XSS уязвимости и уязвимости SQL Injection при управлении рисками разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, А.С. Коваленко // Збірник тез IX міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії". м. Харків. 20-21 квітня 2017 р. – Харків: ХНЕУ. – 2017. – С. 61.

Надійшла до редколегії 12.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ТЕХНОЛОГІЯ ТЕСТУВАННЯ ВРАЗЛИВОСТІ ДО SQL ІН'ЄКЦІЇ

О.В. Коваленко

В роботі представлені результати дослідження та алгоритми тестування на вразливість до одним з найбільш поширених видів атак на Web-додатки – SQL ін'єкції. Аргументовано обраний підхід математичного моделювання на основі GERT-мереж. Розроблено комплекс математичних моделей технології тестування Web-додатків. В основу математичного моделювання покладено підхід GERT-мережевого синтезу. В результаті розроблено математичні моделі технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій. Математична модель технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій відрізняється від відомих, вдосконалим способом визначення відстані між результатами ін'єкції.

Ключові слова: уразливості до SQL ін'єкцій, GERT-мережі, уразливості безпеки

TECHNOLOGY OF VULNERABILITY TESTING TO SQL INJECTIONS

O.V. Kovalenko

The paper presents research results and vulnerability testing algorithms for one of the most common types of attacks on Web applications-SQL injections. The approach of mathematical modeling on the basis of GERT-networks is chosen. A set of mathematical models for testing Web applications has been developed. The basis of mathematical modeling is the approach of GERT-network synthesis. As a result, mathematical models have been developed for testing vulnerability to SQL injections. The mathematical model of vulnerability testing technology for SQL injections differs from the known ones, an improved method for determining the distance between injection results.

Keywords: vulnerabilities to SQL injections, GERT-networks, security vulnerabilities.

УДК 004.94

В.В. Косенко¹, Р.В. Артюх², О.О. Белоцький³, О.Ю. Персіянова²¹ ДП "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування", Харків² ДП "Південний державний ПКНДІ авіаційної промисловості", Харків³ Харківська обласна державна адміністрація, Харків

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ МЕТОДОЛОГІЇ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

В статті розглядається проблема інформаційного забезпечення для функціонування систем критичної інфраструктури (СКІ), адаптивного до зовнішніх умов та стійкого до ризиків. Розглянуто особливості СКІ як системи управління в реальному часі. Відповідно до цих особливостей сформульовано принципи методології ризик-адаптивного управління параметрами інфокомунікаційної мережі (ІКМ) СКІ. Запропоновано моделі формалізації таких принципів: ієрархічності, узгодження цілей та координації управління, потокового управління, оптимізації та ризик-орієнтованого управління.

Ключові слова: інфокомунікаційна мережа, ризики, адаптивне управління, інформаційна структура, параметри, методологія.

Вступ

Результатом науково-технічного прогресу останніх десятиліть, що визначив основний напрям світового розвитку, є широке застосування інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) і технологій для підвищення ефективності функціонування основних державних структур і їх об'єктів «критичної інфраструктури» [1]. Запровадження системного підходу до розв'язання проблем захищеності критичної інфраструктури потребує створення дієвого механізму координації зусиль, спрямованих на недопущення втрати чи завдання невинної шкоди вузловим елементам критичної інфраструктури внаслідок дії негативних чинників будь-якого походження: техногенного, природного, соціально-політичного або їх комбінації.

На сьогодні інформаційні й телекомунікаційні мережі стають одним з основних і найбільш вразливих складників критичної інфраструктури. Інфокомунікаційна мережа, яка реалізує інформаційне забезпечення критично важливим об'єктом, вважається ключовою системою інформаційної інфраструктури. Впровадження концепції захисту критичної інфраструктури не має обмежуватися заходами щодо захисту тільки від кіберзагроз. Це вимагає розробки нового підходу до синтезу ІКС і оцінки їх ефективності на СКІ в умовах впливу загроз інформаційної безпеки. Суть цього підходу повинна складатися в розробці методології управління параметрами ІКС, адаптованої до умов зовнішнього середовища і стійкої до можливих ризиків.

Постановка проблеми

Забезпечення виконання комплексних вимог до якості вирішення прикладних завдань є основною

метою управління СКІ. Ця мета містить ряд часткових цілей, кожна з яких може бути пов'язана з певним прикладним завданням. Проте, в процесі досягнення мети виникає ряд проблем, обумовлених специфікою роботи ІКМ і прикладного програмного забезпечення СКІ [2, 3]:

- визначення комплексного критерію якості роботи мережі, що відображає якість вирішення прикладних завдань;
- формування часткових цілей управління, що забезпечують отримання прийнятних результатів роботи мережі;
- узгодження цілей управління з можливостями мережевої апаратури і програмного забезпечення;
- урахування динаміки процесів розвитку мережі, пов'язаних з появою нових прикладних завдань, нового мережевого устаткування, підключенням нових користувачів;
- ефективне використання апаратно-програмного комплексу мережі, щоб уникнути невиправданих витрат на експлуатацію мережі.

Управління мережею має забезпечувати комплексне вирішення вказаних проблем. Відзначимо, що управління роботою ІКМ, як правило, має на увазі управління мережевим трафіком і, отже, управління структурованим устаткуванням мережі [3]. Аналіз літературних джерел показав, що на сьогодні існує велике різноманіття відповідних інформаційних технологій управління [4, 5], але не розроблено узагальнену методологію їхнього синтезу, яка враховує особливості як прикладних завдань, що циркулюють у мережевому середовищі, так і відповідних системних застосунків.

Вказані вище аспекти та завдання, існуючий математичний апарат аналізу та синтезу ІКМ в СКІ,

потребують розробки відповідного методологічного апарату, застосування якого дозволить отримувати структурні та технічні параметри ІТМ для забезпечення функціонування СКІ, адаптивного до зовнішніх умов та стійкого до ризиків. Тому метою даної статті є формулювання принципів методології ризик-адаптивного управління параметрами ІКМ СКІ та визначення і формалізація способів їх реалізації.

Принципи методології ризик-адаптованого управління ІКМ

Основою формулювання загальних принципів методології є особливості об'єкту (СКІ) і методів його аналізу та управління.

Структура системи управління в області критичних інфраструктур, що розглядається з точки зору комп'ютеризації аспектів діяльності, являє собою складну ієрархічну структуру. Особливостями СКІ є вимоги безперервного функціонування з постійним відображенням стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу. При цьому слід досягати виконання наступних цілей:

- надання функціональним завданням адекватних даних для прийняття рішень;
- прискорення виконання окремих операцій збору і обробки даних;
- зменшення кількості рішень, які потрібно приймати, шляхом їх об'єднання;
- підвищення рівня контролю та виконавчої дисципліни;
- підвищення оперативності управління;
- зниження витрат часу на виконання додаткових процесів управління;
- підвищення рівня обґрунтованості прийнятих рішень.

Структура ІКМ є основним чинником, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням, і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань. Основною метою аналізу структури є визначення параметрів потоків даних, що проходять по каналах зв'язку мережі та поступають на її вузли.

Результатами аналізу параметрів ІКМ є кількісні значення таких характеристик: навантаження на канали зв'язку і структуроутворююче устаткування, інтенсивності потоків даних і запитів, що поступають на вузли мережі.

Після проведення перерахованих робіт можна переходити до вирішення завдань управління розподілом трафіку. На етапі вирішення завдання настройки мережі виконуються наступні кроки:

- визначення конкретних показників якості настройки мережі,
- формування і розрахунок параметрів потоків даних інформаційної структури мережі,
- визначення складу устаткування мережі,

- формування технічної структури мережі.

Для отриманої структури з урахуванням обчислених параметрів треба оцінити рівень ризику функціонування ІКМ, який є необхідним для оцінки параметрів безпеки самої СКІ.

Етап корекції завдань настройки і оперативного управління є частиною адаптивного управління, він виникає у разі зміни базових параметрів мережі і може заважати перенастроюванню мережі і виробленню нових підходів до вирішення завдань оперативного управління.

Вказані вище кроки аналізу, синтезу та управління ІКМ є основою структури методології ризик-адаптованого управління ІКМ СКІ.

Загальна структура методології включає такі елементи: принципи, моделі, методи, прикладні засоби.

Методологія базується на таких принципах: декомпозиції та ієрархічності, узгодження цілей та координації управління, потокового аналізу і моделювання процесів, оптимального та адаптивного управління, ризик-орієнтованого управління.

Принципи декомпозиції та ієрархічності зумовлені розподіленою структурою СКІ і задачами розподілу трафіку, що передбачає розділення мережі на ряд підмереж.

Принцип узгодження цілей та координації управління реалізується, коли розподіл трафіку для кожної підмережі виробляється з урахуванням стану інших підмереж. Крім того, необхідне узгодження цілей управління підмережами, при якому локальні цілі управління розподілом трафіку в окремих підмережах повинні забезпечувати досягнення глобальної цілі управління мережею.

Принципи потокового аналізу і моделювання здійснюються при вирішенні завдань вимірювання, моделювання, опису параметрів трафіку для отримання необхідних робочих характеристик мережі.

Принципи оптимального та адаптивного управління забезпечують ефективність використання ресурсів мережі.

Для підвищення захищеності інформаційних ресурсів використовується підхід до створення адаптивних систем захисту, який орієнтований на активне протистояння загрозам безпеці.

Реалізація такого підходу потребує проведення аналізу ризиків, розробки політики безпеки, використання традиційних засобів захисту, а також впровадження контрзасобів для протистояння загрозам, постійного аудиту безпеки та моніторингу стану системи, що має дозволити оперативно реагувати на ризики ІКМ. Тому застосовується принцип ризик-орієнтованого управління, який відображає завдання аналізу та оцінки ризиків для прийняття рішень з їх парировання, завдяки чому підвищується безпека системи.

Моделі реалізації основних принципів методології

1. *Принцип ієрархічності в мережевих протоколах ІКС.* Питання узгодженої взаємодії мережевих серверів, периферійних і комутаційних вузлів мережі, виділених терміналів і мережевих процесорів вирішуються за допомогою системи мережевих протоколів. В узагальненій тривірневій моделі архітектури ІКС внутрішні операції вузла розділені між прикладними процесами (ПП) і системними застосунками (СЗ). Для розподіленої СКІ прийнятною є організація семирівневої архітектури відповідно до моделі взаємодії відкритих систем (стандарт OSI [6]). Підсистеми одного рангу утворюють N - рівень, призначення якого полягає в забезпеченні N - сервісу для $(N + 1)$ - рівня. Визначимо інформаційні змінні:

- $U_p^{(N)}$ інформація управління N - протоколу для обміну двох N - модулів через $(N-1)$ - з'єднання з метою координації їх робіт;
- $D_p^{(N)}$ дані, що передаються на N - рівні за запитом від $(N + 1)$ - модуля;
- $E_p^{(N)}$ одиниця даних N - протоколу;
- $U_I^{(N)}$ інформація управління N - інтерфейсу,
- $D_I^{(N)}$ дані N - інтерфейсу, що передаються від $(N + 1)$ - модуля на нижній за ієрархією рівень;
- $E_I^{(N)}$ одиниця даних N - інтерфейсу при взаємодії $(N + 1)$ - модуля і N - модуля;
- $E_S^{(N-1)}$ одиниця даних $(N-1)$ - сервера, тобто обсяг даних $(N-1)$ - інтерфейсу, що зберігається при передачі між кінцевими модулями $(N-1)$ - з'єднання.

Позначимо $R_F^{(N)}$ - інформаційно-обчислювальний ресурс (ІОР), що надається мережею на рівні N для КПП з ім'ям F . Ресурс вимірюється кількістю інформаційних одиниць рівня N , що надаються мережею за одиницю часу [7]. Відповідно

$$R_F^{(N)} = r^{(N)} p^{(N)}, \quad (1)$$

де $r^{(N)}$ та $p^{(N)}$ - відповідно вузлові і комунікаційні параметри мережі на рівні N .

Функціонування КПП визначається можливістю виділення ІКС ресурсу

$$R_F^{(7)} = \varphi(R_F^{(1)}, \dots, R_F^{(6)}). \quad (2)$$

Розглянемо процес обробки інформації на різних рівнях архітектури ІКМ.

Фізичний рівень становить реальний взаємозв'язок між вузлами мережі. Для i -го з'єднання компонент обрано такі характеристики:

- V_{i_1} - швидкість передачі даних $D_I^{(1)}$ у фізичному середовищі (Кбіт/с);

- l_{i_1} - стандартний розмір фізичного блоку даних (в байтах) для обраного середовища, що визначаються сформованою мережевою архітектурою;
- p_{i_1} - ймовірність спотворення блоку даних.

Тоді з'єднання i_1 надає наступний обсяг ІОР (блок/с):

$$R_{i_1}^{(1)} = \frac{V_{i_1} (1 - p_{i_1})}{8l_{i_1}}. \quad (3)$$

Канальний рівень забезпечує передачу інформації між суміжними вузлами мережі. Визначимо характеристики логічного каналу i_2 :

- l_{i_2} - число байт в інформаційному полі кадру з $D_I^{(2)}$, переданого по логічному каналу i_2 ;
- $t_{i_2}^m$ - час перемикання модемів;
- p_{i_2} - ймовірність спотворення кадру;
- $t_{i_2}^d$ - час, необхідний для посилення підтвердження з $U_I^{(2)}$;
- n_{i_2} - кількість фізичних з'єднань.

При розмірі кадру $E_I^{(2)}$ виділяється обчислювальний ресурс:

$$R_{i_2}^{(2)} = \frac{8l_{i_2} (1 - p_{i_2}) E_I^{(2)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} R_{i_1}^{(1)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} V_{i_1}}{2t_{i_2}^m + t_{i_2}^d + 70(6 + l_{i_2})}. \quad (4)$$

При встановленні віртуального з'єднання на мережевому рівні передається основний пакет, при цьому віртуальний канал даного рівня надає мережі ІОР, що розраховується за формулою [8]:

$$R_{i_3}^{(3)} = \left(\sum_{i_2=1}^{n_{i_3}} R_{i_2}^{(2)} l_{i_2} - U_I^{(2)} n_{i_3} \right) / \left(E_p^{(3)} - U_p^{(3)} \right), \quad (5)$$

де n_{i_3} - число каналів другого рівня, що надають кадри віртуальному каналу i_3 ; $U_I^{(2)}$ - характеристики каналу; $E_p^{(3)}$, $U_p^{(3)}$ - характеристики структури основного пакета протоколу.

На транспортному рівні [9] окремо виділена транспортна станція має в своєму розпорядженні ресурс

$$R_{i_4}^{(4)} = \text{Ent} \left(\frac{\sum_{i_3=1}^{n_{i_4}} \left[R_{i_3}^{(3)} \left(E_p^{(3)} - U_p^{(3)} \right) \right] - l_4 n_{i_4}}{\left(E_p^{(4)} + 7 \right) - 2e_4^k} \right), \quad (6)$$

де - n_{i_4} - число буферізованих пакетів транспортної станції i_4 ; l_4 - стандартний розмір команди управління транспортним ящиком; e_4^k - кількість

одиночних пакетів, що виділяються для управління і складання вищих рівнів.

На сеансному рівні обсяг обчислювального ресурсу (станд. повід. / C) дорівнює

$$R_{i_5}^{(5)} = \frac{R_{i_4}^{(4)}(E_P^{(4)} + 7) - U_P^{(5)}}{E_P^{(5)}} - n_{i_5}, \quad (7)$$

де n_{i_5} - число транспортних станцій, необхідних для проведення сеансу.

Для ІКС найбільш важливий рівень уявлень ІОР цього рівня (інф. повідом./C)

$$R_{i_6}^{(6)} = \text{Ent} \left(\frac{R_{i_5}^{(5)} \cdot (E_P^{(5)} - U_P^{(5)})}{\Psi_6(E_P^{(6)})} \right), \quad (8)$$

де Ψ_6 - функція стандартизації повідомлень нерівнозначних програмних компонент.

Прикладний рівень об'єднує призначені для користувача процеси і процеси мережі.

2. *Принцип узгодження цілей та координації управління при розподілі трафіку ІКМ.* Узгодження цілей управління при рішенні завдань оперативного управління підмережами ІКМ можливо в рамках загального функціонала якості управління. Необхідно вирішити задачу настройки мережі, де визначиться, як підмережі зв'язані одна з одною. Можливим рішенням є виділення кожній підмережі певних ресурсів, так, щоб оптимізувати показники якості роботи мережі в цілому [10]. Прийнятним рішенням є застосування адитивного показника якості роботи мережі

$$GT^* = \sum_i e_i GT_i^*(UN_{i_i}^*), \quad (9)$$

де e_i - ваговий коефіцієнт для показника якості роботи i -ї підмережі, а величини $GT_i^*(UN_{i_i}^*)$ обчислюються за формулою

$$GT_i^*(UN_{i_i}^*) = \text{opt}_{UN_{i_i}} \left(\sum_{k=1}^L b_{lk} \sum_{j=1}^Q a_{lij} q_{jk} (QT_{lij}(S_{ik})) \right), \quad (10)$$

де UN_{i_i} - множина параметрів оперативного управління підмережою, $i = 1, 2, \dots, Q$; QT_{li} - множина показників якості оперативного управління підмережою; QT_{lik} - множина показників якості оперативного управління підмережою для кожного завдання, що вирішується в підмережі, $k = 1, 2, \dots, L$;

$q_{jk}(QT_{lij}(S_{ik}))$ - множина значень показників якості вирішення часткових завдань S_{ik} ;

b_{lik} - множина вагових коефіцієнтів для часткових завдань підмережі;

a_{lij} - множина вагових коефіцієнтів для показників якості вирішення часткових завдань.

Узгодження цілей при вирішенні завдань усередині підмережі пропонується забезпечити шляхом урахування ресурсів, що виділяються для кожного завдання або групи завдань.

Позначимо кількість видів ресурсів, які розподіляються між групами завдань - R . Число типів завдань позначимо T . Введемо матрицю розподілу ресурсів

$$RS = \parallel rs_{ij} \parallel, i = \overline{1, T}, j = \overline{1, R}, \quad (11)$$

де $rs_{ij} \in [0, 1]$ - частка ресурсу виду j , виділеного завданням типу i , а для елементів матриці RS повинні виконуватися умови:

1) кожен ресурс повністю розподіляється між завданнями

$$\sum_{i=1}^T rs_{ij} = 1, j = \overline{1, R}; \quad (12)$$

2) кожне завдання може отримувати або не отримувати частку кожного з ресурсів

$$\sum_{j=1}^R rs_{ij} \geq 0, i = \overline{1, T}. \quad (13)$$

Матриця RS дозволяє встановити, як розподіляються ресурси між завданнями і є елементом множини параметрів управління.

У загальному випадку, завдання оперативного управління, пов'язане з розподілом ресурсів, може бути сформульоване таким чином.

Знайти оптимальне значення функції:

$$GT_i^*(RS) = \text{opt}_{RS} \sum_{k=1}^T b_{lk} \left(\sum_{j=1}^Q a_{lij} q_{jk} (QT_{lij}(S_{ik})) + \sum_{m=1}^R c_{km} rt_m rs_{km} \right), \quad (14)$$

де c_{km} - множина вагових (вартісних) коефіцієнтів для ресурсів, що виділяються завданням при заданій системі обмежень, $c_{km} \geq 0, k = \overline{1, L}, m = \overline{1, R}$;

1) кожен i -й тип завдань повинен отримати необхідну кількість ресурсів виду j

$$(rt_j)(rs_{kj}) \geq \underline{rt}_{kj}, j = \overline{1, R}, k = \overline{1, T}, \quad (15)$$

де \underline{rt}_{kj} - мінімальна допустима кількість ресурсу виду j , що виділяється групі завдань типу k ;

2) сумарний об'єм ресурсів виду j , що виділяються всім завданням, не повинен перевищувати загальної кількості наявних ресурсів цього виду

$$\sum_{k=1}^L (rs_{kj})(rt_j) \leq rt_j, j = \overline{1, R}. \quad (16)$$

Результатом рішення даної задачі буде розподіл ресурсів підмережі номер i між завданнями, що вирішуються на цій підмережі.

3. *Принцип потокового управління в методах розподілу трафіка.* Методи управління потоками даних у сучасних ІКМ використовують в рамках передових концепцій мережевого управління, таких як Traffic Engineering (TE), Active Network (AW), Network Engineering (NE) [11]. Для реалізації даних методів використовується той чи інший математичний апарат, наприклад, теорія мережевого управління, теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, математичне програмування, оптимальне управління динамічними системами та ін. При застосуванні *мережевих методів* основна увага приділяється особливостям структури ІКМ [12].

Для вирішення однопродуктової задачі можна використовувати теорему Форда-Фалкерсона про максимальний потік для мережі з одним джерелом і одним стоком [13]. Для вирішення багатодуктової задачі вводиться параметр резервування пропускної здатності (φ_i) i -го елемента мережі (r_i), а для вибору оптимального шляху вирішується наступна рівність

$$\varphi_z = \min_{i \in M_z} (\varphi_j | \varphi_j = \max((\varphi_i - r_i), 0)), \quad (17)$$

де M_z - множина всіх допустимих шляхів z -ї складової.

Для забезпечення збалансованого завантаження мережі використовується узагальнений алгоритм Дейкстри, а рішення зводиться до оптимізаційної задачі

$$\varphi(P_k) = \min_{i, j \in P_k} (\varphi_{ij} | \varphi(P_k) \geq \varphi_p^k; k = \overline{1, K}), \quad (18)$$

де φ_{ij} - пропускна здатність тракту (i, j),

φ_p^k - необхідна пропускна здатність шляху P_k .

Задача балансування мережі зводиться до наступної оптимізаційної задачі

$$\varphi(M, F) = \max_{\varphi \in \Phi} (\varphi), \quad (19)$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} \sum_{p \in P} F_{ij}^p &= \varphi; \\ \sum_{p \in P} F_{ij}^p &\leq M_{ij}; \\ F_{ij}^p &\geq 0; \forall i, j, p, \end{aligned} \quad (20)$$

де F_{ij}^p - потік із i -го вузла до вузла j шляхом $p \in P$,

P - кількість допустимих шляхів, $M_{ij} \in M$ - матриця пропускних здатностей.

Умови балансування зводяться до задачі динамічного або цілочисельного програмування [14] з мінімізацією величини максимального завантаження мережеских трактів з урахуванням необхідної для кожного процесу частки смуги пропускання.

При динамічному управлінні потоками даних в ІКМ значне поширення отримали методи, що використовують апарат диференційно-інтегральних рівнянь, який дозволяє одночасно враховувати просторові й часові характеристики досліджуваних процесів. Для опису динаміки зміни інтенсивності інтегральних потоків $\lambda_i(t)$ використовується система нелінійних інтегральних рівнянь Вольтера другого роду:

$$\lambda_i(t) = \sum_{j \neq i} \int_0^t p_{ji} (\lambda_j^0 + \lambda_i(\tau)) \times \quad (21)$$

$$\times \varphi_{ji} \left((t - \tau) \lambda_j^0 + \lambda_i(t - \tau) \right) \lambda_i(\tau) dt + \Delta_i(t),$$

де j - номер черги на вузлі i ;

$p_{j,i}(\lambda_j^0)$ - ймовірність обслуговування пакетів,

якщо λ_j^0 - інтенсивність їх отримання у j -у чергу вузла i при $t = 0$;

$\varphi_{j,i} = \frac{d}{dt} \Phi(\tau, \lambda_j^0)$ - щільність розподілу часу

обслуговування пакетів в j -й черзі на вузлі i ;

$\Delta_i(t)$ - детермінована складова потоку.

При використанні різниць рівнянь станів, що характеризують досліджувані процеси, динаміка процесу може бути промодельована системою рівнянь завантаження буферів черг на вузлах ІКМ [15], що описує обсяг даних, які передаються з i -го вузла на j -й у момент часу t_k :

$$\begin{aligned} x_{ij}(k+1) &= x_{ij}(k) - \sum_{l \neq i} b_{ij}^{(\mu)}(k) u_{ij}^{(\mu)}(k) + \\ &+ \sum_{m \neq i, j} b_{mi}^{(\mu)}(k) u_{mij}^{(\mu)}(k) + y_{ij}(k); \end{aligned} \quad (22)$$

$$b_{mi}^{(\mu)}(k) = c_{mi}(k) \Delta t; \quad y_{ij}(k) = \xi_{mi}(k) \Delta t,$$

де $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ - ступінь дискретизації для розрахунку маршрутних змінних;

$c_{m,i}(k)$ - доступна пропускна здатність маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$\xi_{m,i}(k)$ - інтенсивність надходження даних по маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$u_{i,l,j}^{(\mu)}(k)$ - маршрутна змінна.

Однак при більших розмірностях оптимізаційної задачі її аналітичний розв'язок неможливий. В таких випадках більш ефективними є методи імітаційного моделювання.

4. *Принцип оптимізації при управлінні параметрами ІКС.* Сформулюємо узагальнений критерій якості структури ІКС. Для порівняльної оцінки якості функціонування ІКС використовуються різні часткові кількісні показники.

Потужність підмножини часткових показників $Q \subseteq D$ для ІКС варіюється від 10 до 50 [16]. Аналіз

множини часткових показників Q дозволяє розбити його на підмножини основних показників Q_j з різними ваговими коефіцієнтами λ_j , тобто

$$Q = \bigcup_{j=1}^k Q_j. \quad (23)$$

Підмножини Q_j визначаються таким чином:

- Q_1 - група показників витрат на адаптацію програмно-технічних засобів;
- Q_2 - група показників оцінки функціонування технічних засобів ІКС;
- Q_3 - група показників оцінки функціонування системного програмного забезпечення;
- Q_4 - група показників оцінки витрат ІОР на виконання прикладних завдань у вузлах мережі;
- Q_5 - група показників оцінки витрат на обмін інформацією між вузлами мережі;
- Q_6 - група показників оцінки витрат при модернізації і розширенні вузлів ІКМ.

Для зменшення обчислювальних труднощів при оцінці основних показників пропонується вибір в кожній підмножині Q_j одного основного показника $Q_{Oj} \in Q_j$. Тоді кількісна оцінка N_j підмножини Q_j визначається виразом

$$N_j = \frac{Z_j^{(S)}}{Z_j^{(K)}}, \quad (24)$$

де $Z_j^{(K)}$ - значення основного показника ефективності ІКМ; $Z_j^{(S)}$ - мінімальне значення основного показника, що визначається потребами СКІ.

Завдання багатокритеріального вибору оптимальної структури ІКМ відповідає вибору точки $z \in \Pi$ (Π - простір варійованих параметрів системи) всередині області допустимих рішень, обмеженою гіперплощинами:

$$\Pi = \left\{ \Pi_j(N_j) \mid N_i \leq 1, \forall i \in \overline{1, k} \right\}. \quad (25)$$

Завдання обмежень і критеріїв визначає множину P_d допустимих точок простору кількісних оцінок $P : P_d \subset P$.

Для множин часткових показників якості структури ІКС найбільш значущим критерієм є узагальнений показник R - сумарний розмір ІОР для функціонування СКІ. Його числове значення визначається за допомогою функціоналу

$$F(R) = \varphi(t_s, t_c, V_1, V_i, p_c, t_t), \quad (26)$$

де t_s - параметр, що відображає астрономічний час розв'язання прикладної задачі в мережі;

t_c - параметр, що визначає сумарний процесорний час в вузлах мережі на виконання окремої прикладної задачі;

V_1 - параметр, що визначає сумарний обсяг необхідної зовнішньої пам'яті;

V_i - параметр, що визначає сумарні обсяги оперативної пам'яті по всіх вузлах мережі;

p_c - параметр, що визначає пропускну здатність задіяних каналів мережі;

t_t - параметр, що визначає сумарний час обробки транзакцій активної підсистеми СКІ.

Для функціональних процесів СКІ параметри V_i і V_1 не накладають істотних обмежень на завдання, а тому можна припустити, що для R існує кількісна оцінка для конкретних елементів технічної структури мережі. У цьому випадку функція φ є лінійною комбінацією змінних $R_{ij}^{(7)}$, що визначають розмір ІОР, що виділений на верхньому рівні мережі для інформаційних повідомлень відповідних прикладних завдань функціонального підмножини L_i , що характеризується показниками з множини часткових показників Q_j .

Отже, функціонал $F(R)$ конкретизується наступним чином

$$F(R) = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in L_R} \alpha_j \lambda_j^i R_{ij}^{(7)}, \quad (27)$$

де α_j - вагові коефіцієнти множини Q_j ; λ_j^i - коефіцієнт, що враховує інтенсивність потоку інформаційних повідомлень групи прикладних задач з функціональної підмножини L_i , визначеного розбиттям L_R , що використовують ІОР, який характеризується показниками з множини Q .

Критерій (27) враховує способи організації обміну інформацією при функціонуванні різних підсистем СКІ, зв'язку між окремими елементами системи, параметри вузлів мережі, функціональне призначення СКІ.

5. *Принцип ризик-орієнтованого управління при забезпеченні безпеки СКІ.* Оцінювання інформаційного ризику ІКС виконується поетапно. На першому етапі здійснюється побудова структурної діаграми, визначаються часткові ризики, чинники, що їх викликають та можливі наслідки виникнення ризиків. Взаємозв'язок між цими складовими відображаються у вигляді причинно-наслідкового діаграми [17].

Так як кількість взаємозв'язків між факторами ризиків і ризиковими подіями велика, то для наочності подальшого аналізу взаємозв'язок між факторами, пов'язаними з ними проявами ризику і наслідками представляється у вигляді таблиць з ідентифікацією

кожного з наслідків як змінної з відповідним індексом. Для кількісної оцінки впливу інформаційного ризику на функціонування ІКМ пропонується використовувати метод, заснований на теорії причинного аналізу. Модель ризиків у вигляді причинно-наслідкової мережі може бути заснована на побудові і аналізі ймовірнісних або нечітких когнітивних карт [18]. Когнітивна карта визначається як кортеж множин:

$$K = (\{P, R, S\}, F, \{B, C\}),$$

де $\{P, R, S\}$ – множина елементів, в даному випадку складається з трьох підмножин (фактори, ризики, наслідки); F – множина зв'язків між елементами; $\{B, C\}$ – множина ваг цих зв'язків.

Когнітивна карта трансформується в знаковий орієнтований граф, у вершинах якого розташовуються ключові елементи об'єкта моделювання, пов'язані між собою дугами, що відображають причинно-наслідкові зв'язки між ними. Ці зв'язки характеризують ступінь впливу елементів один на одного і задаються за допомогою коефіцієнтів або лінгвістичних термів:

$B = \{b_{ij} \mid i=1..n, j=1..m\}$ – коефіцієнти впливу i -го фактора на виникнення j -го прояву ризику, $0 \leq b_{ji} \leq 1$;

$C = \{c_{jk} \mid j=1..m, k=1..h\}$ – коефіцієнти впливу j -го прояву ризику на k -й наслідок, $0 \leq c_{kj} \leq 1$.

Значення b_{ij} і c_{jk} можна визначити об'єктивним чи суб'єктивним методом на підставі минулого досвіду. Тоді оцінка можливості виникнення k -го наслідку здійснюється за формулою:

$$P(S_k) = \sum_i \sum_j b_{j,i} c_{kj}.$$

Можливий збиток для функціонування мережі G_{kj} , що визначається k -м наслідком, який викликаний j -м частковим ризиком G_{kj} обчислюють на підставі співвідношення [19]:

$$G_{kj} = P(S_k)H(R_j \rightarrow S_k)f_k,$$

де $P(S_k)$ – ймовірність k -го наслідку;

$H(R_j \rightarrow S_k)$ – приведений ефект впливу ризику R_j на характеристику S_j ,

f_k – показник, що відображає цінність k -ї характеристики.

Запропонований метод кількісної оцінки ризику ІКМ заснований на теорії причинно-наслідкового аналізу і дозволяє враховувати чинники ризику і можливі наслідки.

Висновки

Проведено аналіз принципів побудови розподілених систем критичної інфраструктури. Аналіз особливостей СКІ, показав, що система цього типу має функціонувати безперервно, з урахуванням можливої зміни стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу. Тому розглянуто

властивості систем критичної інфраструктури як системи управління в режимі реальному часу.

Визначено особливості аналізу структури і параметрів ІКМ СКІ. Перелічено вимоги для розрахунку характеристик інформаційної і технічної структури мережі.

Вказані кроки аналізу, синтезу та управління ІКМ є основою структури методології ризик-адаптованого управління параметрами ІКМ СКІ. Сформульовано та розкрито сутність принципів запропонованої методології. Визначено склад та особливості моделей і методів, які є основою методичного апарату.

Принцип ієрархічності реалізований в основних вимогах до мережевих протоколів. Аналіз цих вимог дозволив з'ясувати шляхи вирішення завдання вибору можливих варіантів побудови структури ІКМ, яка забезпечить функціонування СКІ в реальному масштабі часу.

Визначені можливості застосування принципів управління складною системою: координація і узгодження цілей у разі управління розподілом трафіку. Для узгодження цілей управління запропоновано використовувати адитивні функціонали якості управління всією мережею, які містять зважені функції якості управління окремими підмережами, що дозволяє локалізувати завдання оперативного управління.

В якості реалізації принципу потокового управління розглянуті основні методи управління розподілом трафіку в мережі і застосовані в них математичні моделі. Показано, що ефективність використання мережевих ресурсів може бути підвищена за рахунок розробки та застосування методів адаптивного управління. У свою чергу, застосування запропонованих моделей в адаптивних методах управління параметрами мережі дозволить забезпечити виконання вимог до продуктивності і надійності мережі та безпеки СКІ.

В частині реалізації принципу оптимальності рішень здійснено вибір показників ефективності передачі даних в ІКМ СКІ, в якості яких обрано показники ефективності функціонування мережевого протоколу. Визначено критерій вибору найкращого мережевого протоколу ІКМ, в якості якого виступає вимога щодо мінімізації узагальненого показника ефективності.

Для реалізації принципу ризик-орієнтованого управління запропоновано використовувати причинно-наслідкові діаграми чинників, проявів і наслідків ризиків. Запропонований спосіб кількісної оцінки можливості виникнення наслідків ризиків. Також проводиться кількісна оцінка можливих збитків для функціонування мережі, що визначається конкретним наслідком, який викликаний частковими ризиками.

Таким чином, методологія ризик-адаптованого управління параметрами ІКМ СКІ реалізує структурно-параметричний синтез інформаційної і технічної складової, адаптивне управління трафіком з урахуванням оптимального розподілу прикладних завдань по вузлах мережі та двоконтурне управління ризиками, що дозволить забезпечити функціонування ІКС, адаптивне до зовнішніх умов та стійкого до ризиків, що сприяє підвищенню безпеки СКІ.

Список літератури

1. Гончар С.Ф. Шляхи удосконалення державної політики забезпечення інформаційної безпеки критичної інфраструктури України : матеріали круглого столу / С.Ф. Гончар // Актуальні проблеми та шляхи їх розв'язання - Київ, НАДУ при Президентіві України (кафедра національної безпеки). - 2014. - С.92-95.
2. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паинев. - М.:Физматлит, 2006. - 220 с.
3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - 3-е изд. - СПб.: Питер, 2008. - 958 с.
4. Бородакий Ю.В. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы) / Ю.В. Бородакий. - М.: Горячая Линия - Телеком, 2011. - 368 с.
5. Поповский В.В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах / В.В. Поповский, В.Ф. Олейник. - Х.: ООО "Компания СМІТ", 2011. - 362 с.
6. Микитишин А.Г. Комп'ютерні мережі / А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П. Д. Стухляк, В.В. Пасічник. - Львів: «Магнолія 2006», 2013. - 256 с.
7. Козлов С. В. Оптимальное распределение информационно-вычислительных ресурсов на основе двухуровневого критерия / С.В. Козлов, Ю.П. Остриков, А.Л. Суханов // Управление большими системами: сборник трудов. - 2014. - С. 71 - 84.
8. Буров С. В. Комп'ютерні мережі / С. В. Буров - Львів: «Магнолія 2006», 2010. - 262 с.
9. Информационно-вычислительные сети [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pravo.vuzlib.su/book_z1436_page_6.html.

10. Косенко В.В. Управление розподілом трафіку підмереж багаторівневої адаптивної інформаційно-телекомунікаційної мережі / В.В. Косенко, Р.В. Артюх, О.Ю. Персіянова // Системи управління, навігації та зв'язку. - П.: ПНТУ, 2016. - №4(40). - С. 73-75

11. MPLS Traffic Engineering (TE) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.mplsinfo.org/traffic-engineering.html>.

12. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков. - СПб.: Питер, 2009. - 384 с.

13. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений / А. А. Грешилов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 647с.

14. Девятерикова М. В. Униמודулярные преобразования для задач целочисленного программирования и анализ эффективности их применения // М.В. Девятерикова, А.А. Колоколов, А.П. Колосов // Тр. Ин-та математики и механики. - 2010. - Т. 16. - С. 48-62.

15. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За загал. ред. В.В. Поповського. - Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. - 564 с.

16. Поштаренко В. М. Обеспечение качества обслуживания на критических участках мультисервисной сети / Поштаренко В. М., Андреев А. Ю., Амаль М. // Вісник Національного технічного університету. - 2013. - № 60. - С. 94-100.

17. Малеева О.В. Анализ взаимодействия внутренних и внешних рисков на основе причинно-следственной диаграммы / О.В. Малеева, Н.И. Сытник // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - 2007 - №1. - С. 73-76.

18. Кирьянов В. В. Усовершенствование организационных основ создания комплексной системы защиты информации в информационно-телекоммуникационной системе [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2014/frt/kyryanov/diss/index.htm>.

19. Надеждин Е.Н. Методика оценивания рисков информационной безопасности в вычислительных сетях образовательных учреждений [Електронний ресурс] / Е.Н. Надеждин, В.А. Шептуховский - Режим доступу: <http://www.masters.donntu.org/2014/frt/vashakidze/library/8.htm>.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕТОДОЛОГИИ РИСК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В.В. Косенко, Р.В. Артюх, А.А. Белоцкий, Е.Ю. Персиянова

В статье рассматривается проблема информационного обеспечения для функционирования систем критической инфраструктуры (СКИ), адаптивного к внешним условиям и устойчивого к рискам. Рассмотрены особенности СКИ как системы управления в реальном времени. В соответствии с этими особенностями сформулированы принципы методологии риск-адаптивного управления параметрами инфокоммуникационной сети (ИКМ) СКИ. Предложены модели формализации таких принципов: иерархичности, согласования целей и координации управления, потокового управления, оптимизации и риск-ориентированного управления.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть, риски, адаптивное управление, информационная структура, параметры, методология.

REALIZATION OF PRINCIPLES OF METHODOLOGY OF RISK-ADAPTIVE MANAGEMENT OF PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE SYSTEMS

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh, O.O. Belotsky, O.Yu. Persia

The article deals with the problem of information provision for the functioning of critical infrastructure (SCI) systems, adaptive to external conditions and risk-resistant. Features of SKI as a real-time management system are considered. In accordance with these features, the principles of the methodology of risk-adaptive management of the infocommunication network (ICM) SCI parameters are formulated. Models of formalization of such principles are proposed: hierarchy, coordination of goals and coordination of management, stream management, optimization and risk-oriented management.

Keywords: infocommunication network, risks, adaptive management, information structure, parameters, methodology.

УДК 658.512.032

N.V. Kosenko

O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Kharkiv

MODEL SYNTHESIS OF COMPLEX MULTIFACTOR ASSESSMENT OF THE "QUALITY" OF A PROJECT TEAM APPLICANT

The general task of decision-making is formulated and structured in the context of multicriteria and uncertainty of initial data. The probability and reasonability of regularizing the problem of multicriteria selection of solutions based on the theory of utility is grounded. The problem of structural and parametric identification of developing a generalized scalar assessment of alternative solutions is formulated in view of a set of heterogeneous partial criteria.

Keywords: *synthesis, project, model.*

Introduction

The widespread of modern computer technology, its intensive use as a way of automating human intellectual activity in all spheres has become an additional impetus to the study and formalization of decision-making processes. All these factors determine the special importance of study the methods and means of decision-making while training specialists in various spheres.

Academician V.M. Glushkov was one of the first scholars who formulated the necessary conditions which should be met by the decisions that are made: their timeliness, completeness and optimality [1]. With the development of science, the accumulation of data, the complication of production processes, the tasks of multicriteria optimization have appeared. The fulfillment of the above conditions cannot be performed because of the limitations of certain knowledge, the impossibility or inaccuracy of the quantitative measurement of a part of the characteristics, the incompleteness, inaccuracy of the initial data and the formal description which lead to various types of information uncertainty, that is weak formalization of the intellectual procedure of understanding the decision-making process.

Setting the general task of decision-making

The formalization of decision-making processes, the transition from non-formal subjective procedures to norm-reasoned objective rules is one of the most important scientific tasks of the current time. The theory of making efficient decisions is an interdisciplinary scientific area integrating into system analysis, utility theory, psychology, introspective analysis (expert evaluation methodology), etc. Specific interest in the theory of decision-making is based on the fact that all household, professional, social, political activity is a sequence of acts of making and implementing decisions. At the same

time, the effectiveness of individual decisions does not only determine the personal success of each individual, but also, in many cases, affects a more or less wide range of interacting (system related) people [2].

The decision-making procedure is an obligatory stage of any purposeful activity. At the same time, despite the diversity of activities, the decision-making process can be structured by identifying the required steps [3]:

1. goal formalization;
2. determining the complete set of admissible solutions of X ;
3. developing the metric (the criterion for the effectiveness assessment) $K(x)$, in which the relative value of the effectiveness of any solution $x \in X$ can be measured.

At the same time, the difficulty of developing a normative theory of effective formally objective decision-making is greatly hampered by the fact that a decision-making procedure is determined as an act of conscious selection of probabilities of an alternative from the admissible set. Thus, decision-making is an intellectual, creative act, based on the following model:

$$x^\circ = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} K(x), \quad (1)$$

where x° is effective solutions, x is a set of admissible solutions,

$K(x)$ is the criterion for effectiveness assessment, i.e. the metric in which the "quality" of the solution is measured.

In a particular case, if the criterion of effectiveness is scalar, i.e. single, the problem of selection does not cause fundamental difficulties and is reduced to establishing an ordinal order relation on the numerical axis. In this case the best solution is the extreme one, i.e. extreme element of the sequence. However, such a situation is extremely rare and is of just theoretical interest.

In general case, any system, technical, production, environmental, social has a lot of "properties". Each local "property" characterizes the system according to one or a group of "qualities", and their totality characterizes the "quality", "effectiveness", "utility" of the system as a whole.

Model synthesis of complex multifactor assessment of applicants

In general case, the task of multifactor complex assessment of the "quality" of applicants is:

$$K(x) = F[\lambda, k_i(x)]; \quad i = \overline{1, n} \quad (2)$$

where F is the operator that defines the structure of the assessment model;

λ is the isomorphism coefficient, $k_i, i = \overline{1, n}$ is particular characteristics.

The general idea of the regularization of the problem of multicriteria selecting a solution lies in its scalarization, i.e. replacing the initial multicriteria task with a single-criterion or a sequence of single-criterion tasks.

Therewith, this general basis of all methods of regularizing the task of multicriteria optimization is the theory of utility, according to which, the usefulness of solution – $K(x)$ is considered as a generalized scalar assessment of the "quality" (effectiveness) of the solution $x \in X$.

The utility function is presented as an additive model:

$$K(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x), \quad (3)$$

where $k_i(x)$ is a set of partial criteria;

λ_i is the degree of relative importance of particular criteria, which makes $k_i(x)$ equal.

The assessment of such values is difficult, therefore, a more convenient form of assessment is used. To eliminate the polymorphism, (3) is transformed to (4):

$$K(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), \quad (4)$$

where $k_i^H(x)$ is normalized partial criteria;

a_i is a dimensionless coefficient of relative importance that meets the requirement:

$$0 \leq a_i \leq 1; \sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (5)$$

Regardless the type of extremum (min or max) of the particular criterion, its best value at the set X should

correspond to the maximum (= 1), and to the worst – minimum (= 0) value of the utility function:

$$k_i^{HJ}(X) = \begin{cases} \max k_i(x) & \text{если } k_i \rightarrow \max; \\ \min k_i(x) & \text{если } k_i \rightarrow \min. \end{cases}$$

$$k_i^{HX}(X) = \begin{cases} \min k_i(x) & \text{если } k_i \rightarrow \max; \\ \max k_i(x) & \text{если } k_i \rightarrow \min, \end{cases}$$

where $k_i(x)$ is the value of the i^{th} characteristics for the applicant $x \in X$;

$k_i^{HJ}(x), k_i^{HX}(x)$ is the best and worst value of the i^{th} characteristics at the whole set of applicants X .

The task of structural identification of the model of a generalized assessment is solved by the method of comparative identification.

Let us consider the sequence of pairs (initial data) of probable alternatives that are obtained while the candidates are compared in pairs.

At the output the following sequence will be obtained:

$$x_1 \succ x_2 \succ x_3 \succ \dots \succ x_n$$

On the basis of this sequence, the following system of inequalities (according to the theory of utility) will be developed for each pair:

if $x_1, x_2 \in X$ и $x_1 \succ x_2$, so

$$K(x_1) > K(x_2); \quad (6)$$

if $x_1, x_2 \in X$ и $x_1 \prec x_2$, so

$$K(x_1) < K(x_2); \quad (7)$$

if $x_1, x_2 \in X$ и $x_1 \approx x_2$, so

$$K(x_1) = K(x_2); \quad (8)$$

the system of inequalities can be written as:

$$\begin{aligned} K(x_2) - K(x_1) &\leq 0; \\ K(x_3) - K(x_2) &\leq 0; \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ K(x_n) - K(x_{n-1}) &\leq 0. \end{aligned} \quad (9)$$

If the number of equalities $\leq n$, the system enables determining the numerical values of all parameters a_i , otherwise the problem does not have a unique solution and the regularizing rule should be added to it.

Substituting model (4) in (9), the system of inequalities is obtained:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_2) - \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_1) &\leq 0; \\ \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_3) - \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_2) &\leq 0; \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_n) - \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x_{n-1}) &\leq 0. \end{aligned} \quad (10)$$

where $k_i^H(x)$ is known values; $a_i(x)$ is unknown model parameters (3).

Solving the system of inequalities (10), the values of the parameters a_i are determined.

The incorrectness of the considered task is connected with the fact that the system of inequalities (9) determines the n-dimensional polyhedron, any point of which is an admissible solution.

The rule for selecting a unique solution should be specified; the Chebyshev point is selected as a solution [3], i.e. the point which is equidistant from all the faces of the polyhedron. It is located in the center of the region and is most resistant to probable boundaries of an admissible set.

Conclusion

Any goal-directed activity, as an obligatory stage, includes the decision-making procedure, which includes the selection of the most effective way of

achieving the goal from a set of the most effective admissible ways.

A fundamental feature of the decision-making process is the fact that it is an intellectual process.

That means that this process is uncontrollable and unobservable unlike natural physical ones.

That means that the carrier of the information which is necessary to identify the decision-making model is a human expert, i.e. a person who makes a decision (a decision-maker).

The models suggested in the article can be used for designing and developing a decision support system in managing labor resources of projects and enterprises.

References

1. Glushkov, V. M. (1972), *Introduction to ACS*. Kiev: Engineering. 312 p.
2. Dotsenko, N. V., Kosenko, N.V. (2012), *Comparative identification of multi-factor estimation of model parameters. Control, navigation and communication systems: Set of Sciences Works of the Central Research Institute of Navigation and Management*. Kyiv, Vol. 2, No. 1 (21), pp. 140-143.
3. Petrov, E. G., Brynza, N. A., Kolesnik, L. V., Pisklakov, O. A. (2014), *Methods and models of decision-making under conditions of multi-criteriaity and uncertainty: monograph*; Ed. E.G. Petrova. Kherson: Grin DS, 192 p.

Надійшла до редколегії 10.07.2017

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

СИНТЕЗ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОГО МНОГОФАКТОРНОГО ОЦЕНЮВАННЯ «КАЧЕСТВА» ПРЕТЕНДЕНТОВ В КОМАНДУ ПРОЕКТА

Н.В. Косенко

Сформулирована и структурирована обшая проблема принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности исходных данных. Обоснована возможность и целесообразность регуляризации задачи многокритериального выбора решений на основе теории полезности. Сформулирована проблема структурно – параметрической идентификации формирования обобщенной скалярной оценки альтернативных решений с учетом множества различных частных критериев.

Ключевые слова: синтез, проект, модель.

СИНТЕЗ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОГО МНОГОФАКТОРНОГО ОЦІНЮВАННЯ «ЯКОСТІ» ПРЕТЕНДЕНТІВ ДО КОМАНДИ ПРОЕКТУ

Н.В. Косенко

Сформульована і структурована загальна проблема прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності вихідних даних. Обґрунтовано можливість та цілеспрямованість регуляризації задач багаточисельного вибору рішень на основі теоретичної корисності. Сформульована проблема структурно-параметричної ідентифікації формування-загальної скалярної оцінки альтернативних рішень з урахуванням множинності різномірних приватних критеріїв.

Ключові слова: синтез, проект, модель.

УДК 614.8:519.711

Н.Г. Кучук

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

МЕТОД ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ E-LEARNING

Розроблено математичну модель планування виконання транзакцій e-learning на протязі заданого інтервалу часу. На її основі сформульовано задачу вибору оптимального плану зі множини допустимих за критерієм мінімізації обчислювального ресурсу.

Ключові слова: e-learning; електронні освітні ресурси; гіперконвергентна платформа.

Вступ

Застосування структурованого, цілеспрямованого використання комп'ютерних технологій для підтримки процесу навчання (e-learning) знаходить все більше застосування в навчальному процесі вишів різних країн. Так, за даними Babson Survey Research Group в 2016 році в США у онлайн-навчанні у вишах було залучено понад 8 мільйонів студентів [1].

Мета використання систем e-learning складається в управлінні знаннями кожного учня на основі достовірної оцінки його знань (в процесі навчання, підвищенні кваліфікації тощо), а також на основі індивідуального, адаптивного плану навчання з урахуванням наявних можливостей і особливостей. Для e-learning характерна незалежність територіального положення того, хто навчається, гнучкий індивідуальний графік проходження навчального плану, відсутність суб'єктивності екзаменатора при оцінці знань і багато іншого. Наслідком використання e-learning є зниження витрат, забезпечення якості освітнього процесу та економія часу тих, хто навчаються.

Базою e-learning є електронні освітні ресурси (ЕОР). Під ЕОР в загальному випадку розуміють сукупність засобів програмного, інформаційного, технічного та організаційного забезпечення, електронних видань, що розміщуються на електронних носіях. ЕОР можуть бути класифіковані таким чином [2]:

- за метою створення – навчальні, соціокультурні;
- за категорією користувачів;
- за формою організації навчального процесу – аудиторні заняття, самостійна освітня діяльність;
- за спеціальними потребами – без обмежень, з обмеженими можливостями здоров'я;
- за природою основної інформації – текстографічні, елементарні аудіовізуальні, мультимедійні;
- за технологією поширення – локальні, мережеві, комбінованого поширення;

за функцією в навчальному процесі – інформаційні, практичні, контрольні та інші типи ЕОР тощо.

Через надмірне захоплення концепцією прямого і безпосереднього використання інформаційно-телекомунікаційних можливостей Інтернет, в протиположний змістовним аспектам навчання, багато вишів мало уваги приділяли розробці і впровадженню ЕОР в свою освітню діяльність. Однак, як показали численні дослідження в області e-learning [3 – 5], домогтися якісного навчання неможливо без власних ЕОР.

Створення і розвиток університетських ЕОР вимагає вкладення коштів, в повному обсязі невідомих для більшості університетів України. Тому при створенні ЕОР увага приділяється платформі, що дозволяє хоча б частково скоротити витрати.

В даний час на ринку ІТ-технологій розподілені хмарні платформи поступово витісняються конвергентними і гіперконвергентними [6]. Інфраструктура, створювана на конвергентній платформі, передбачає об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережевих ресурсів в пул, заздалегідь сконфігурованих для роботи в дата-центрі [7], а при гіперконвергентній інфраструктурі обчислювальні потужності, сховища, сервери, мережі об'єднуються в одне ціле за допомогою програмних засобів, а управління ними відбувається через загальну консоль адміністрування [8].

При гіперконвергентній структурі для управління ЕОР часом досить одного системного адміністратора. Це істотно знижує витрати на обслуговування системи. Тому дана платформа є кращою для університетського e-learning

1. Постановка завдання

Гіперконвергентні структури мають ряд переваг перед іншими платформами. Один гіперконвергентний вузол об'єднує обчислювальні ресурси і ресурси зберігання даних, що, веде до зменшення кількості окремих пристроїв і, як наслідок, зменшення кількості об'єктів, які треба купувати, встановлювати і обслуговувати. Крім цього більш легкому

розгортанню і обслуговуванню гіперконвергентних пристроїв сприяє те, що вони базуються на стандартних серверних компонентах. І нарешті, наявність у багатьох рішеннях інтегрованих інструментів управління спрощує завдання адміністрування. Однак, відповідно, є і ряд недоліків. Так, неможливо гранулярне оновлення або оперативне переналагодження системи. Можуть виникнути проблеми при налаштуванні конфігурації дисків сховища для певної програми. Крім того, незважаючи на більш високу продуктивність гіперконвергентних пристроїв, час обробки транзакцій в порівнянні з розподіленими системами збільшується (під транзакцією e-learning будемо розуміти групу логічно об'єднаних послідовних операцій по роботі з даними, що обробляється або скасовується повністю). Тому завдання забезпечення своєчасного виконання транзакцій є актуальним.

Мета статті – розробити метод планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів, при якому при своєчасному виконанні запитів транзакцій мінімізуються витрати обчислювального ресурсу.

2. Математична модель планування виконання транзакцій

Вхідними даними для математичної моделі є такі:

T_z – заданий інтервал часу планування,

Δt – величина кроку дискретизації інтервалу T_z , що дорівнює мінімальному безперервному часовому інтервалу, котрий є доступним для транзакції e-learning при запиті ЕОР;

Z – множина транзакцій користувачів системи e-learning, що обслуговуються на протязі інтервалу T_z .

При цьому часовий інтервал можна розбити на підінтервали точками з множини

$$T = \{t_{z_1}, t_{z_2}, \dots, t_{z_i}, \dots, t_{z_{h_t}}\}, \quad (1)$$

де t_{z_i} – початок i -го підінтервалу, $0 \leq t_{z_i} < T$; h_t – кількість підінтервалів часового інтервалу T_z . Кожна транзакція $z_b \in Z$, $1 \leq b \leq h_z$, $\text{card } Z = h_z$, характеризується параметрами ϕ_{z_b} , $M_\phi^{(\gamma)}$, де ϕ_{z_b} – розмір обчислювального ресурсу, необхідний для отримання транзакцією z_b необхідних ЕОР; $T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$ – інтервал часу, на протязі якого необхідно надати необхідний ЕОР; $t_{z_{b1}}$ – початковий часовий підінтервал інтервалу T_{z_b} ; $t_{z_{b2}}$ – кінцевий часовий підінтервал інтервалу T_{z_b} .

Кожне можливий розподіл транзакцій γ задамо матрицею $M_\phi^{(\gamma)} = (m_{\phi_{b,i}})$ розміром $h_z \times h_t$, в якій кожній транзакції $z_b \in Z$ зіставляється вектор-рядок $\mathbf{m}_{\phi_b} = (m_{\phi_{b,1}}, \dots, m_{\phi_{b,h_t}})$, що є розкладом виділення обчислювальних ресурсів (ОР) для обробки транзакції z_b , де компонент $m_{\phi_{b,i}}$ визначає виділений для транзакції ОР у i -му підінтервалі часу.

Для визначення якості фіксованого розподілу γ введемо функцію штрафу при виділенні транзакції $z_b \in Z$ часових підінтервалів. Штраф накладається в разі, якщо за інтервал часу, протягом якого необхідно надати необхідний ЕОР, ресурс не надано. Якщо запит ЕОР для транзакції, що характеризується інтервалом часу обробки $T_{z_b} = \{t_{z_{b1}}, t_{z_{b2}}\}$, виконується в i -му підінтервалі, то штраф, що відповідає цьому елементу матриці $M_\phi^{(\gamma)}$, визначається таким чином:

$$s_{t_{b,i}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_{z_{b1}} \leq t_{z_i} \leq t_{z_{b2}}; \\ (t_{z_{b1}} - t_{z_i}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} < t_{z_{b1}}; \\ (t_{z_i} - t_{z_{b2}}) / \phi_{z_b}, & \text{если } t_{z_i} > t_{z_{b2}}. \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, для кожної транзакції $z_b \in Z$ маємо вектор штрафу $\mathbf{s}_{t_b} = (s_{t_{b1}}, \dots, s_{t_{b,h_t}})$, у котрого компонент $s_{t_{b,i}}$, $1 \leq i \leq h_t$ визначає величину штрафу при виділенні транзакції z_b одиниці ЕНР в i -й квант часу. Отриманий набір векторів штрафу визначає якість планування в розподілі γ .

Величина штрафу, що характеризує отриманий розподіл γ виділених ЕОР для обробки множини транзакцій Z , визначає функцію якості

$$F^{(\gamma)} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \cdot s_{t_{b,i}}. \quad (3)$$

При побудові розподілу транзакцій γ ЕОР по квантах на заданому інтервалі часу T_z необхідно мінімізувати величину $F^{(\gamma)}$.

При цьому розподіл γ має задовольняти таким умовам:

$$\forall z_b \in Z, \forall t_{z_i} \in T_{z_b}, m_{\phi_{b,i}} \geq 0, s_{t_{b,i}} \geq 0; \quad (4)$$

$$\forall z_b \in Z, \sum_{i=1}^{h_t} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{z_b}; \quad (5)$$

$$\forall t_{z_i} \in T_z \sum_{b=1}^{h_z} m_{\phi_{b,i}} \leq \phi_{t_i}, \quad (6)$$

де ϕ_{t_i} – сумарний доступний обчислювальний ресурс на i -му підінтервалі заданого інтервалу часу T_z .

Якщо на інтервалі часу T_z ввести шкалу з кроком Δt , то множину точок розбиття (1) можна апроксимувати підмножиною ряду натуральних чисел: $T \rightarrow T_{h_t} = \{1, \dots, h_t\}$.

Введемо такі вектори:

$\bar{\phi}_z = (\phi_{z1}, \phi_{z2}, \dots, \phi_{zn_b})$ – вектор, який визначає для кожної транзакції $z_b \in Z$ необхідний ОР для її обробки;

$\bar{t}_{z,1} = (t_{z,1,1}, t_{z,2,1}, \dots, t_{zn_b,1})$;
 $\bar{t}_{z,2} = (t_{z,1,2}, t_{z,2,2}, \dots, t_{zn_b,2})$ – вектори, що вказують кожній транзакції $z_b \in Z$ інтервал часу для її обробки;

$\bar{\phi}_t = (\phi_{t_1}, \phi_{t_2}, \dots, \phi_{t_{n_t}})$ – вектор, який визначає кожному підінтервалу сумарний доступний ОР.

Тоді отримане розподіл $\Gamma(\gamma)$ за умови виконання обмежень (4) - (6) описується за допомогою кортежу

$$\Gamma(\gamma) = \langle Z, \phi_z, T_z, \phi_t, M_{\phi}^{(\gamma)}, F^{(\gamma)} \rangle. \quad (7)$$

На множині всіх можливих розподілів $\{\Gamma\}$ побудуємо підмножину \mathfrak{Z} таким чином:

$$\mathfrak{Z} = \{ \Gamma(\gamma) \mid F^{(\gamma)} = 0 \}; \quad (8)$$

$$\text{card } \mathfrak{Z} = \emptyset \Rightarrow \mathfrak{Z} = \left\{ \Gamma(\gamma^*) \mid F^{(\gamma^*)} = \min_{\gamma} F^{(\gamma)} \right\}. \quad (9)$$

В результаті математична модель планування виконання транзакцій e-learning визначається виразами (1) - (9).

3. Вибір оптимального плану виконання транзакцій

План виконання транзакцій будується на основі розробленої математичної моделі.

Якщо $\text{card } \mathfrak{Z} = 1$, то розподіл, що є його єдиним елементом, і є шуканим планом.

У разі, якщо $\text{card } \mathfrak{Z} > 1$, необхідно зробити вибір з його елементів, кожен з яких задовольняє вимогам до запитів транзакцій e-learning.

Визначимо величину максимального сумарного виділеного ОР, що припадає на один підінтервал заданого часового інтервалу T_z в розподілі $\gamma \in \mathfrak{Z}$ по всіх транзакціях множини Z :

$$m_{\phi_{\max}}^{(\gamma)} = \max_{i=1, \dots, h_t} \sum_{b=1}^{h_z} m_{\phi_{b,i}}.$$

При цьому середню величину мінімального сумарного необхідного ОР, що припадає на один підінтервал інтервалу T_z , можна визначити як

$$\phi_{z_{\text{cp}}} = \frac{1}{h_t} \sum_{b=1}^{h_z} \phi_{z_b}.$$

Для вибору необхідного плану виконання транзакцій проведемо подальшу деталізацію розглянутої гіперконвергентної інфраструктури (ГКІ). Розглянемо підмножину вузлів ГКІ, задіяну в обробці транзакцій із множини Z – $Y = \{y_1, \dots, y_a, \dots, y_{h_y}\}$, $\text{card } Y = h_y$. Тоді в межах

фіксованого розподілу γ можна визначити матрицю інтенсивностей обміну транзакцій множини Z з вузлами множини Y : $U_z = \left\| u_{z_b,i} \right\|$, в якій кожен елемент $u_{z_b,i}$ – інтенсивність обміну транзакцій $z_b \in Z$ з вузлом y_i , що розраховується як

$u_{z_b,j} = \sum_{i=1}^{h_t} (m_{\phi_{b,i}} \cdot I_{b,j,i})$, де $I_{b,j,i}$ – булева функція, що дорівнює 0 тоді і тільки тоді, коли процес обробки запиту транзакції $z_b \in Z$ вузлом $y_i \in Y$ не належить у i -му часовому підінтервалу.

Для кожного вектор-стовпця $m_{\phi_i} = (m_{\phi_{1,i}}, \dots, m_{\phi_{h_z,i}})$ матриці $M_{\phi}^{(\gamma)}$, що визначає виділений ОР для обробки транзакцій множини Z в i -му підінтервалі заданого інтервалу часу T_z необхідно знайти таке розбиття множини транзакцій Z на підмножини і їх розподіл по вузлах ГКІ, щоб сумарний час виконання запитів транзакцій мав мінімальне значення. Тоді цільова функція задачі пошуку оптимального розбиття множини транзакцій Z , запити яких обробляються елементами ГКІ Y , на підмножини і їх розподіл по вузлах $y_a \in Y$, визначається виразом:

$$F^{(\gamma)} = \frac{1}{u_{z_{\max}}} \cdot \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_b,a} \cdot s_{y_b,a}, \quad (10)$$

де $u_{z_{\max}}$ – незалежна від розподілу $\Gamma(\gamma)$ величина, яка визначає максимальну сумарну інтенсивність обміну транзакцій з вузлами Y відповідно до виразу

$u_{z_{\max}} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_y} u_{z_b,i}$; $m_{z_b,a}$ – ОР вузла y_a , необхідний

для обробки транзакції z_b ; $s_{y_b,a}$ – штраф при розподілі транзакції $z_b \in Z$ на вузол $y_a \in Y$, який визначається виразом

$$s_{y_b,a} = \sum_{i=1}^{h_y} (u_{z_b,i} \cdot h_{w_a,i}) / \phi_{z_b};$$

$h_{wa,i}$ – довжина найкоротшого маршруту між вузлами y_a і y_i .

Отриманий розподіл γ має відповідати таким вимогам:

$$\forall y_a \in Y \left| \sum_{b=1}^{h_z} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{y_a} ; \quad (11)$$

$$\forall z_b \in Z \left| \sum_{a=1}^{h_y} m_{z_{b,a}} \leq \phi_{z_b} ; \quad (12)$$

$$\sum_{a=1}^{h_y} \phi_{y_a} \geq \sum_{b=1}^{h_z} \phi_{z_b} ; \quad (13)$$

$$s_{y_{b,a}} \geq 0, m_{z_{b,a}} \geq 0 \text{ для } 1 \leq a \leq h_y, 1 \leq b \leq h_z, \quad (14)$$

де ϕ_{y_a} – доступний ОР вузла $y_a \in Y$.

З урахуванням наведених умов, завдання пошуку оптимального розбиття множини транзакцій Z , що оброблюються в ГКІ, на підмножини і їх розподілу по вузлах $y_a \in Y$ може бути сформульована таким чином.

Нехай задані множини транзакцій Z і вузлів Y ГКІ, які визначаються кортежами

$$\langle Z, \phi_z, U_z \rangle \text{ і } \langle Y, \phi_y, H_w \rangle,$$

де $\phi_z = (\phi_{z_1}, \dots, \phi_{z_{h_z}})$ – вектор необхідного ОР для обробки множини транзакцій Z ; $U_z = \|u_{z_{b,i}}\|$ – матриця інтенсивностей обміну транзакцій множини Z з вузлами множини Y ; $\phi_y = (\phi_{y_1}, \dots, \phi_{y_{h_y}})$ – вектор доступного ОР вузлів Y ГКІ; $H_w = \|h_{w_{a,i}}\|$ – матриця довжин найкоротших маршрутів між кожною парою вузлів ГКІ y_a і y_i $1 \leq a \leq h_y, 1 \leq i \leq h_y$.

Потрібно знайти такий розподіл, що задовольняє умовам (11) – (14), щоб вираз (10) мав мінімальне значення.

4. Обговорення результатів

Для перевірки теоретичних положень попередніх розділів був розроблений програмний комплекс, що дозволяє імітувати розподіл обчислювального ресурсу в гіперконвергентному середовищі підтримки ЕОР. Інтервал часу планування вибирався рівним академічному часу (45 хвилин).

При фіксованих значеннях $h_y, h_z, \phi_{y_a}, \phi_{z_b}, \phi_{t_i}$ змінювалися позначки на шкалі T_z . Результати експерименту наведені в табл. 1 (τ – час розрахунку плану, вибір оптимального розподілу здійснювався методом повного перебору) та на рис. 1 – 3.

Таблиця 1

Результати експерименту

h_t	card \mathfrak{Z}	$F(\gamma)$	τ
$h_z = 20, h_y = 10$			
15	1	1	2
45	5	0,92	19
90	32	0,88	78
180	47	0,87	322
$h_z = 100, h_y = 30$			
15	3	0,95	124
45	124	0,88	—*
90	2842	—*	—*
180	—*	—*	—*

* – результати були отримані протягом астрономічної години

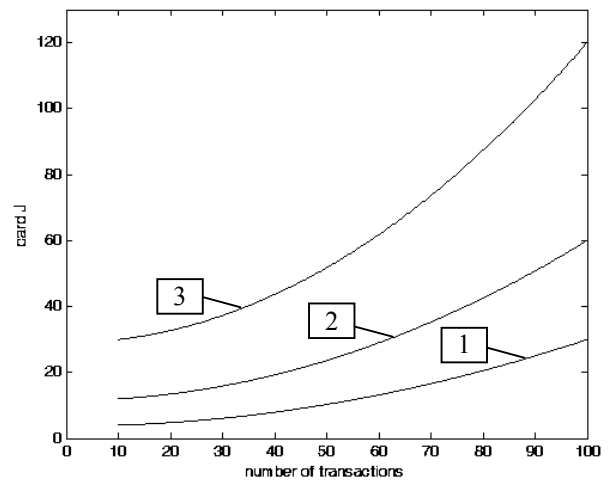


Рис. 1. Залежність потужності множини допустимих рішень від кількості транзакцій, кількість під інтервалів: 1 – $h_t = 15$; 2 – $h_t = 30$; 3 – $h_t = 45$

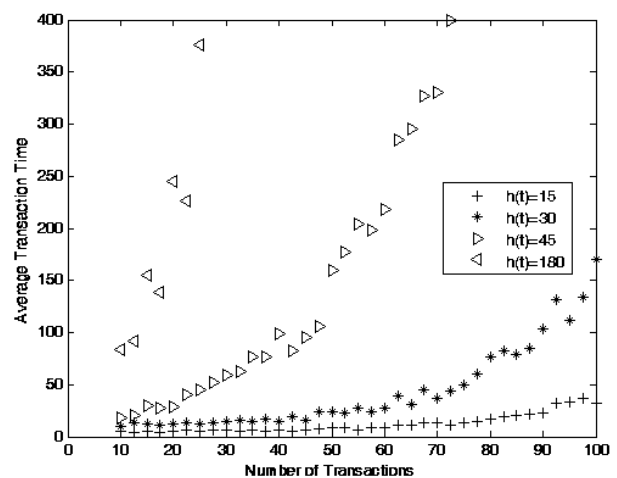


Рис. 2. Залежність середнього часу виконання транзакцій від їхньої кількості

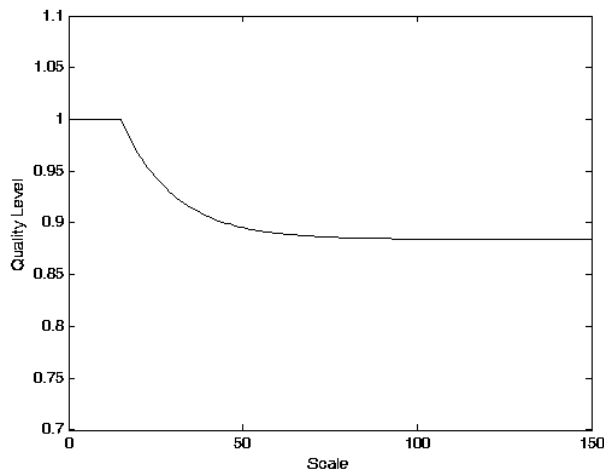


Рис. 3. Залежність показника якості від шкалування

Результати моделювання дозволили сформулювати вимоги до алгоритму розв'язання задачі планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів:

для вирішення завдання вибору оптимального плану з множини допустимих необхідно розробити наближений метод, що дозволяє знайти рішення, близьке до оптимального, за прийнятні часові терміни;

необхідно знайти оптимальне градуювання шкали інтервалу часу планування, так як занадто дрібна шкала помітно збільшує час розрахунку, але не призводить до істотного поліпшення плану;

необхідно враховувати пріоритети транзакцій, особливо в разі отримання на першому етапі порожньої множини допустимих рішень.

Висновки

Запропонована формальна постановка задачі планування виконання транзакцій e-learning в гіперконвергентному середовищі підтримки електронних освітніх ресурсів, вирішення якої дозволяє при своєчасному виконанні запитів транзакцій мінімізувати витрати обчислювального ресурсу.

На першому етапі досліджень розроблена математична модель планування виконання транзакцій

e-learning, що дозволяє отримати множини допустимих планів виконання.

Другий етап досліджень дозволив сформулювати завдання вибору оптимального плану із множини допустимих за критерієм мінімізації обчислювального ресурсу.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний з пошуком методу вирішення сформульованої задачі з урахуванням вимог, сформульованих в попередньому розділі.

Список літератури

1. Babson Survey Research Group. *Online Learning*, available at: <https://www.onlinelearningsurvey.com> (accessed 23 April 2017).
2. Udaya, Sri, Vamsi, K. and Krishna T. V. (2014), "E-Learning: Technological Development in Teaching for school kids", *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, pp. 6124–6126.
3. "Babson Study: Over 6.7 Million Students Learning Online", available at: http://sloanconsortium.org/news_press/january2013_new-study-over-67-million-students-learning-online (accessed 23 April 2017).
4. Welsh, E, Wanberg, C, Brown, K and Simmering, M (2003), "E-Learning: emerging issues, empirical results and future directions", *International Journal of Training and Development*, 8 (4), pp. 245-258.
5. Brodo, J. A. (2006) "Today's Ecosystem of E-learning", *Trainer Talk. Vol. 3, No. 4*, available at: http://enewsbuilder.net/salesmarketing/e_article000615779.cfm (accessed 23 April 2017).
6. *White Paper: Riverbed Hyper-converged Edge*, available at: <https://www.riverbed.com/document-repository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html> (accessed 23 April 2017).
7. Черняк, Л. (2012), "Время конвергентных инфраструктур", *Открытые системы. СУБД, № 4*, available at: <https://www.osp.ru/os/2012/04/13015754/> (accessed 23 April 2017).
8. Ганьжа, Д. (2016), "Гиперконвергенция: ИТ-инфраструктура на раз, два, три", *Журнал сетевых решений, № 5*, available at: www.osp.ru/lan/2016/05/13049349 (accessed 23 April 2017).

Надійшла до редколегії 22.08.2017

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

МЕТОД ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРАНЗАКЦИЙ E-LEARNING

Н.Г. Кучук

Разработана математическая модель планирования выполнения транзакций e-learning в течении заданного интервала времени. На ее основе сформулирована задача выбора оптимального плана из множества допустимых по критерию минимизации вычислительного ресурса.

Ключевые слова: e-learning; электронные образовательные ресурсы; гиперконвергентная платформа.

METHOD OF SELECTION OF THE OPTIMAL PLAN FOR E -LEARNING TRANSACTIONS

N.G. Kucuk

A mathematical model for planning the execution of e-learning transactions within a given time interval has been developed. On its basis, the problem of choosing the optimal plan from the set of computable resources that are admissible by the criterion of minimization is formulated.

Keywords: e-learning; electronic educational resources; hyperconvergent platform

УДК 004.89

А.С. Нечипоренко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ РОЗЛАДНАНЬ В НЕСТАЦІОНАРНИХ КВАЗІПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Розглянуто проблему раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах. Показано, що використання комплексу моделей та методів аналізу часових рядів, методів обчислювального інтелекту та математичної фізики дозволить значно підвищити якість процесу виявлення розладнань. Запропоновано метод побудови інформаційної технології предметної області та розроблено інформаційну технологію на його основі.

Ключові слова: інформаційна технологія, раннє виявлення розладнань, нестационарні квазіперіодичні процеси, екстракція інформативних ознак.

Вступ

Розладнання це змінення властивостей об'єкту, що характеризують його стан, яке унеможливорює виконання його цільової функції. Проблема раннього виявлення розладнань зустрічається у задачах медичної діагностики, екологічного моніторингу, задачах контролю та діагностики складних технічних об'єктів, проектування систем керування та ін. У загальному сенсі, складний об'єкт це багатопараметрова система, стан і динаміка якої описуються набором різномірних інформаційних сигналів для аналізу яких потрібен комплекс математичних методів. Складний об'єкт, що досліджується являє собою канал нерегулярної форми та потокові процеси, дослідження яких дозволяє визначити стан об'єкта, а саме визначити наявність чи відсутність розладнань. Канали нерегулярної форми зустрічаються як у технічних системах галузей металургії, паливно-енергетичного комплексу, наприклад різноманітні гідравлічні системи літальних апаратів, трубопроводів тощо, так і у біологічних системах, наприклад системи гемодинаміки та дихання. Математичний апарат, що застосовується для дослідження поточкових процесів у таких системах базується на рівняннях математичної фізики.

Відповідно до аналізу літературних джерел [1], визначення стану об'єкту для задач виявлення розладнань базується на аналізі сигналів різної природи, таких, як радіолокаційні сигнали, біомедичні сигнали, вібросигнали. Дуже часто вони мають властивості нестационарних квазіперіодичних процесів [2, 3]. Таким чином, виявлення розладнань можна інтерпретувати як визначення змін властивостей нестационарних квазіперіодичних сигналів.

Методи виявлення розладнань в адаптивних системах керування детально розглянуто у [1, 4, 5, 6], системах екологічного моніторингу у [7], у медичній діагностиці [8, 9].

Найбільш широкого розповсюдження набули статистичні методи, які засновані на контролі фазових координат об'єкту та методи теорії статистич-

них рішень і аналізу часових рядів [1]. Недоліками такого підходу є необхідність використання статистичної апостеріорної інформації, орієнтація на лінійні об'єкти, які не зустрічаються у реальних системах та неможливість застосування у випадках, коли об'єкти характеризуються сукупністю параметрів, що перетинаються. Дана група методів також не є вибором для аналізу нестационарних сигналів. Особливу значимість вищезгадані недоліки мають для систем медичної діагностики. Для виявлення розладнань в нестационарних стохастичних сигналах у роботі [10] запропоновано підхід, який використовує моделі ARIMA, FARIMA, перетворення Гільберта-Хуанга та вейвлет аналіз. Проте велика кількість процесів, незалежно від їх фізичної природи має флуктуаційні особливості, які пов'язані з хаотичною динамікою досліджуваних об'єктів.

Особливої уваги у процесі виявлення розладнань заслуговують методи обчислювального інтелекту. У роботах [11, 12] висвітлюється застосування даного підходу для задач медичної і технічної [13] діагностики. Проте такі недоліки як нівелювання фізичних властивостей показників та недостатня інтерпретація результатів стають на заваді впровадження методів обчислювального інтелекту наприклад у клінічну практику.

Застосування інформаційних технологій у таких галузях як медицина, вимагає розроблення нових підходів до задач виявлення розладнань, що базуються на вдосконаленні математичних моделей досліджуваних об'єктів та розробці технічного та інформаційного забезпечення процесів виявлення розладнань. Також треба зазначити, що раннє виявлення розладнань дозволяє запобігти подальшим ускладнень, які пов'язані зі значними фінансовими та часовими затратами.

Метою даного дослідження є розробка підходу до підвищення якості раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах, у рамках якого буде створено відповідну інформаційну технологію.

Нестационарні квазіперіодичні процеси та їх властивості

У даному розділі розглянемо основні підходи до визначення стаціонарності та квазіперіодичності сигналів.

Основною умовою стаціонарності випадкового процесу згідно з теоремою Хінчина [14] є рівняння залежності кореляційної функції тільки від різниці моментів часу $\tau = t_2 - t_1$. Тобто значення кореляції не залежить від вибору початку відліку, а залежить тільки від величини тимчасового зсуву. Перевірка гіпотези стаціонарності здійснюється шляхом обчислення кореляційної функції при послідовному виборі рівних проміжків сигналу. Для стаціонарного процесу коефіцієнти кореляції обраних проміжків, що належать одному сигналу, повинні бути однорідними. Перевірка однорідності може бути реалізована згідно з [10], шляхом аналізу потрапляння коефіцієнтів кореляції кожної пари проміжків у межі довірчого інтервалу $r \pm 2\sigma$ з теоретичною ймовірністю $P = 0,95$. Якщо емпірична ймовірність для всіх коефіцієнтів кореляції залишається менше теоретичної, гіпотеза стаціонарності випадкового процесу приймається. Далі проводиться перевірка гіпотези про розподіл випадкової компоненти за нормальним законом за допомогою тестів χ^2 , Яркі-Бера та ін. [15].

Часовий ряд є стаціонарним, якщо його статистичні характеристики не залежать від часу, тобто залишаються незмінними через часові проміжки, у протилежному випадку ряд є нестационарним.

Процедура перевірки часових рядів на стаціонарність містить послідовність тестів, метою яких є виявлення «одиночного корня». Найбільш розповсюдженим є тест Дікі-Фулера [16]. Часовий ряд має одиничний корінь, або порядок інтеграції один, якщо його перші різниці утворюють стаціонарний ряд. За допомогою цього тесту перевіряють значення коефіцієнта ρ авторегресійної моделі першого порядку:

$$y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де y_t - часовий ряд, ε_t - помилка. Якщо $\rho = 1$, процес має одиничний корінь, ряд є нестационарним. Деталі тесту викладено у [16].

Перейдемо до визначення квазіперіодичності досліджуваних процесів. Сигнали, що досліджуються являють собою квазіперіодичний процес:

$$T_i = T_{i-1} + \varepsilon \quad (2)$$

де T_i, T_{i-1} - тривалості поточного і попереднього ділянок сигналу що повторюються відповідно; ε - деяка випадкова величина, що характеризує відмінність тривалості поточного і попереднього періодів.

Квазіперіодичні процеси є окремим випадком майже періодичних функцій [17] та визначаються тією властивістю, що вони можуть бути рівномірно наближені на всій дійсній осі за допомогою узагаль-

нених тригонометричних поліномів вигляду:

$$\sum_{n_1 n_2 \dots n_k} a_{n_1 n_2 \dots n_k} e^{i(n_1 \alpha_1 + n_2 \alpha_2 + \dots + n_k \alpha_k) x}, \quad (3)$$

де $n_1 n_2 \dots n_k$ будь-які числа, $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k$ - задані дійсні числа. Згідно дослідженням П. Боля [17] є набір необхідних та достатніх умов квазіперіодичності функції. Буді-яка функція виду:

$$f(x) = f_1(x) + f_2(x) + \dots + f_k(x), \quad (4)$$

де кожна з функцій $f_1(x), \dots, f_k(x)$ неперервна і періодична, при цьому їх періоди можуть різнитися, є квазіперіодичною.

На рис. 1–3 наведено приклади нестационарних квазіперіодичних сигналів предметної області, на яких апробовано розроблену інформаційну технологію.

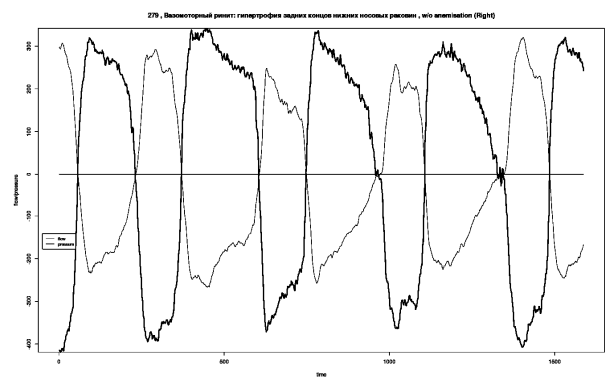


Рис. 1. Сигнали витрати повітряного потоку та диференційного тиску

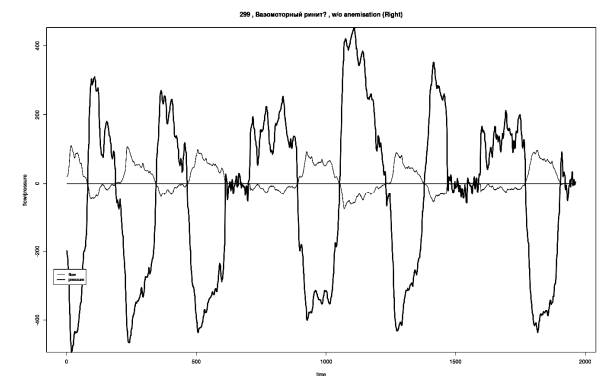


Рис. 2. Сигнали витрати повітряного потоку та диференційного тиску

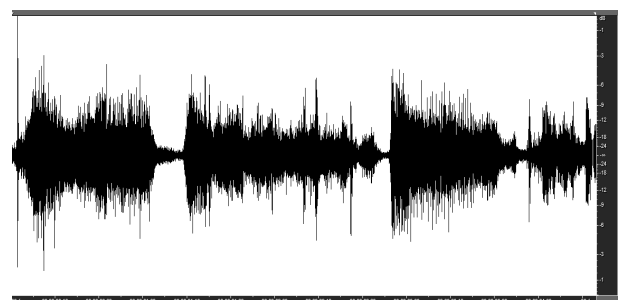


Рис. 3. Акустичний сигнал дихання

У якості моделі досліджуваних процесів обрано авторегресійну модель [18], ефективність якої доведено на практиці [19, 20]. Результати моделювання є сукупністю інформативних ознак як складової вихідної вибірки даних для алгоритмів класифікації. Результати класифікації використовуються при прийнятті рішення про наявність розладнання.

Підхід до підвищення якості раннього виявлення розладнань

Існуючі моделі та методи раннього виявлення розладнань ґрунтуються на використанні математичного апарату статистичного, кореляційного та спектрального аналізу, які у багатьох випадках не є прийнятними для аналізу нестационарних квазіперіодичних процесів. До того ж процедура раннього виявлення розладнань повинна реалізуватися автоматично у режимі реального часу. Тому з одного боку основними вимогами до розв'язання такої задачі є використання методів з низькою обчислювальною складністю, робастністю та достатньою завадостійкістю, а з іншого – висока точність, як основа прийняття рішення про розладнання.

При розробленні даного підходу автором детально проаналізовано концепції технічного [21] та медичного діагностування [22], аспекти яких лягли в основу підходу що пропонується. Концепція технічного діагностування стосовно задачі побудови автоматизованої системи ґрунтується на трьох групах методів: методи вимірювання параметрів стану об'єкта діагностування, методи зменшення розмірності даних, методи прийняття діагностичних рішень. До першої групи методів відносять методи неруйнівного контролю, до другої – методи «feature extraction» для екстракції та конструювання інформативних ознак і «feature selection» - для відбору найбільш інформативних ознак, до третьої – сукупність методів теорії прийняття рішень, обчислювального інтелекту, методи на основі фізичних моделей.

Можна розвинути даний підхід для систем, де об'єктом дослідження є біологічний об'єкт. У такому випадку до першої групи методів віднесемо методи клініко-інструментальних досліджень, результатом застосування яких є параметри, що характеризують стан об'єкту, а до третьої доцільно додати групу методів математичної фізики. Це дозволить отримати додаткові діагностичні параметри, які можуть бути як результатом імітаційного моделювання, так і розрахунку інтегральних показників із застосування математичного апарату гідродинаміки тощо. При цьому об'єктом діагностування можуть бути будь-які канали нерегулярної форми.

Враховуючи вищезазначене, автором розроблено підхід до підвищення якості раннього виявлення розладнань, схему якого наведено на рис. 4.



Рис. 4. Підхід до підвищення якості раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах

Підхід ґрунтується на трьох напрямках: інформаційному та технічному забезпеченні і вдосконаленні математичного апарату, який використовується для підтримки прийняття рішень про наявність розладнання. У свою чергу математичні моделі та методи є предметом обробки даних, результатом якої є інформація. Використовуючи вдосконалений математичний апарат розроблюється інформаційна технологія предметної області, на базі якої створюється інформаційна система.

Технічне забезпечення реалізується шляхом розробки програмно-апаратних комплексів, де реалізуються математичні моделі і методи прийняття рішень та розроблені інформаційні технології.

Метод побудови інформаційної технології раннього виявлення розладнань

У якості відповідного методичного забезпечення процесу синтезу ринологічної інформаційної системи автором пропонується метод побудови інформаційної технології раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах, який складається з наступних етапів:

Етап 1. Розробка моделі інформаційної технології визначення розладнань складного об'єкту.

Модель інформаційної технології, що розробляється являє собою сукупність взаємопов'язаних між собою об'єктів і процесів, в яких ці об'єкти тим чи іншим чином беруть участь. Об'єктами в даному випадку є структура даних (SD) і комплекс математичних моделей і методів (СММ), процесами - безліч інформаційних процесів, описані вище (SIP), і їх взаємодія між собою (ISIP). В такому випадку інформаційна технологія може бути представлена так:

$$IT = \langle SD, CMM, SIP, ISIP \rangle. \quad (5)$$

Етап 2. Формування структури підсистеми інтелектуальної підтримки рішень ринологічної інформаційної системи згідно з:

$$DM = \langle DSM, KB, DB, MB, AB, DR \rangle, \quad (6)$$

де DSM - модель опису розладнання, KB, DB - бази знань та даних відповідно, MB - сукупність математичних моделей, що забезпечують процес прийняття рішень, AB - база алгоритмів, DR - вирішальне правило для вибору методу прийняття рішень.

База алгоритмів формалізується за допомогою виразу:

$$AB = \langle ATSP, AC, AHRC, ACTP, AGVC \rangle, \quad (7)$$

де ATSP - алгоритми обробки часових рядів, AC - алгоритми класифікації, AHRC - розрахунок гідродинамічних характеристик, ACTP - алгоритми постобробки СТ-ображень, AGVC - алгоритми генерації і верифікації заключень.

Етап 3. Розробка інтелектуального інтерфейсу що повинен забезпечувати взаємодію множини входів мікросервісів для забезпечення завдання збору гетерогенних даних, містити сукупність моделей та методів інтерпретації рішень та графічний інтерфейс користувача.

Етап 4. Формування бази даних та бази знань.

Структура даних визначає інформаційний комплекс – базу даних інформативних параметрів складного об'єкту та базу знань для забезпечення розпізнавання розладнань. База знань складається з KB = $\langle DSM, DT, DMN \rangle$, де DSM - модель опису розладнання, DT - модель дерева рішень для отримання класу розладнання, DMN - мета-модель для моделювання рішень у бізнес-процесах. Модель опису розладнань представляє онтологічну модель та використовує семантичні зв'язки між об'єктами та процесами визначення розладнань. Мета-модель DMN - це стандарт, що забезпечує семантичний підхід підтримки прийняття рішень у бізнес-процесах.

База даних містить експертні описи, анонізовані СТ-зображення, анотовані реконструкції які буде отримано з 3D моделей у форматі *STL, документування реальних випадків, багатомірні часові ряди CFD моделювання, часові ряди риноманометричних вимірювань, гідродинамічні характеристики 3D моделей.

Етап 5. Формування комплексу математичних моделей. Комплекс математичних моделей повинен містити моделі описів розладнань, модель оцінювання якості визначення розладнань та сукупність моделей та методів екстракції і селекції інформативних параметрів об'єкту, моделі, що забезпечують процес прийняття рішень при визначенні розладнань складного об'єкту.

Розроблена база моделей складається із сукупності математичних моделей інтелектуального аналізу даних, аналізу часових рядів, моделей гідромеханіки, класифікації для підтримки процесу прийняття рішень про визначення розладнань.

Задача структурно-параметричного синтезу моделі виявлення розладнань на основі вирішення завдання класифікації у загальному випадку може бути формалізована наступним чином. Нехай задана навчальна вибірка прецедентів $\langle x, y \rangle$, де $x = \{x^s\}$, $x^s = \{x^s_j\}$, $y = \{y^s_i\}$, $s=1, 2, \dots, S$, $j=1, 2, \dots, N$, $i=1, 2, \dots, N_M$, x^s – s-екземпляр вибірки, x^s_j – значення j-ї ознаки вхідної вибірки, що характеризує екземпляр x^s , S – кількість екземплярів вибірки, N – кількість вхідних ознак, N_M – кількість вихідних ознак, y – набір значень вихідної ознаки, які зіставлено екземплярам вибірки, y^s_i – значення i- вихідної ознаки зіставлене s-му екземпляру вибірки, на основі якої синтезовано модель виявлення розладнань. Оскільки моделі виявлення розладнань базується на завданні класифікації, $y^s \in \{q\}$, $q=1, 2, \dots, K$, K – кількість класів (у даному випадку K=2), S^q – кількість екземплярів вибірки, що належать до q-го класу. Задача синтезу моделі виявлення розладнань залежності $y(x)$ за навчальною вибіркою $\langle x, y \rangle$ на основі класифікатора можна представити у вигляді:

$$\langle F, \{y^n(x^n)\} \rangle, \quad (8)$$

де F - функція ядра класифікатора для випадку лінійно нероздільних даних, x^n - набір вхідних даних, y^n - значення вихідних ознак.

Треба зазначити, що для екстракції ознак, що характеризують нестационарні квазіперіодичні процеси також доцільно застосовувати методи цифрової обробки сигналів, особливості імплементації яких викладено у роботах [23].

Задачу селекції інформативних ознак об'єкту можна формалізувати як задачу вилучення сукупності ознак $\langle x, y \rangle$ об'ємом S з вихідної вибірки $\langle X, Y \rangle$ об'ємом S^* таку, що

$$\langle x, y \rangle \in \langle X, Y \rangle, S, S^*, \quad (9)$$

$$|Q_{\hat{a}}(\langle x, y \rangle) - Q_{\hat{a}}(\langle X, Y \rangle)| > \varepsilon$$

де $Q_{\hat{a}}$ - функціонал якості вибірки, ε - задана константа. Модель якості вибірки повинна мати функціонал оцінювання як групової, так і індивідуальної цінності елементів вибірки. Тому доцільно знайти оптимальну сукупність елементів за допомогою методів відбору значимих ознак. Задача синтезу моделі сукупності $y = f(w, x)$, де w - параметр моделі, на основі навчальної вибірки $\langle x, y \rangle$ зводиться до задачі пошуку оптимального функціонала якості $Q_1(f(w, x))$. У якості критерію оптимальності даної моделі зазвичай використовують квадратичний критерій:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^S (y^s - f(x^s))^2 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Етап 6. Формування комплексу інформаційних процесів. Комплекс інформаційних процесів повинен складатися з процесів попередньої обробки даних, інформаційних процесів екстракції значимих параметрів, інформаційних процесів класифікації розладнань, допоміжних інформаційних процесів.

Згідно із запропонованим методом, розроблено інформаційну технологію раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

Інформаційна технологія раннього виявлення розладнань

Інформаційна технологія що розроблюється використовує основні аспекти запропонованого підходу та складається з п'яти процесів: збору даних, попередньої обробки даних для виявлення помилкових вимірювань, методів раннього виявлення розладнань та раннього виявлення структурних розладнань, процесу прийняття рішення і збереження результатів. Реєстрація та обробка даних вимірювань здійснюється у режимі реального часу на базі програмно-апаратного комплексу «Optimus», свідоцтво державної реєстрації № 14777/2015 від 12.06.2015 р.

Попередню обробку даних з метою виявлення та вилучення помилкових вимірювань реалізовано на базі глибоких конволюційних мереж (Deep Convolutional Network) і детально розглянуто у [24]. Метод раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах базується на методології навчання за прецедентами, принцип дії якої базується на використанні оптимальної гіперплощини, що розділює [25]. Таким чином вирішується завдання класифікації, за результатами якого визначається розладнання. Метод складається з етапів формування вибірок часових рядів, побудови фазових портретів, конструювання вихідного масиву в значущих ознак для алгоритму класифікації за

допомогою методу нечіткої апроксимації І. Перфільєвої [26], процедури класифікації. Деталі методу викладено в [27].

Метод раннього виявлення структурних розладнань дозволяє на ранньому етапі виявити складно-диференційовані розладнання які пов'язані з порушеннями структури досліджуваного об'єкту. Це дозволяє суттєво скоротити час визначення та фінансові витрати медичних страхових компаній. Схему методу наведено на рис. 5.

Метод містить наступні етапи: формування вихідного масиву даних, який складається з вибірок часових рядів та даних експертного оцінювання, попередньої обробки, екстракції інформативних ознак, формування множини інформативних ознак згідно виразу (9) та процедури класифікації для випадку лінійної нероздільності даних. У такому випадку завдання побудови гіперплощини, що розділяє трансформується у двоїсту задачу пошуку сідлової точки функції Лагранжа та зводиться до завдання квадратичного програмування, що містить тільки двоїсті змінні. Екстракція інформативних ознак часових рядів нестационарних квазіперіодичних процесів здійснюється за допомогою статистичних, спектральних методів та методів фрактального аналізу. Деталі методу розглянуто у роботах [24, 27].

При формуванні результатів для оцінки точності прийнятих рішень доцільно використовувати оцінювання аналітичної неоднозначності. Аналітична неоднозначність складається з інструментальної та операторної неоднозначності для оцінювання яких потрібно проводити розрахунок невизначеності.

Розроблену інформаційну технологію наведено на рис. 6.

Висновки

В даній роботі проведено аналіз існуючих підходів до виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах.

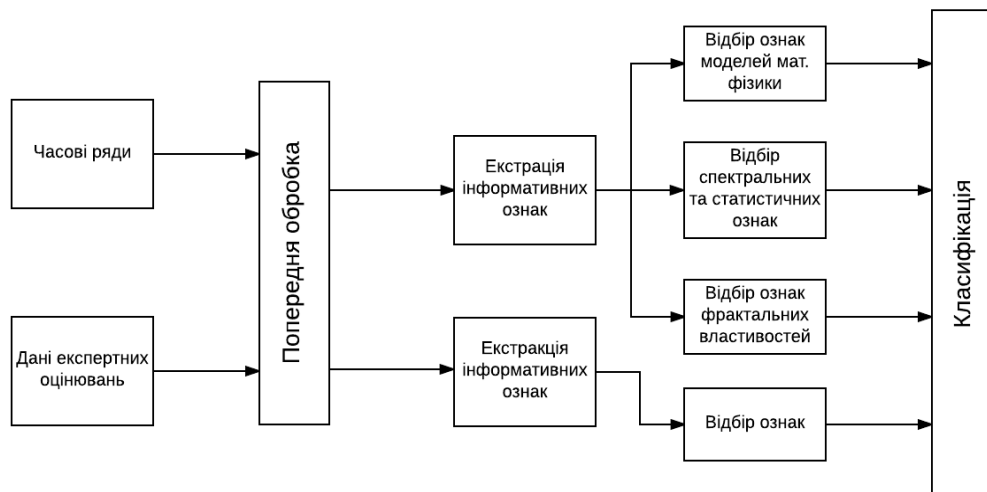


Рис. 5. Структурна схема методу раннього виявлення структурних розладнань

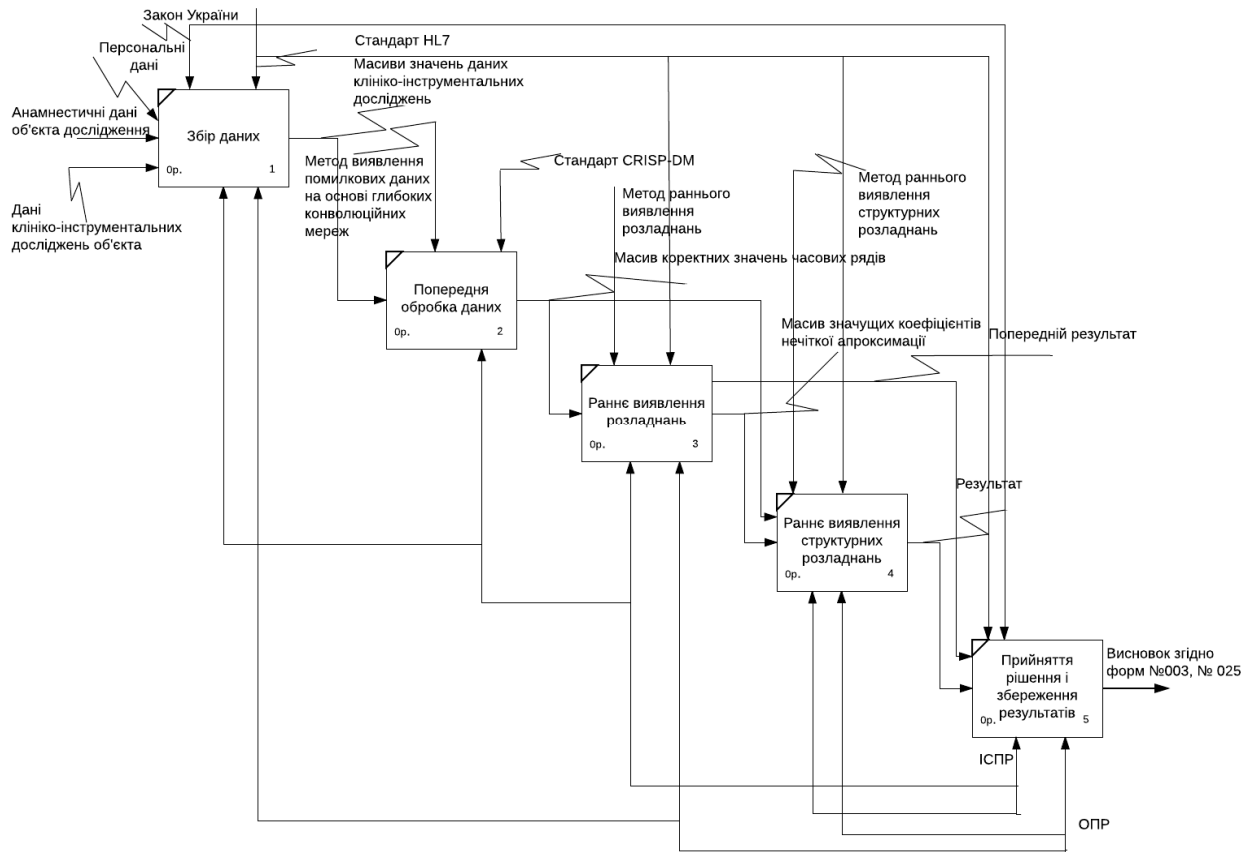


Рис. 6. Інформаційна технологія раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах

В результаті дослідження запропоновано підхід до підвищення якості виявлення розладнань, який ґрунтується на розробленні інформаційного та технічного забезпечення та вдосконаленні математичного апарату. Показано, що використання комплексу моделей та методів аналізу часових рядів, методів обчислювального інтелекту та методів математичної фізики дозволить значно підвищити якість рішень що приймаються з метою раннього виявлення розладнань. Методи аналізу часових рядів у свою чергу теж є сукупністю статистичних, варіаційних, спектральних, кореляційних методів та методів нелінійної динаміки. Такий вибір обумовлено наявністю хаотичних властивостей нестационарних квазіперіодичних послідовностей, які характеризують стан об'єкта, що досліджується. Використання методів обчислювального інтелекту дозволяє аналізувати гетерогенні дані об'єкту у режимі реального часу. Методи математичної фізики є інструментом екстракції додаткової значущої інформації про стан об'єкту, що дозволяє підвищити точність виявлення розладнань. Таким чином, запропонована комбінація методів дозволяє підвищити рівень інтерпретації результатів за рахунок наявності значущих факторів, фізичний сенс яких не губиться.

Використовуючи запропонований підхід до підвищення якості виявлення розладнань та метод побудови технології, розроблено інформаційну тех-

нологію раннього виявлення розладнань, на базі якої створено інформаційну систему яка є інтелектуальною програмно-апаратною системою. Впровадження даної системи у клінічну практику дозволило підвищити ефективність раннього виявлення розладнань на 3,7 %, що за дворічний період дало суттєвий економічний ефект.

Список літератури

1. Бодянский С.В., Адаптивное выявление разладнань за допомогою штучних нейронних мереж / С.В. Бодянский, О.І. Михальов, І.П. Плісс – Монографія, Д.: Системні технології, 2000. – 140 с.
2. Пащенко Р.Э. Основы теории формирования фрактальных сигналов / Р.Э. Пащенко, - Харьков, ХОО «НЭО «Экоперспектива»» – 2005. – 296 с.
3. Bogunovic N., A. Jovic, Biomedical nonlinear signals by data mining methods / N. Bogunovic, A. Jovic // Proceedings of 17th Conference on Systems, Signals and Image Processing IWSSIP, pp. 276-280, 2010.
4. Chow E.Y., Issues in the development of a general design algorithm for reliable failure detection / E.Y. Chow, A.S. Willsky // Proc. 19-th IEEE Conf. Decis. and Contr.-Albuquerque, 1980.- pp.1006-1012.
5. Montgomery D.C., Forecasting and Time Series Analysis / D.C. Montgomery, L.A. Johnson, J.S. Gardiner.- N.Y.:Mc Graw-Hill, 1990-394р..
6. Бодянский Е.В. Адаптивная фильтрация многомерных нестационарных последовательностей / Е.В. Бодянский Е.В., И.П. Плисс //Тез.докл.конф. "Методы и микрoэлектронные средства преобразования и обработки сигналов" - Т.1.-Рига, 1989.-С.227-229.

7. Заболотный С.В. Полиномиальные алгоритмы апостериорного оценивания момента разладки дисперсии негауссовских случайных последовательностей / С.В. Заболотный, С.В. Салыта, Ю.Ю. Плаксенов // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 5, С. 62–67.

8. Peng C.K., Adaptive data analysis of complex fluctuations in physiologic time series / C.K. Peng, M. Costa, A.L. Goldberg *Adv Adapt Data Anal.* 2009 Jan 1; no 1(1), pp. 61–70.

9. Fainzilberg L.S. Computer analysis and recognition of cognitive space electro-cardio graphic image / L.S. Fainzilberg, T.P. Potapova, *Proc. of the 6th Intern. Conf. on Computer analysis of Images and Patterns (CAIP'95) Prague*, pp. 668–673, 1995.

10. Сухомлин Р.А. Математическое и информационное обеспечение процессов выявления разладок в технических системах / Р.А. Сухомлин // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 157 с., 2015.

11. Costa M. Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series / M. Costa, A.L. Goldberg, C.K. Peng // *Phys., Rev., Lett*, no. 2, p. 89, 2002.

12. Bron E.E., Feature Selection Based on the SVM Weight Vector for Classification of Dementia, *IEEE Journal of biomedical and health informatics* // E. E. Bron, M. Smits, W. J. Niessen, and S. Klein, Vol. 19, No. 5, pp. 1617-1626, 2015.

13. Урма А. Learning methods for machine vibration analysis and health monitoring: proefschrift...doctor / Урма А. – Delft: Technische Universiteit Delft, 2001. – 223 p.

14. Хинчин А.Я. Теория корреляции стационарных стохастических процессов: пер. с нем. // Успехи математических наук. 1938. Вып. 5. – С. 42-51.

15. Jarque C. M., Test for Normality of Observations and Regression Residuals / C.M. Jarqu and A. K. Bera // *International Statistical Review*. Vol. 55, No. 2, 1987, – P. 163–172.

16. Dickey D.A. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root / D.A. Dickey D.A. and W.A. Fuller // *Journal of the American Statistical Association*. – 74. – 1979. – p. 427–431.

17. Левитан Б. М., Почти-периодические функции, М., 1953, 396 с.

18. Marpl S.L. Digital spectral analysis with applications / S.L. Marpl // Prentice Hall, New-Jersey, 571 p, 1990.

19. Нечипоренко А.С. Особенности применения спектрального анализа для объективной оценки носового

дыхания / А.С. Нечипоренко // Бионика интеллекта. – 2013. – № 2(81), С. 64-68.

20. Ерохин А. Л. Объективное оценивание функции носового дыхания по риноманометрическим данным / А. Л. Ерохин, И. П. Захаров, А. С. Нечипоренко, О. Г. Гарюк // *Восточно-европейский журнал передовых технологий* № 4/9(70), 2014, С. 47-50.

21. Субботин С.А. Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов / С.А. Субботин, Ан. А. Олейник, Е.А. Гофман, С.А. Зайцев, Ал. А. Олейник // Монография под ред. Субботина С.А., - Харьков, «Смит», 2012. – 318 с.

22. Висоцька О.В. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при здійсненні діагностично-лікувальних процесів / О.В. Висоцька, Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, 2015, - 362 с.

23. Yerokhin A., Usage of F-transform to finding informative parameters of rhinomanometric signals / A. Yerokhin, A. Nechyporenko, A. Babii, A. Turuta // *Proc. of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, Lviv, Ukraine, 14-17 September*, pp. 129-132, 2015.

24. Yerokhin A., A New Intelligence-Based Approach for Rhinomanometric Data Processing / A. Yerokhin, A. Nechyporenko, A. Babii, A. Turuta // *Proc. of IEEE 36th International Conference on "Electronics and nanotechnology"*, pp. 198-201, 2016.

25. Cortes C. Support-vector networks / C. Cortes and V. Vapnik, *Machine Learning*, Vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.

26. Perfilieva I. Fuzzy transformation and its applications / I. Perfilieva and E. Chaldeeva // *4th Czech - Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty*, pp. 116–124, 2001.

27. Yerokhin A., Usage of Phase Space Diagram to Finding Significant Features of Rhinomanometric Signals / A. Yerokhin, A. Nechyporenko, A. Babii, A. Turuta, I. Mahdalina // *Proc. of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, Lviv, Ukraine*, pp. 70-73, 2016.

Надійшла до редколегії 12.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Єрохін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДК В НЕСТАЦИОНАРНЫХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

А.С. Нечипоренко

Рассмотрены вопросы раннего выявления разладок нестационарных квазипериодических процессов. Пока-зано, что использование комплекса моделей и методов анализа временных рядов, методов вычислительного интеллекта и математической физики позволяет повысить эффективность процесса выявления разладок, сократить временные и финансовые затраты. Предложен метод построения информационной технологии предметной области, на основе которого разработана информационная технология.

Ключевые слова: информационная технология, раннее обнаружение разладок, нестационарные квазипериодические процессы, экстракция информативных признаков.

INFORMATION TECHNOLOGY OF EARLY DETECTION OF DISORDERS IN NONSTATIONARY QUASI-PERIODICAL PROCESSES

A.S. Nechyporenko

In the current research, the new approach for the early detection of disorders in nonstationary and quasi-periodical processes is proposed. The approach is based on complex of mathematical methods of time series analysis, computational intelligence methods and mathematical physics. The information technology of the early detection of disorders is developed. This allows improving a process of diagnosing in technical and medical systems.

Keywords: information technology, early detection of disorders, nonstationary and quasi-periodical processes, feature extraction.

УДК 004.93, 621.396.6

Ю.В. Паржин, В.И. Кравченко, В.В. Князев, А.А. Серков

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ВНЕШНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТЕКТОРНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье рассмотрено применение детекторной нейронной сети (ДИНС) для распознавания параметров фронта электромагнитного импульса грозового разряда в автоматизированной системе мониторинга и анализа внешней электромагнитной обстановки. ДИНС в результате эмуляции активного перцептивного акта восприятия изображения и эмуляции процедуры встречного обучения позволяет не только выделить фронт импульса в структуре осциллографического изображения, но и запомнить измеряемые параметры распознанного сегмента изображения в концепте нейрона-детектора. Это дает возможность уменьшить ошибки измерений и увеличить скорость обработки сигналов по сравнению с рассматриваемым методом интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех.

Ключевые слова: детекторная нейронная сеть, электромагнитный импульс.

Постановка задачи исследования

Одними из основных факторов, подлежащих анализу при мониторинге внешней электромагнитной обстановки, являются электромагнитные импульсы грозовых разрядов. Поэтому актуальной научно-технической задачей является построение автоматизированной системы, способной осуществить мониторинг и анализ характеристик электромагнитных помех, возникающих во время грозовых разрядов. Система должна устранить шумы и уменьшить ошибки измерений при определении нормализованных значений этих характеристик [1]. Основными параметрами электромагнитных помех, подлежащих анализу, являются амплитуда, длительность фронта и длительность электромагнитного импульса грозового разряда.

При построении автоматизированной системы процесса мониторинга возникает задача выделения отдельных элементов (например, фронта сигнала, амплитуды и др.) в структуре большого числа (>1000) анализируемых электромагнитных импульсов и измерения их характеристик в режиме реального времени. Данная задача обычно решается с помощью методов распознавания изображений, представляющих собой осциллограммы анализируемых сигналов. Существует автоматизированная система мониторинга (рис.1), которая использует метод интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех [2]. В процессе данного анализа последовательно решаются задачи: распознавание сигнала, представленного осциллографическим изображением, его сглаживание и устранение шумов, статистическая обработка результатов анализа множества изображений. Сглаживание сигнала для устранения высокочастотных помех и случайных ошибок осуществляется путем многоитерационного ус-

реднения и аппроксимации изображения сигнала отрезками прямых. Процедура итеративного анализа на каждом этапе требует участия оператора - лица принимающего решение (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга

Недостатками данной системы является длительное время обработки и анализа изображения в результате использования итерационных процедур с участием человека и уменьшение точности измерения анализируемых характеристик в результате использования алгоритмов сглаживания (итерационного усреднения) и аппроксимации.

Особенно остро эти недостатки проявляются при анализе серий сверхкоротких электромагнитных импульсов в режиме реального времени, устранение которых целесообразно осуществить путем применения детекторных искусственных нейронных сетей (ДИНС) на этапе распознавания и анализа характеристик изображения сигнала [3].

Результаты исследований

В процессе анализа характеристик изображения электромагнитного импульса грозового разряда необходимо решить следующие задачи:

1) выделить точку начала электромагнитного импульса, которая также будет точкой начала его фронта;

2) выделить точку конца фронта импульса;

3) выделить точку максимальной амплитуды импульса;

4) выделить точку конца импульса;

4) определить характеристики электромагнитного импульса по амплитудно-временным значениям выделенных точек.

Назовем перечисленные точки критическими (критически важными для решаемой задачи) структурными точками изображения электромагнитного импульса. Необходимо сказать, что задача 3 является довольно простой и может быть эффективно решена с помощью алгоритмов, не требующих использования специальных методов распознавания.

Однако выделение фронта импульса, как и самого импульса, в структуре изображения осциллограммы требует решения проблемы сегментации изображения. Очевидно, что проблема распознавания фронта импульса может быть успешно решена с использованием известных коннекционистских ИНС, например, многослойного перцептрона с обратным распространением ошибки. Однако проблема выделения сегмента изображения с последующим восстановлением ("визуализацией") исходных значений характеристик (критических точек) данного сегмента (задача 4) является нетривиальной и не может быть решена с использованием стандартных (коннекционистских) архитектур и алгоритмов обучения ИНС. Решение данной проблемы возможно при использовании системы обработки информации на основе ДИНС, структура которой приведена на рис. 2.

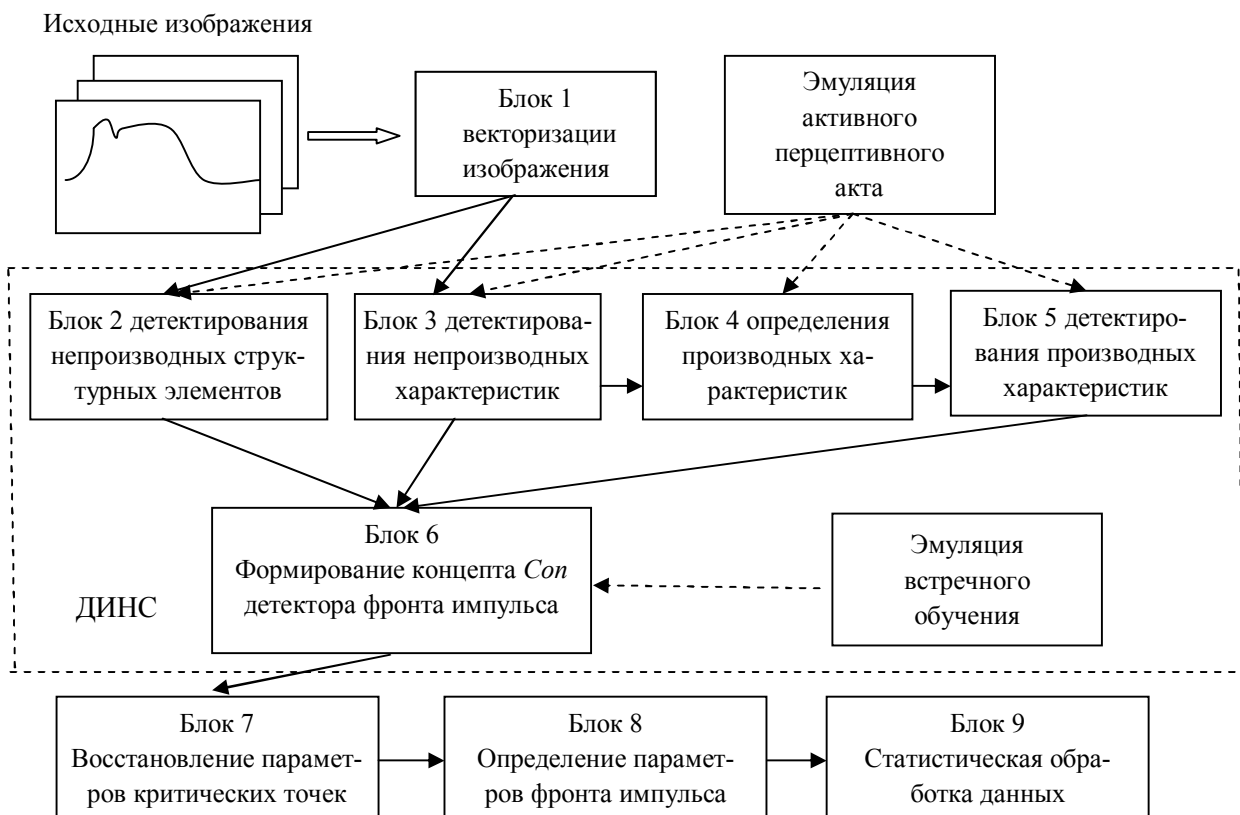


Рис. 2. Структурная схема системы для определения параметров фронта электромагнитного импульса на основе ДИНС

В данной системе с помощью ДИНС осуществляется распознавание фронта электромагнитного импульса по значениям его критических точек – производных характеристических мод, имеющих последовательную пространственно-временную связность в структуре концепта единственного нейрона-детектора фронта импульса [4]. Для распознавания всего электромагнитного импульса и выделения его из структуры входного изображения в систему необходимо добавить еще одну карту с единственным нейроном-детектором импульса (на рис. 2 не изображены). ДИНС в данной системе представлена: че-

тырьмя (по количеству типов структурных точек) картами нейронов-детекторов производных структурных элементов в блоке 2; двумя (по количеству измеряемых параметров) картами нейронов-детекторов производных характеристик структурных элементов в блоке 3; четырьмя (по количеству типов производных характеристик: 2-х качественных и 2-х количественных) картами нейронов-анализаторов производных характеристик в блоке 4; четырьмя картами нейронов-детекторов производных характеристик в блоке 5; одним нейроном-детектором вторичной структуры - фронта импульса в блоке 6.

Система обработки информации, представленная на рис. 2, функционирует следующим образом.

В процессе обучения на вход системы подается репрезентативная обучающая выборка изображений электромагнитных импульсов. Репрезентативность обеспечивается наличием всех возможных типов структурных элементов (структурных точек, кривых и отрезков) в контуре изображения сигнала. С целью сокращения размерности обучающей выборки и времени обучения, обучающая выборка состоит как из искусственно созданных изображений, так и из реальных осциллограмм. Это позволило ограничить обучающую выборку 30 изображениями, при обработке которых обеспечивается схождение концепта к аттрактору. Все изображения содержат критические структурные точки, координаты которых на количественных шкалах измерения осциллограмм (микросекунды μs по оси абсцисс n и милливольты mV по оси ординат u) определяют возможные границы изменения значений производных характеристик фронта импульса.

Для определения критических точек изображения необходимо осуществить его предварительную обработку - векторизацию контура изображения (блок 1). Процесс векторизации начинается с определения начальной точки изображения - точки "захвата" (T_3) изображения, поиск которой осуществляется в процессе сканирования поля изображения (матрицы) по столбцам. Так как изображение представлено непрерывным контуром, состоящим из отрезков кривых линий, то T_3 является также точкой начала (T_n) вектора определенной ориентации, соединяющего T_n с интересующей нас структурной точкой изображения - выбранной точкой конца вектора (T_k). Этими структурными точками будут точки максимальных перегибов (экстремумы) кривых (рис.3, а) 1-го (t_1) и 2-го (t_2) рода. Эти точки определяются в результате итеративной процедуры: данную (текущую) точку T_n соединяем ориентированным отрезком (вектором) с выбранной точкой T_k ; в случае если следующий вектор, построенный из выбранной точки T_k , в следующую выбранную точку T_{k+1} , будет лежать в другом квадранте полярной ортонормированной системы направлений ориентации (рис. 3. б) и при этом: если смена ориентации вектора происходит по часовой стрелке и T_{k_i} имеет максимальное значение u_i среди всех анализируемых точек, то данная точка является точкой t_1 ; если смена ориентации

вектора происходит против часовой стрелки и T_{k_i} имеет минимальное значение u_i среди всех анализируемых точек, то она является точкой t_2 .

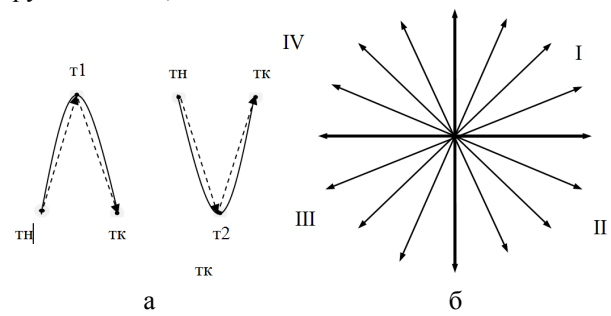


Рис. 3. а – структурные точки 1-го и 2-го рода; б – полярная ортонормированная система направлений ориентации

Таким образом, структурные точки T_n , T_k , t_1 и t_2 будут являться производными структурными элементами изображения, детектируемыми в блоке 2, а их измеряемые параметры - производными характеристиками: u_i и n_i , детектируемыми в блоке 3. Эмуляция активного перцептивного акта продемонстрирована на рис. 4.

Эмуляция активного перцептивного акта в процессе обучения ДИНС осуществляется интерактивно под управлением оператора системы. Этот процесс заключается в последовательном установлении меток фокуса внимания $M\Phi_1$, $M\Phi_2$ и $M\Phi_3$, определяющих критические структурные точки начала T_1 , пика T_2 и конца фронта импульса T_3 на изображениях обучающей выборки [3]. Причем, точка начала фронта импульса всегда будет структурной точкой t_2 с минимальным в пределах заданного интервала значением u_i . После точки начала фронта на протяжении всей длительности фронта импульса не должны встречаться структурные точки типа t_2 с уменьшающимся значением u_i . Точка пика фронта всегда будет точкой t_1

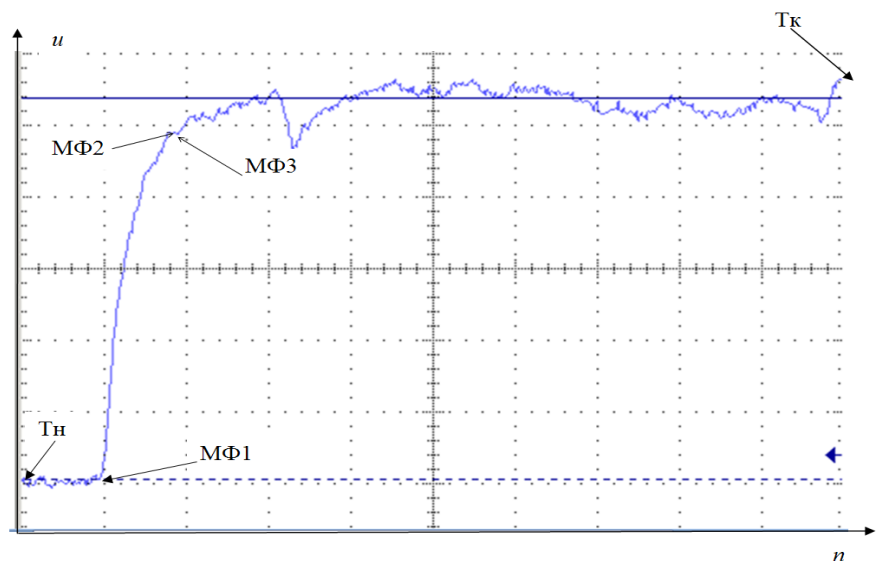


Рис. 4. Задание меток фокуса внимания $M\Phi_i$ на осциллограмме электромагнитного импульса при эмуляции активного перцептивного акта

с максимальным в пределах заданного интервала значением u_i , а точка конца фронта импульса - точкой t_2 с первым на текущем временном интервале уменьшающимся значением u_i . Последовательные метки фокуса внимания $M\Phi_i$ и $M\Phi_{i+1}$ определяют структурные точки, которые не являются непосредственно пространственно связными (т.е. они являются транзитивно связными и между ними может существовать множество структурных точек пространственно связных между собой), но производные характеристики которых подлежат сравнению нейронами-анализаторами блока 4 и последующим детектированием качественных и количественных значений производных характеристик нейронами-детекторами блока 5 [3].

Последовательные реакции нейронов-детекторов блоков 2, 3 и 5 образуют упорядоченный во времени вектор входных сигналов нейрона-детектора фронта импульса в блоке 6. В процессе эмуляции встречного обучения формируется концепт-аттрактор Con данного нейрона-детектора, структура которого показана на рис. 5.

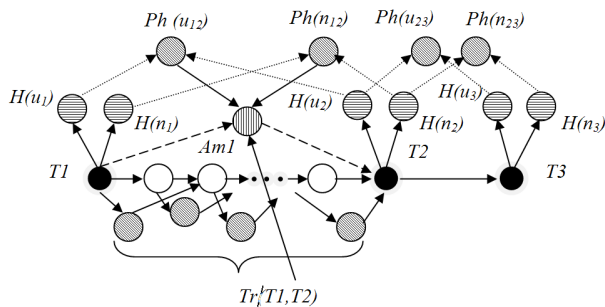


Рис. 5. Структура концепта Con нейрона-детектора фронта импульса

В структуре концепта находятся:

- структурные моды критических точек $T1, T2, T3$ (обозначены черными вершинами графа). Эти критические точки (структурные моды) маркированы метками фокуса внимания, соответственно: $M\Phi_1, M\Phi_2$ и $M\Phi_3$;

- структурные моды (белые вершины графа) структурных точек изображения (точек типа: T_n, T_k, t_1 и t_2), не являющиеся критическими точками. В примерах обучающей выборки этих вершин может быть разное количество, и они могут иметь различные значения производных характеристик. Поэтому моды производных характеристик будут выведены из концепта в процессе обучения;

- два типа характеристических мод детектируемых производных характеристик критических структурных точек (вершины графа с горизонтальной штриховкой): $H(u_i)$ и $H(n_i)$;

- характеристические моды качественных производных характеристик $Ph(u_{ij})$ и $Ph(n_{ij})$ (вершины графа с наклонной штриховкой). В структуре концепта в процессе обучения сохраняются только неизменные и общие, в данном случае для маркиро-

ванных метками фокуса внимания структурных элементов, значения качественных производных характеристик, устанавливающих отношение порядка в результате сравнения значений производных характеристик двух пространственно связных структурных элементов. В данном концепте:

для точек (структурных мод) $T1$ и $T2$:

$$\begin{aligned} Ph(u_{12}) &= H(u_1) < H(u_2); \quad u_{\min} \leq u_2 \leq u_{\max}; \\ Ph(n_{12}) &= H(n_1) < H(n_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где значение u_2 лежит в интервале допустимых значений, заданных в процессе обучения;

и для точек (структурных мод) $T2$ и $T3$:

$$\begin{aligned} Ph(u_{23}) &= H(u_2) > H(u_3); \quad u_{\min} \leq u_2 \leq u_{\max}; \\ Ph(n_{23}) &= H(n_2) < H(n_3), \end{aligned} \quad (2)$$

- ассоциативная мода $Am1$ (вершина графа с вертикальной штриховкой). Данная мода формируется автоматически в процессе обучения и определяет связность двух структурных мод (в данном концепте точек $T1$ и $T2$), маркированных метками фокуса внимания, которые не являются непосредственно (последовательно) пространственно связными в структуре изображения. В данном случае необходимость ассоциативной моды заключается в том, что в процессе распознавания не формируются метки фокуса внимания, т.е. не задаются структурные точки, производные характеристики которых необходимо сравнивать для получения значений производных характеристик. Ассоциативная мода устанавливает пространственную связность в структуре концепта двух структурных мод с необходимыми значениями сравниваемых характеристик на основе правила транзитивной связности мод $Tr(T1, T2)$ (3) при последовательном выполнении (2) и (1):

$$\begin{aligned} Tr(T1, T2) &= \\ &= \begin{cases} \forall_{i=T1}^{T2} (u_i \in t1); (H(u_i) < H(u_{i+1}) - Ph(u_{1,2})); \\ \forall_{i=T1}^{T2} (u_i \in t2); (H(u_i) < H(u_{i+1}) - Ph(u_{1,2})). \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

При выполнении условия транзитивной связности (3), концепт Con нейрона-детектора фронта импульса приобретает свойство фильтра нижних частот на сегменте фронта импульса. Это позволяет говорить об инвариантности концепта по отношению к различным высокочастотным помехам на данном сегменте изображения.

Таким образом, последовательное выполнение условий (2), (1) и (3) определяет наличие критических точек $T1, T2$ и $T3$ в структуре изображения, а концепт Con нейрона-детектора фронта импульса выполняет роль информационного фильтра. Нейрон-детектор фронта импульса возбуждается, если связные элементы входного вектора сигналов - моды совпадают с условиями возбуждения - концептом.

Реакция нейрона-детектора фронта импульса поступает на вход блока 7 восстановления параметров критических точек и свидетельствует, что в рас-

познанном фронті імпульса виділені характеристики критических точок зображення. Эти характеристики содержатся в последних строках матриц значений $H(u_i)$ и $H(p_i)$ соответствующих структурных мод критических точек. В блоке 7 осуществляется извлечение параметров критических точек осциллограммы из концепта, их интерпретация в метрике параметров электромагнитного импульса грозового разряда. Далее, в блоке 8 осуществляется вычисление значений характеристик фронта электромагнитного импульса, а в блоке 9 - статистическая обработка полученных данных.

Заклучение

Моделирование данной ДИНС осуществлялось на языке Python с использованием компьютера с процессором Intel Core i7. Результаты моделирования показали, что применение ДИНС в системе мониторинга и анализа внешней электромагнитной обстановки позволяют повысить точность результатов измерений на 5-7% по сравнению с существующей автоматизированной системой мониторинга (рис. 1), в которой используется метод интерактивного анализа характеристик электромагнитных помех. После процесса обучения ДИНС, система может осуществлять распознавание и анализ характеристик электромагнитных сигналов автоматически в режиме реального времени. Применение процедуры встречного обучения ДИНС дает возможность проводить обучение в течение одной эпохи и сократить размер репрезентативной обучающей выборки до 30 изображений. Это позволяет также сократить время обучения ДИНС до 1 мин с учетом работы процедуры векторизации и до 30 мин с учетом времени эмуляции активного перцептивного акта, по сравнению

с ≈ 50 мин времени обучения сети MLP (многослойным перцептроном) или $\approx 10-20$ часами (в зависимости от реализации) необходимыми для обучения сети CNN (сверточной ИНС), которые решают подобные задачи распознавания контурных изображений (данные аналитиков компании Intel Крушинина Д., Долотова Е. и др. представлены на сайте <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/254747/>).

Работа выполнена в рамках выполнения государственной работы: "Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений для диагностики, управления и оптимизации технических и биотехнических объектов" (ДР № 0113U000449) 2014 г.; и "Забезпечення відповідності озброєння та військової техніки України сучасним вимогам стандартів НАТО з електромагнітної сумісності" 2017-2018 рр.

Список литературы

1. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. – Харьков: НТМТ, 2010. – 292 с.
2. Свідоцтво України № 24621 від 31.05.2008 про реєстрацію авторського права на твір. Компьютерная программа интерактивного анализа экспериментальных данных и генерации отчетов [Текст] / О.А. Серков, С.О. Нікітін, В.О. Кравець, Л.О. Нікітіна.
3. Паржин Ю.В. Детекторный принцип построения искусственных нейронных сетей как альтернатива коннекционистской парадигме. Системы управления, навигации та зв'язку. ПНТУ. Випуск 4(44). 2017. С. 80-101.
4. Parzhin Y. Hypotheses of neural code and the information model of the neuron-detector. Journal: ScienceOpen Research – Section: SOR-COMPSCI DOI: [10.14293/S2199-1006.1.SOR-COMPSCI.AP5T07.v1](https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-COMPSCI.AP5T07.v1), 2014. 38 p.

Надійшла до редколегії 19.07.2017

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

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЗОВНІШНЬОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТЕКТОРНОЇ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Ю.В. Паржин, В.І. Кравченко, В.В. Князев, О.А. Серков

В статті розглянуто застосування детекторної нейронної мережі (ДШНМ) для розпізнавання параметрів фронту електромагнітного імпульсу грозового розряду в автоматизованій системі моніторингу та аналізу зовнішньої електромагнітної обстановки. ДШНМ в результаті емуляції активного перцептивного акту сприйняття зображення та емуляції процедури зустрічного навчання дозволяє не тільки виділити фронт імпульсу в структурі осцилографічного зображення, але й запам'ятати параметри, що вимірюються, розпізнаного сегменту зображення в концепті нейрона-детектора. Це дає можливість зменшити похибки вимірювань та збільшити швидкість обробки сигналів у порівнянні з методом інтерактивного аналізу характеристик електромагнітних переїшок, що розглядається.

Ключові слова: детекторна нейронна мережа, електромагнітний імпульс.

AUTOMATION OF THE PROCESS OF MONITORING AND ANALYSIS OF THE EXTERNAL ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT BASED ON THE USE OF A DETECTOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Yu.V. Parzhin, V.I. Kravchenko, V.V. Knyazev, O.A. Serkov

The article deals with the application of the detector neural network (DNN) for recognition of the parameters of the front of the electromagnetic pulse of a lightning discharge in the automated system for monitoring and analyzing the external electromagnetic environment. DNN allows not only to isolate the pulse front in the structure of the oscillographic image, but also to memorize the measured parameters of the recognized image segment in the concept of the neuron-detector as a result of emulation of an active perceptual act of image perception and emulation of a counter-learning procedure. This makes it possible to reduce measurement errors and increase the speed of signal processing in comparison with the method of interactive analysis of electromagnetic interference characteristics.

Keywords: detector neural network, electromagnetic pulse.

УДК 681.5.017

С.Г. Семенов, О.В. Ліпчанська

Національний технічний університет «ХПИ», Харків

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ НА БАЗІ 4G З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

У статті розглянуті питання щодо побудови концептуальної моделі системи критичного застосування для оцінювання затримок мультимедійного трафіка, як переважної складової у системах на базі технології 4G. Розроблено математичну модель системи для проведення експериментів та оцінювання їх результатів. При моделюванні застосовано апарат мереж масового обслуговування як найбільш відповідний математичний апарат для аналітичного моделювання затримок у розподілених системах. Показані обчислення основних ймовірно-часових характеристик імітаційної моделі та доцільність використання розроблених моделей при моделюванні складних систем на базі технології 4G.

Ключові слова: концептуальна модель, математична модель, технологія 4G, система критичного застосування, мережі масового обслуговування.

Вступ

Постановка проблеми. З розвитком систем мобільного зв'язку значно розширюються сфери його застосування, особливо в галузі передачі даних у комп'ютерних системах [1, 2]. Це питання є найбільш актуальним у комп'ютерних системах критичного застосування (КСКЗ). В даний час користувачам КСКЗ пропонуються нові послуги, що ґрунтуються на технології 4G, та забезпечують широкий діапазон додатків, зокрема надання різних мультимедійних сервісів. Всі ці послуги передбачають використання мобільних систем у режимі пакетної передачі даних [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури показав, що проектування КСКЗ, які використовують різні протоколи пакетної передачі даних, надає актуальність розробці й розвитку математичного апарату аналізу затримок передачі даних у цих системах. Ця задача є особливо актуальною, тому що такі системи у зв'язку з підвищенням їхньої продуктивності використовуються для віддаленого надання різноманітних мультимедійних інформаційних сервісів. Трафік цих сервісів за своєю природою має синхронний характер, але він передається по асинхронних мережах, а функціонування відповідних сервісів у значній мірі чутливе до затримок їх трафіка й особливо до його тремтіння – дисперсії його затримки [4].

Виклад основного матеріалу

Реальні КСКЗ є великими й складними системами. Вони мають велику розмірність, їхня топологія нерегулярна й динамічно змінюється, вони надають велике число різноманітних сервісів з різнорідними трафіками. Оцінка затримки передачі трафіків різних сервісів у таких системах є дуже

важким завданням. Труднощі оцінок затримок обумовлені тим, що інформаційні елементи трафіків зазнають випадкові затримки в процесі їхньої передачі по КСКЗ. Ці затримки утворюються сумою затримок у відповідних компонентах системи, які становлять маршрут доставки відповідного інформаційного елемента трафіка. Сам маршрут доставки у загальному випадку також є випадковою величиною, що залежить від стану досліджуваної КСКЗ. Таким чином, середня затримка й тремтіння передачі деякого інформаційного елемента переданого трафіка визначаються розподілами ймовірностей затримок цих елементів на всіх можливих маршрутах досліджуваної системи.

Концептуальна модель 4G-системи. Задачі аналізу затримок у таких системах вимагають розробки спеціалізованих програмних засобів і використання спеціальних технологій їх моделювання. Загальна технологія математичного моделювання містить у собі наступні етапи (рис. 1.):

- аналіз досліджуваної системи й формулювання цілей її моделювання;
- побудова концептуальної моделі, що описує необхідний набір параметрів досліджуваної системи;
- побудова математичної моделі досліджуваної системи, що полягає у математичному описі параметрів, характеристик та поведінки об'єктів концептуальної моделі;
- побудова імітаційної моделі досліджуваної системи;
- проведення експерименту на імітаційній моделі;
- аналіз і інтерпретація результатів експериментів з моделями;
- прийняття проектних рішень та рішень керування [5, 6].

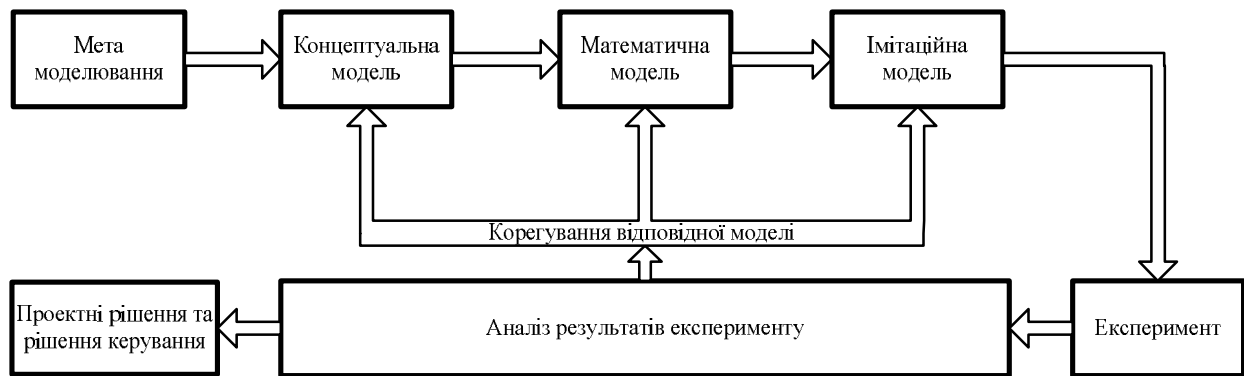


Рис. 1. Загальний вигляд процесу моделювання досліджуваної системи

Побудова концептуальної, математичної й імітаційної моделей досліджуваної системи полягає у виборі відповідної множини об'єктів і встановленні між ними структури зв'язків, що відповідає структурі зв'язків елементів досліджуваної системи.

При математичному моделюванні різних КСКЗ їхня модель описується в рамках деякої обраної концептуальної моделі. Концептуальна модель – математичний об'єкт, що описує множину вхідних параметрів системи, яка моделюється, її алгоритми функціонування, а також мету моделювання – множина досліджуваних параметрів цієї системи. Концептуальній моделі ставиться у відповідність імітаційна модель. Моделювання на комп'ютері імітаційної моделі визначається як експеримент із моделлю. Він забезпечує обчислення оцінок досліджуваних параметрів із заданою точністю системи, що моделюється.

Складність завдань аналізу КСКЗ, рівень розвитку методів математичного моделювання складних систем, рівень продуктивності обчислювальної техніки й рівень розвитку програмних засобів моделювання викликають потребу у використанні методів гібридного моделювання. Суть цих методів полягає в застосуванні для рішення таких завдань аналізу різнорідних математичних моделей [7]. Актуальність використання гібридних моделей підтверджується ще тим, що вся множина досліджуваних параметрів КСКЗ в одному класі математичних моделей описати адекватно практично неможливо, тим більше одержати чисельні адекватні оцінки.

Під гібридною моделлю, на відміну від аналітичних моделей, розуміється не одна модель досліджуваного об'єкта, а деяка структура її окремих моделей. Кожна часна модель описує відповідні сторони функціонування моделюючої системи. Результати окремих моделей інтегруються в гібридній моделі з метою одержання оцінок необхідних характеристик досліджуваної системи. Принцип гібридного моделювання полягає в декомпозиції моделюючої системи. Розрізняється структурна, функціональна декомпозиція, а також декомпозиція за її агрегованими станами. При структурній декомпозиції окре-

ма модель досліджує деякий фрагмент КСКЗ, вхідним навантаженням якого є інформаційний трафік, що надходить від інших виділених фрагментів. При функціональній декомпозиції окрема модель описує функціонування КСКЗ при виконанні деякого набору її функцій (наприклад, передача мови й передача даних). При декомпозиції за агрегованими станами окрема модель описує функціонування системи в деякому її агрегованому стані (наприклад, стану високого, середнього й низького рівня перешкод у середовищі передачі даних КСКЗ, що моделюється).

Необхідність використання гібридних моделей визначається розширенням класу завдань моделювання інформаційних систем, а також збільшенням їхньої розмірності. Кожна з підмоделей гібридної моделі також може належати до класу гібридних моделей або ж може належати деякому іншому класу математичних моделей, наприклад, мережі масового обслуговування, дискретні або безперервні динамічні системи (імітаційні моделі), графи, гіперграфи, марківські процеси, гіпермережі, різні статистичні моделі тощо (аналітичні моделі). Кожний з перелічених вище класів моделей має свою область застосування, що визначається, як правило, розмірністю системи, її топологією, а також поставленими завданнями її моделювання. При цьому необхідно відзначити, що мережі масового обслуговування представляються найбільш відповідним математичним апаратом для аналітичного моделювання за тримок у розподілених системах.

Застосування апарата мереж масового обслуговування для моделювання 4G-систем. Залежно від наявності неоднорідних потоків вимог розрізняють однорідні й неоднорідні мережі обслуговування. У неоднорідних мережах, на відміну від однорідних, вимоги, що циркулюють по мережі, відрізняються за їх маршрутами на мережі, а також за часом їхнього обслуговування у вузлах їхніх маршрутів. Множина вимог, які мають однакові маршрути, і часи їх обслуговування у вузлах маршрутів утворюють клас. Залежно від наявності зовнішнього джерела вимог у складі мережі розрізняються відкриті, замкнуті, і змішані мережі обслуговування. У

замкнутій мережі обслуговування, на відміну від відкритої, завжди циркулює постійне число вимог. У змішаній мережі число вимог одних класів постійно, а інших – ні. Останнім часом широке поширення одержали замкнуті неоднорідні мережі. Це обумовлено тим, що стаціонарний розподіл їхніх станів інваріантний щодо виду функції розподілу з точністю до перших двох моментів розподілу. Крім того, завжди є можливість апроксимувати відкриту мережу замкнутій, за допомогою заміни джерела вимог додатковим вузлом і збільшенням числа вимог, що циркулюють по мережі [6, 8].

Замкнута неоднорідна мережа масового обслуговування в загальному випадку визначається таким набором параметрів:

$$B = \langle L, K, \bar{N}, \bar{r}, \bar{W}, \bar{D}, \mu, \Theta, \bar{\pi} \rangle,$$

де L – кількість систем масового обслуговування (вузлів) у складі мережі; K – кількість класів вимог, що циркулюють мережею; $\bar{N} = (N_k), k = \overline{1, K}$, – початковий розподіл $N = \sum_{k=1}^K N_k$ вимог по K класах мережі; $\bar{r} = (r_i), r_i > 0, i = \overline{1, L}$ – вектор кількостей обслуговуючих приладів у складі вузлів мережі; вектор $\bar{W} = (W_i), W_i \in \{M, GI\}, i = \overline{1, L}$ – типи функцій розподілів випадкових величин, що визначають тривалості часів обслуговування вимог у вузлах мережі обслуговування ($W_i = M$ – функція розподілу часу обслуговування вимог є експонентною, $W_i = GI$ – функція розподілу часу обслуговування вимог є довільною і визначається математичним сподіванням і дисперсією); $\bar{D} = \{D_i\}, i = \overline{1, L}$ $D_i \in \{FIFO, LIFOPR, PS, IS, FS\}$ – вектор дисциплін обслуговування вимог у вузлах мережі; $\mu = \{\mu_{i,k}(\bar{n})\}, i = \overline{1, L}, k = \overline{1, K}$ – матриця функцій інтенсивностей обслуговування вимог у вузлах мережі, де $\mu_{i,k}(\bar{n}) > 0$ – інтенсивність обслуговування вимоги k -го класу в i -му вузлі мережі обслуговування за умови, що мережа перебуває в деякому стані \bar{n} її простору станів Ω , при цьому стан $\bar{n} \in \Omega$ визначає деякий припустимий розподіл N вимог по L вузлах і K класах мережі обслуговування; $\Theta = \{\theta_{i,k;j,l}\}, i, j = \overline{1, L}, k = \overline{1, K}$ – маршрутна матриця мережі, де її елемент $0 < \theta_{i,k;j,l} < 1$ визначає ймовірність переходу деякої вимоги k -го класу, обслуговування якого завершено у i -му вузлі, у вузол з номером j і в клас із номером l ; $\bar{\pi} = \{\pi_k\}, k = \overline{1, K}$ – вектор рівнів пріоритетів вимог класів, де $\pi_k > 0$ – рівень абсолютного пріоритету обслуговування вимог класу з номером k .

Ймовірнісна поведінка замкнутої неоднорідної мережі обслуговування описується марківським од-

норідним процесом, що визначається на кінцевому просторі $\Omega = \{\bar{n}_p\}, \bar{n}_p = (n_{i,k})$ її станів. $\hat{N}_{i,k}, k \in R_{\hat{k}} -$ максимально можлива кількість вимог класу k , які можуть перебувати в i -вузлі:

$$\hat{N}_{i,k} = \begin{cases} 0, & \text{вимоги класу } k \text{ не обслуговуються в вузлі } i, \\ \hat{N}_{\hat{k}}, & \text{вимоги класу } k \text{ обслуговуються в вузлі } i, \end{cases}$$

при цьому елемент $\hat{N}_{\hat{k}} = \sum_{k \in R_{\hat{k}}} N_k$ вектора $\tilde{N} = \{\hat{N}_{\hat{k}}\}$ є сумарною кількістю вимог у макрокласі $R_{\hat{k}}$ із номером $\hat{k}, \hat{k} = \overline{1, K}$, до складу якого входить клас k , а макроклас $R_{\hat{k}}$ утворюється множиною інцидентних класів, що утворюють даний макроклас (вимога будь-якого класу в складі макрокласу може перейти в будь-який інший клас цього ж макрокласу). Для кожного стану мережі $\bar{n} \in \Omega$ має місце:

$$\sum_{i=1}^L \sum_{k \in R_{\hat{k}}} n_{i,k} = \hat{N}_{\hat{k}}.$$

Вектор $\bar{n}^{(i)} = (n_{i,k}), k = \overline{1, K}$, складений із відповідних елементів деякого стану $\bar{n} \in \Omega$ буде розглядатися як стан вузла i , а величина $n_i = \sum_{k=1}^K n_{i,k}$ визначає загальну кількість вимог, котрі перебувають у вузлі i , що відповідає станам \bar{n} та $\bar{n}^{(i)}$. Множина $\Omega^{(i)} = \{\bar{n}^{(i)}\}$ – простір всіх можливих станів $\bar{n}^{(i)}$ вузла з номером i . Величина \tilde{N}_i визначає максимальну кількість вимог, що перебувають в вузлі i :

$$\tilde{N}_i = \sum_{\hat{k}=1}^{\hat{K}} \max_{k \in R_{\hat{k}}} \hat{N}_{i,k}.$$

Розподіл $P^\Omega = \{P(\bar{n}) | \bar{n} \in \Omega\}$ станів процесу є стаціонарним розподілом ймовірностей перебування мережі B у станах її простору станів Ω , де $P(\bar{n})$ – ймовірність перебування мережі B у стані \bar{n} . Для мереж обслуговування, які задовольняють умові локального балансу, розподіл P^Ω ймовірностей її станів має мультиплікативну форму:

$$P(\bar{n}) = G(\bar{N}, L)^{-1} \cdot \prod_{i=1}^L f_i(\bar{n}^{(i)}), \bar{n}^{(i)} \in \bar{n}, \forall \bar{n} \in \Omega,$$

$$f_i(\bar{n}^{(i)}) = \begin{cases} 0, & D_i = FS; \\ \frac{n_i!}{\prod_{s=1}^{n_i} \alpha_i(s)} \cdot \prod_{k=1}^K \frac{x_{i,k}^{n_{i,k}}}{n_{i,k}!}, & D_i \in \{FIFO, IS, LIFOPR, PS, \}, \end{cases}$$

у якому елементи матриці $X = (x_{i,k})$ визначаються рішенням однорідної системи лінійних рівнянь

$$\tilde{\mu}_{i,k} \cdot x_{i,k} = \sum_{j=1}^L \sum_{l \in R_{\hat{k}}} \tilde{\mu}_{j,l} \cdot x_{j,l} \cdot \theta_{j,l;i,k},$$

$$i = \overline{1, L}, k \in R_{\hat{k}}, \hat{k} = 1, \dots, \hat{K},$$

а $\tilde{\mu}_{i,k}$ є питомою інтенсивністю обслуговування вимог k -класу в i -вузлі (інтенсивністю обслуговування за умови, що в даному вузлі перебуває тільки одна вимога, $n_i = 1$, і вона перебуває в класі k , $\tilde{\mu}_{i,k} = x_{i,k} = 0$, якщо вимоги k -класу не надходять в i -вузол і не обслуговуються в ньому), $\alpha_i(n_i)$ ($\alpha_i(n_i) > 0$, $\alpha_i(0) = \alpha_i(1) = 1$) є коефіцієнтом інтенсивності, за допомогою якого задається залежність інтенсивності $\mu_{i,k}(n_i) = \tilde{\mu}_{i,k} \cdot \alpha_i(n_i)$ обслуговування вимог в вузлі i від сумарної кількості n_i вимог, що перебувають у ньому: $G(\tilde{N}, L)$ є константою, що нормалізує розподіл станів P^Ω мережі B :

$$G(\tilde{N}, L) = \sum_{\tilde{n} \in \Omega} \prod_{i=1}^L f_i(\tilde{n}^{(i)}), \quad \tilde{n}^{(i)} \in \tilde{n}.$$

Залежно від співвідношення значення параметрів набору B застосовуються різні методи аналізу мереж обслуговування, серед яких виділяються точні й наближені. При цьому розподіл P^Ω є базовою характеристикою, що забезпечує обчислення всіх нижчеперелічених характеристик. У виразах для цих характеристик використовуються такі позначення:

$$z_i(\tilde{h}) = \left\{ \tilde{h} = (h_k), \quad \tilde{h} \in \Omega^{(i)}, \sum_{k \in R_k} h_k = \hat{h}_k \right\} -$$

множина станів вузла i , які відповідають припустимому розподілу вимог $\hat{h} = (\hat{h}_k)$ по \hat{K} макрокласах;

$$\hat{z}(H) = \left\{ \tilde{h} = (\hat{h}_k), \quad \sum_{k=1}^{\hat{K}} \hat{h}_k = H, \quad \exists \tilde{h} \in z_i(\tilde{h}) \right\} -$$

множина всіх розподілів по \hat{K} макрокласах H вимог, що перебувають в вузлі i , $\bar{\Delta}_g = (\delta_{gk})$, $\delta_{gk} -$

символ Кронекеля; $\sum_{\tilde{h} \in \Delta} f(\tilde{h}) = \sum_{h_1 = \Delta_1}^{y_1} \sum_{h_2 = \Delta_2}^{y_2} \dots \sum_{h_k = \Delta_k}^{y_k} f(\tilde{h})$,

де $\bar{y} = (y_k)$, $\tilde{h} = (h_k)$, $\Delta = (\Delta_k)$, $h_k > 0$, $\sum_{k=1}^{\hat{K}} h_k > 0$.

Основними ймовірнісно-часовими характеристиками мереж обслуговування, обчислення яких забезпечують існуючі методи аналізу, є такі:

$$P^{\Omega^{(i)}} = \left\{ P_i(\tilde{n}^{(i)}) \mid \tilde{n}^{(i)} \in \Omega^{(i)} \right\}, \quad i = \overline{1, L} -$$

розподіл ймовірностей перебування вузлів мережі B у їх станах. Величина $P_i(\tilde{n}^{(i)})$ є ймовірністю перебування i -вузла в деякому його стані $\tilde{n}^{(i)}$:

$$P_i(\tilde{n}^{(i)}) = \sum_{\tilde{n} \in \Omega, \tilde{n}^{(i)} \in \tilde{n}} P(\tilde{n}), \quad \tilde{n}^{(i)} \in \Omega^{(i)};$$

$P_i^u = P\{P(n_i^u = s) \mid s = 0, \dots, \tilde{N}_i\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^u вимог, що перебувають в i -вузлі

мережі B , $i = 1, \dots, L$. Величина $P(n_i^u = s)$ є ймовірністю перебування в i -вузлі s вимог різних класів. Ця ймовірність визначається таким виразом:

$$P(n_i^u = s) = \sum_{\tilde{n}^{(i)} \in \Lambda^{(i)}, n_i = s} P_i(\tilde{n}^{(i)}), \quad s = 0, \dots, \tilde{N}_i.$$

$P_i^v = \{P(n_i^v = s) \mid s = 0, \dots, \tilde{N}_i\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^v вимог, які перебувають на обслуговуванні приладами i -вузла мережі B . Величина $P(n_i^v = s)$ є ймовірністю того, що в i -вузлі s вимог різних класів обслуговуються його приладами; $P_i^w = \{P(n_i^w = s) \mid s = 0, \dots, \tilde{N}_i - r_i\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^w вимог, які перебувають у черзі i -вузла мережі B , $i = 1, \dots, L$. Величина $P(n_i^w = s)$ ви-

значає ймовірність того, що в черзі вузла i s вимог різних класів очікують початку свого обслуговування; $\bar{n}^{(u)} = \left\{ \bar{n}_{i,k}^{(u)} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог у вузлах мережі B , $\bar{n}_{i,k}^{(u)}$ – середня кількість вимог класу k , які перебувають в вузлі i :

$$\bar{n}_{i,k}^{(u)} = \sum_{\tilde{n}^{(i)} \in \Lambda^{(i)}} n_{i,k} \cdot P_i(\tilde{n}^{(i)}), \quad n_{i,k} \in \tilde{n}^{(i)},$$

$\bar{n}^{(v)} = \left\{ \bar{n}_{i,k}^{(v)} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог різних класів в обслуговуючих приладах вузлів мережі B , де $\bar{n}_{i,k}^{(v)}$ – середня кількість вимог класу k , які обслуговуються в вузлі i :

$$\bar{n}_{i,k}^{(v)} = \sum_{\tilde{h} \in \bar{\Delta}_k} \sum_{\tilde{h} \in z_i(\tilde{h})} P_i(\tilde{h}) \cdot h_k / \sum_{j=1}^K h_j, \quad k \in R_k,$$

$\bar{n}^{(w)} = \left\{ \bar{n}_{i,k}^{(w)} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог різних класів у чергах вузлів мережі B , $\lambda = \{\lambda_{i,k}\}$ – інтенсивності потоків вимог різних класів, що надходять у вузли мережі B , де $\lambda_{i,k}$ – інтенсивність потоку вимог класу k , які надходять для обслуговування в вузол i :

$$\lambda_{i,k} = \sum_{\tilde{h} \in \bar{\Delta}_k} \sum_{\tilde{h} \in z_i(\tilde{h})} \alpha_i \left(\sum_{j=1}^K h_j \right) P_i(\tilde{h}) \cdot h_k / r_i,$$

$V = \{\bar{v}_{i,k}\}$ – математичне сподівання часів обслуговування вимог різних класів у вузлах мережі B ; $u = \{\bar{u}_{i,k}\}$ – математичні сподівання часів перебування вимог різних класів у вузлах мережі B ; $w = \{\bar{w}_{i,k}\}$ – математичне сподівання часів очікування вимогами обслуговування у вузлах мережі B , $t = \{\bar{t}_{i,k}\}$ – математичне сподівання часів циклу вимог різних класів, обслужених у вузлах мережі B , де $\bar{t}_{i,k}$ – середня тривалість інтервалу часу між моментом надходження вимоги класу k в вузол i та

моментом першого повернення цієї ж вимоги до цього ж класу та вузла:

$$\bar{t}_{i,k} = \hat{N}_k / \lambda_{i,k} - \bar{u}_{i,k}, \quad k \in R_k^+,$$

$\tau = \{\bar{\tau}_{i,k;j,l}\}$ – математичне сподівання часів переходу вимог різних класів, обслужених у вузлах, до класів та вузлів мережі В, де $\bar{\tau}_{i,k;j,l}$ – середня тривалість інтервалу часу між моментом надходження вимоги класу k в вузол i та моментом першого надходження цієї ж вимоги в l -клас i j -вузол: $\bar{\tau}_{i,k;j,k} = \bar{t}_{i,k} + \bar{u}_{i,k}$, $i = 1, \dots, L$, $k = 1, \dots, K$ і рішенням системи з $L \cdot K \cdot (L \cdot K - 1)$ лінійних рівнянь:

$$\bar{\tau}_{i,k;j,l} = \bar{u}_{i,k} + \sum_{m=1}^L \sum_{q=1, (m,q) \neq (j,l)}^K \theta_{i,k;m,q} \cdot \bar{\tau}_{m,q;j,l}$$

Висновки

Розглянуті принципи побудови концептуальної моделі системи на базі технології 4G, описані етапи створення математичної моделі та труднощі, які виникають при моделюванні складних систем. Запропоновано для аналізу процесів, які відбуваються у комп'ютерній системі, застосувати гібридні моделі, що дозволяє моделювати частини складної системи окремо. Для аналітичного моделювання затримок у розподілених системах, якою є система, що аналізується, вирішено застосувати мережі масового обслуговування, як найбільш відповідний математичний апарат. Наведені обчислення основних ймовірнісно-часових характеристик імітаційної моделі, які забезпечують існуючі методи аналізу. Показано доцільність використання розроблених моделей для моделювання КСКЗ на базі технологій 4G.

Список літератури

1. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної

складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.

2. Кучук Г.А. Метод управління реконфігурацією інформаційної структури комп'ютерної системи об'єкта критичного застосування при включенні оперативних задач в систему управління / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 1 (41). – С. 107-110.

3. Miki T., Ohya T., Enhanced-reality multimedia communications for 4G mobile networks / Miki T., Ohya T. // 1st International Conference on Multimedia Service Access Networks (MSAN '05), (pages. 69-72), Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 2005.

4. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), pp. 384-389.

5. Semenov S., The Concept Definition of Mathematical Modelling of the Secured Information-Telecommunication System with Regard to Conditions of the Posterior Uncertainty / Semenov S., Dorokhov O., Grynov D. // Transport and Telecommunication. Volume 14, Issue 2, Pages 167-174, ISSN (Online) 1407-6179, ISSN (Print) 1407-6160, DOI: 10.2478/tjt-2013-0014, April 2013.

6. Беляков В.Г. Методи і програмні засоби аналітичного моделювання мережевих систем: Препринт / Митрофанов Ю.І., Беляков В.Г., Курбангули В.Х. // М.: Наук. рада з комплексної проблеми Кібернетика АН CCCP, 1982. – С. 155-159.

7. Ярославцев А.Ф., Гібридний моделювання в Монада / Ярославцев А.Ф. // Праці ІВМіМГ СО РАН, Сер. Системне моделювання. Новосибірськ: ІВМіМГ СО РАН, – Вип.4 (22). – С.12-28, 1997.

8. Семенов С.Г., Методика математического моделирования защищенной ИТС на основе многослойной GERT-сети / Семенов С.Г. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тем. вип. Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – Вип. 62 (968). – С 173-181.

Надійшла до редколегії 21.08.2017

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

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ 4G С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

С. Г. Семенов, О.В. Липчанская

В статье рассмотрены вопросы построения концептуальной модели системы критического применения для оценивания задержек мультимедийного трафика, как преимущественной составляющей в системах на базе технологии 4G. Разработана математическая модель системы для проведения экспериментов и оценки их результатов. При моделировании применен аппарат сетей массового обслуживания, как наиболее соответствующий математический аппарат для аналитического моделирования задержек в распределенных системах. Показаны вычисления основных вероятностно-временных характеристик имитационной модели и целесообразность использования разработанных моделей при моделировании сложных систем на базе технологии 4G.

Ключевые слова: концептуальная модель, математическая модель, технология 4G, система критического применения, сети массового обслуживания.

A CONCEPTUAL MODEL OF THE SYSTEM BASED ON A 4G USING A QUEUING NETWORK MECHANISM

S.G. Semenov, O.V. Lipchanska

The article deals with the construction of a critical application system conceptual model for estimating the delays of multimedia traffic as an advantageous component in systems based on 4G technology. A mathematical model of the system for conducting experiments and evaluating their results has been developed system. In the simulation, the queuing networks mechanism is used, as the most appropriate mathematical apparatus for analytical modeling of delays in distributed systems. The computations of the simulation model main probability-time characteristics and the expediency of developed models using for modeling complex systems based on 4G technology are showed.

Keywords: conceptual model, mathematical model, 4G technology, critical application system, queuing networks.

УДК 004.056.53

О.О. Стрельницький

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

У статті наведені методи які засновані на спадкоємному переході до синхронних мереж систем спостереження та дозволяють зняти проблему захисту інформації систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий», як одного з головних інформаційних ресурсів системи контролю повітряного простору.

Ключові слова: захист інформації, система спостереження, інформаційний ресурс.

Вступ

Постановка проблеми й аналіз літератури.

Відомо [1, 2], що основними елементами процедури контролю повітряного простору (КПП) є:

- аналіз повітряної обстановки;
- прийняття рішень.

Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначаються складом та достовірністю інформації, на основі якої особа приймає рішення. Таким чином інформація, що циркулює в системі КПП повинна бути всебічно захищена [3, 4]. Однак, як показано в [5], один з головних інформаційних ресурсів (ІР) системи КПП, яким являються системи ідентифікації (СІ) за ознакою «свій-чужий», побудовані так, що зацікавлена сторона може несанкціоновано використати цей ІР для дальнього визначення координат повітряних об'єктів (ПО), з одного боку, та перекручувати інформацію цього ІР, з другого боку, що призводить до жахливих результатів.

Мета роботи – аналіз методів захисту інформації запитальних СІ.

Основна частина

В роботі [5] показано, що без виключення з обслуговування навмисних корельованих завод (НКЗ), якими є імітовані зацікавленою стороною (ЗС) сигнали запиту (СЗ), досягнути прийнятних показників захисту інформації СІ неможливо. При цьому слід зазначити, що наявність НКЗ ускладнює рішення задач як виміру координат ПО, так і передачі польотної інформації.

Відомо, що основою подавлення завод є різниця між корисним сигналом та заводою. В існуючих СІ реалізовано принцип обслуговування заявки, що

визначило реалізацію принципу відкритих однональних СМО з відмовами при їх побудові. Сама же мережа систем СІ, реалізована на несинхронному принципі. Несинхронна мережа СІ дозволяє ефективно подавляти в апаратурі запитувача внутрішньосистемні завади, які утворені сусідніми СІ. Однак саме це дозволяє іншій стороні здійснювати паралізацію СІ постановкою НКЗ. Отже, така реалізація сучасних СІ ускладнює їх використання в конфліктних ситуаціях. Дійсно, інтенсивність потоку СЗ в існуючих системах СІ можна визначити як

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_i) + \lambda_1 + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (1)$$

де $\lambda_i(T_{ji})$ – інтенсивність потоку СЗ от і-го запитувача з періодом повторення T_i ; λ_1 – інтенсивність потоку хибних СЗ, які утворені з хаотичних імпульсних завод (ХІЗ) та сумарного потоку СЗ своїх запитувачів і ХІЗ (тобто за рахунок хибної тривоги першого та другого роду); $\lambda_j(T_j)$ – інтенсивність потоку НКЗ запитувачів ЗС, що подавляють і несанкціоновано використовують відповідач, з періодом проходження T_j . Так як в існуючих СІ до обслуговування приймаються всі правильно дешифровані СЗ то це дозволяє ЗС подавляти СІ постановкою НКЗ.

Таким чином, як впливає з принципу обслуговування, побудови та організації мережі, в сучасних системах СІ відсутні просторові та часові відмінності між сигналами і НКЗ, що ускладнює захист інформації зазначених ІР.

Пошук шляхів спадкоємного переходу до СІ з захистом інформації [1], призводить до необхідності створення відмінностей між корисними сигналами та НКЗ. Створення просторових відмінностей, хоча і можливо, проте призводить до значних матеріальних витрат і до складності функціонування таких систем. Іншим методом створення відмінностей між корисними сигналами і НКЗ є часова різниця. Саме часовим розбіжностям приділяється в даний час основна увага.

Пошук часових відмінностей між корисними сигналами і НКЗ призводить до зміни принципу організації мережі СІ. Перехід від несинхронної мережі до синхронної мережі (СМ) СІ дозволяє штучно створити часові відмінності між корисними сигналами і завадами. При реалізації СМ СІ сумарний потік СЗ можна записати як

$$\lambda_c = \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i(T_0(t)) + \lambda_1 + \sum_{j=0}^{M-1} \lambda_j(T_j), \quad (2)$$

де $T_0(t)$ – період слідування СЗ, єдиний для всієї СМСІ. Як випливає з (2) часові різниці між корисними сигналами і НКЗ проявляються в часі надходження. Дійсно, так як шкала часу (ШЧ) ЛВ узго-

джена зі ШЧ всіх елементів СМ систем СІ, то корисні СЗ надходять на відповідач в синхронні, а НКЗ – в несинхронні моменти часу.

Таким чином, перехід до СМ СІ дозволяє перевести НКЗ в несинхронну заваду, методи захисту від якої достатньо вивчені. Зокрема, одним з найбільш ефективних методів захисту від несинхронних імпульсних завад є міжперіодна обробка сигналів.

Перехід до СМ СІ дозволяє істотно розширити методи обслуговування заявок і методи побудови систем. Розглянемо більш докладно ці принципи.

На рис. 1 наведено класифікацію можливих варіантів спадкоємного переходу до СІ з захистом інформації.



Рис. 1. Методи захисту інформації систем ідентифікації

За принципом побудови мережі СІ діляться на синхронні і несинхронні мережі. Сучасні СІ побудовані на принципі несинхронної мережі. Це зумовлено необхідністю захисту запитувачів від внутрісистемних завад у каналі відповіді (КВ). Перехід до СМ СІ дозволяє створити часові відмінності між корисними і навмисними корельованими ЗС СЗ. При цьому зауважимо, що при модернізації та розробці СІ повинен дотримуватися принцип спадкоємності. З цією метою нами і підкреслюється, що перехід до СМ повинен бути здійснений так, що будь-який момент часу може бути зворотний перехід.

В СМ СІ робота всіх елементів системи реалізується на єдиному часу мережі. Кожна з вхідних в СМ СІ може бути побудована за принципом обслуговування абонента (запитувача) або обслуговування мережі (всіх запитувачів). У СІ, що реалізують перший принцип в ЛВ, обслуговується конкретний запитувач, а в СІ, реалізованих на другому принципі – обслуговується вся мережа СІ.

Основним методом побудови СІ з обслуговуванням абонента є запитальні СІ, виконані на базі СМ, де кожен запитувач формує СЗ в строго певний час мережі СІ. На ЛВ також формується ШВ синхронні з єдиною шкалою часу (ЕШЧ) мережі. Отже,

в таких СІ вдається виключити можливість обслуговування НКЗ ЛВ, а також значно знизити інтенсивність потоку СВ.

Реалізація синхронного за запитом методу на базі СМ може наштовхнутися на складності боротьби з синхронними внутрісистемними завадами, зумовленими роботою сусідніх запитувачів. Однак цей недолік усувається, як правило, спільною роботою систем первинної і вторинної радіолокації, а також переходом до зміни принципу обслуговування мережі.

У запитальних СІ, реалізованих на базі СМ, можливо управління потоками як СЗ, так і СВ. Наявність можливості проведення МО на ЛВ дозволяє стверджувати, що на обслуговування в даній СІ надходять тільки СЗ СМ. Таким чином, сумарний потік СВ в СМ запитальних СІ можна оцінити як

$$\lambda_0 = P_0 \lambda_c(T_0(t)). \quad (3)$$

Як випливає з вищевикладеного, управління потоками СЗ в СМ СІ не лише знижує загальну їх інтенсивність, але і унеможливорює несанкціоноване використання ЛВ СІ. Усе це дозволяє значно підвищити якість роботи СІ та дозволяє перейти до використання у якості СВ сигналів з великою базою.

Необхідно відмітити, що використання СМ в запитальних СІ дозволяє перейти від СМО з відмовами до СМО з очікуванням. В цьому випадку за час спостереження ПО T_n ЛВ може обслужити

$$N =]T_n / T_0 \cdot k[$$

запитувачів, де k - необхідне число відповідей конкретному запитувачі, яке потрібне для виконання критерію початку пачки.

Основним методом побудови СІ з обслуговуванням мережі СІ є запитальні системи СІ з синхронною відповіддю.

Суть цього методу полягає в наступному. Принцип побудови і функціонування каналу запита не змінюється, тобто залишається таким як і при використанні на несинхронній мережі. Змінюється принцип обслуговування запиту (заявки). Є час аналізу T_a , впродовж якого приймаються СЗ ЛВ. СВ не випромінюється відразу після прийому та дешифрування СЗ, а тільки в певний момент, відомий споживачам, що входять в інформаційну мережу, що розглядається. Для випромінювання СВ потрібне отримання як мінімум одного СЗ впродовж інтервалу аналізу T_a .

Час обслуговування усіх заявок, що поступили на інтервалі часу аналізу T_a , вибирається з умови, $T_{об} = T_{об} - t_p(t)$ де, $t_p(t)$ - відомий, постійно змінюючись часовий інтервал. Таким чином, в таких системах незалежно від числа заявок на часовому інтервалі аналізу, вони обслуговуються одночасно у момент часу, приведеному вище. При такій реалізації управління потоками сигналів кодуванню підлягає часовий інтервал $t_p(t)$, тоді як при синхронному за запитом методі в СМ запитальних систем СІ - T_0 . Незалежно від числа запитувачів число СВ ЛВ при синхронному по відповіді методі визначатиметься часовим інтервалом аналізу. Це значно знижує потік внутрісистемних завад в каналі відповіді.

Оскільки обслуговуванню підлягає будь-який СЗ, дешифрований в межах інтервалу часу аналізу,

то при роботі СІ з синхронною відповіддю можливе отримання необхідної інформації від ЛВ як по своєму СЗ, так і по СЗ будь-якого запитувача. Це обумовлено тим, що цей метод реалізує принцип обслуговування мережі. Така побудова СІ знімає проблему реалізації розосереджених СІ, а також часового узгодження сигналів, що поступають по системах первинної і вторинної радіолокації.

Висновки

Таким чином наведені методи побудови СІ дозволяють:

- виключити з обслуговування СЗ імітовані ЗС;
- знизити інтенсивність СВ;
- перейти до використання у якості СВ сигналів з великою базою,

що дозволяє зняти проблему захисту інформації в СІ, як основного ІР системи контролю повітряного простору.

Список літератури

1. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
2. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004. – 446 с.
3. Захист інформації в системі організації повітряного руху /Биковцев І.С., Дем'янчук В.С., та інші. – К.:ДпОПР України, - 2007. – 196 с.
4. Клименко В.О. Концептуальні положення інформаційної безпеки автоматизованих систем організації повітряного руху /В.О.Клименко //Захист інформації: Збірник наукових праць.– К.: НАУ, 2007. № 3.– С. 55-64.
5. Стрельницький О.О. Протиріччя та проблема захисту інформації в мережі систем спостереження повітряного простору /О.О.Стрельницький//Системи управління, навігації та зв'язку. –Полтава: –2017.–Вип. 3(43). – С. 66-68.

Надійшла до редколегії 23.06.2017

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

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА

А.А. Стрельницький

В статье приведены методы, которые основаны на наследственном переходе к синхронным сетям систем наблюдения и позволяют снять проблему защиты информации систем идентификации по признаку "свой-чужой", как одного из главных информационных ресурсов системы контроля воздушного пространства.

Ключевые слова: защита информации, система наблюдения, информационный ресурс.

METHODS OF PRIV OF SYSTEMS SUPERVISIONS AIR SPACE FROM THE UNAUTHORIZED USE OF INFORMATIVE RESOURCE

A.A. Strelnickiy

In the article the brought methods over that is based on the in hearted passing to the synchronous net works of the systems of supervision and allow to take off the problem of priv of the systems of authentication on a sign "it-stranger", as one of main informative resources of the checking of air space system.

Keywords: Information security, surveillance system, informative resource.

УДК 004.9

В.А. Темников

Національний авіаційний університет, Київ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ АЭРОПОРТОВ

Приведены основные принципы построения голосовой системы информационной поддержки принятия оперативных решений администраторами диспетчерских служб аэропортов в процессе осуществления внутрисменного контроля за действиями авиадиспетчеров во время выполнения ими функциональных обязанностей. Информационная система предназначена для перманентной аутентификации авиадиспетчеров и мониторинга их психофизиологического состояния. Система функционирует в режиме реального времени.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, диспетчерская служба аэропорта, авиадиспетчер, психофизиологическое состояние человека, голос.

Введение

Одной из основных причин аварий и аварийных ситуаций в авиации является человеческий фактор. Так, опубликованные в литературе статистические данные свидетельствуют о том, что, например, до 80% всех аварий и нарушений технологического режима в авиации происходят по вине диспетчерского персонала. Ошибки в его работе в значительной степени обусловлены нахождением авиадиспетчеров в состоянии перманентного напряжения, связанного с ответственностью за жизнь людей и возможные значительные материальные потери.

В настоящее время вопросам разработки автоматических систем для обеспечения указанных видов контроля уделяется явно недостаточное внимание. В частности, за авиадиспетчерами в процессе их работы осуществляется лишь визуальный контроль со стороны старшего диспетчера.

Для снижения влияния человеческого фактора на безопасность полетов разработана система информационной поддержки принятия оперативных решений (СИППоР) лицами, осуществляющими контроль за действиями авиадиспетчеров (администраторами, старшими диспетчерами).

Разработанная информационная система предназначена для перманентной аутентификации авиадиспетчеров и мониторинга их психофизиологического (эмоционального) состояния (ПФЭС). СИППоР, функционируя в режиме реального времени, будет своевременно сигнализировать о нарушениях в работе диспетчеров, что позволит более эффективно и на более ранних стадиях предотвращать нарушения в работе диспетчеров, в том числе, отстранять от работы лиц, находящихся в ненадлежащем эмоциональном состоянии, состояниях утомления, сонливости, тревоги. Использование голоса в качестве анализируемого образа дает возможность осуществлять контроль диспетчеров бесконтактно, дистанционно, не отвлекая их от работы.

В статье представлены принципы построения и методы моделирования основных подсистем СИППоР, к которым относятся подсистемы аутентификации (для предотвращения доступа к информационным ресурсам несанкционированных лиц), идентификации (в случае непрохождения аутентификации), контроля (мониторинга) ПФС (для предотвращения доступа лиц, находящихся в ненадлежащем ПФС) авиадиспетчеров, а также подсистема предварительной обработки речевого сигнала.

Результаты исследования

Принципы построения и методы моделирования подсистем аутентификации, идентификации и мониторинга ПФС авиадиспетчера. Аутентификация и мониторинг ПФЭС по непрерывной речи сводятся к аутентификации и мониторингу ПФЭС по ключевым словам, выделенным из непрерывной слитной речи диспетчера. В качестве ключевых могут быть выбраны слова, часто употребляемые авиадиспетчерами в процессе работы или взятые из установленной нормативными документами профессиональной фразеологии.

Подсистема аутентификации диспетчеров. Голосовую подсистему аутентификации предлагается строить на основе теории распознавания образов [1].

Параметризацию речевого сигнала предлагается проводить с применением метода кратковременного анализа [2]. В процессе разработки СИППоР проводилась совместная разработка модулей параметризации и классификации. Модуль параметризации рекомендуется строить таким образом, чтобы обеспечить эффективную работу модуля классификации. При этом, классификацию диспетчеров предлагается осуществлять на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [3]. Их применение совместно с другими методами вычислительного интеллекта позволяет учесть наличие неполноты исходной информации. Для удовлетворения требований, предъявляемых к параметрам речевых сигналов со стороны ИНС раз-

работана система інформативних параметрів, побудована на основі пофреймово розрахованих кепстральних коефіцієнтів лінійного передбачення. Розрахунок кепстральних коефіцієнтів може проводитися з використанням різних методів, в частности, ґрунтованих на попередньому визначенні мел-кепстральних коефіцієнтів, коефіцієнтів лінійного передбачення (КЛП), коефіцієнтів перцептивного лінійного передбачення і др.

Для розрахунок кепстральних коефіцієнтів пропонується використовувати метод, ґрунтований на попередньому визначенні КЛП. КЛП розраховуються таким чином, щоб помилка в значенні найменших квадратів була мінімальною для заданого порядку передбачення p . При цьому порядок лінійного передбачення, як правило, беруть в межах від 8 до 20 в залежності від цілей і способів реалізації. Визначення кепстральних коефіцієнтів по КЛП слід проводити за формулою:

$$c(n) = \begin{cases} 0, & n < 0, \\ \log_{\varepsilon}(A), & n = 0, \\ a_n + \sum_{k=1}^{n-1} \binom{n-1}{k} c(k) a_{n-k}, & 0 < n < p, \\ \sum_{k=n-p}^{n-1} \binom{n-1}{k} c(k) a_{n-k}, & n > p. \end{cases}$$

де a_i – коефіцієнти лінійного передбачення, $c(i)$ – кепстральні коефіцієнти, p – порядок лінійного передбачення, n – номер кепстрального коефіцієнта, A – помилка лінійного передбачення.

Приведена формула рекурсивна, що дозволяє генерувати бажану кількість коефіцієнтів для параметризації. Їх якість напряму залежить від кількості КЛП. Експерименти, в процесі яких декілька дикторів багато раз промовляли різні фрази, показали хорошу повторюваність значень кепстральних коефіцієнтів. В результаті було виявлено, що інформативними для проведення аутентифікації є перші 12-20 кепстральних коефіцієнтів. В результаті тестування було отримано 98% правильної аутентифікації.

Підсистема контролю ПФЭС диспетчера.

Контроль ПФЭС авіадиспетчерів пропонується проводити на основі порівняльного аналізу контрольних і еталонних інформативних параметрів, що характеризують окремі (в першу чергу, гласні) фонем. В процесі досліджень були проведені теоретичні і експериментальні дослідження, метою яких було аналізувати параметри, що характеризують речеві фрагменти, з точки зору їх ефективності для визначення ПФЭС. Дослідження показали, що як інформативні параметри цілком доцільно використовувати частоти основного тону, параметри, розраховані на їх основі (в частности, изрезанность), формантні частоти гласних фонем, а також тривалість промовлення диспетчером речевих фрагментів. Сегментацію на фонем пропонується, як і шумоподавлення, проводити з використанням вейвлетів. Важним при

визначенні ПФЭС авіадиспетчерів є відсутність необхідності в розпізнаванні всіх фонем паролічного речевого фрагмента (достатньо розпізнати лише декілька перших гласних фонем).

Підсистема ідентифікації диспетчерів. Задача ідентифікації значно ускладнюється при великій кількості контролюваних осіб і пов'язаним з цим великим числом еталонів в базі даних (БД). Підвищення швидкості ідентифікації можна досягти шляхом видалення областей «молчання» в речевому потоці, а також розробки нових алгоритмів для швидкого пошуку в метричних просторах. Розроблено процедуру проведення ідентифікації, ґрунтована на методах кластерного аналізу [4]. Ідея процедури полягає в кластеризації моделей диспетчерів в БД і постійному (в режимі реального часу) зменшенні кількості представлених для порівняння моделей диспетчерів (кластерів) з БД шляхом виключення тих моделей (кластерів), до яких найменш ймовірно належить ідентифіковуваний зразок (голос або зображення).

Метод моделювання підсистеми попередньої обробки (шумочистки) речевого сигналу. Було розроблено методика забезпечення підвищеного рівня очищення речевого сигналу від шумів і перешкодж, що використовує технології вейвлет-перетворення даних [5, 6]. Будь-який досліджуваний сигнал містить не тільки корисну інформацію $S(t)$, але і сліди деяких сторонніх впливів $N(t)$ – перешкоди або шум. Модель такого сигналу:

$$F(t) = S(t) + k N(t),$$

де k – коефіцієнт, що задає рівень шуму.

Шумовою складовою є гауссовий білий шум, відповідно, корисний сигнал $S(t)$ буде зосереджений в низькочастотній області спектра досліджуваного сигналу $F(t)$. Шумова складова була отримана шляхом моделювання білого шуму в пакеті MatLab з кількістю відліків, рівною кількості відліків корисного сигналу. Досліджуваний зашумлений сигнал формувался шляхом наступних перетворень:

$$F(t) = S(t) + 0,7 * N(t).$$

При вейвлет-перетворенні сигнал розкладається на аппроксимируючі коефіцієнти, що представляють собою згладжений сигнал, і деталізуючі коефіцієнти, що описують коливання. В зв'язі з тим, що шумова складова більше відображається в деталізуючих коефіцієнтах, при видаленні шуму обробляються саме вони. В відповідності з розробленою методикою процес видалення шуму з речевого сигналу пропонується проводити в середі MatLab в наступній послідовності:

1. Декомпозиція. Вибирається вейвлет і рівень розкладання N . Виробляється вейвлет-розкладання вихідного сигналу до рівня N . Вибір використовуваного вейвлета і глибини розкладання, в загальному випадку, залежить від властивостей конкретного сигналу. Більш гладкі вейвлети створюють більш гладку аппроксимацию сигналу і навпаки – „короткі” вейвлети

лучше отслеживают пики аппроксимируемой функции. Глубина разложения влияет на величину отфильтровываемых деталей.

В эксперименте для разложения сигнала $F(t)$ применялись вейвлеты Хаара, дискретные аппроксимации вейвлетов Мейера, вейвлеты Добеши, симлеты и койфлеты при уровнях разложения $N=1-8$.

2. Пороговая обработка детализирующих вейвлет-коэффициентов. Для каждого уровня от 1 до N выбирается порог и проводится мягкая пороговая обработка детализирующих коэффициентов.

От выбора порогового уровня шума (дисперсии шума) зависит качество шумоподавления сигнала, оцениваемое в виде отношения сигнал/шум. Поиск оптимального значения означает отыскание такого порога, который при наименьшем смещении восстановленного сигнала обеспечивает наибольшее значение отношения сигнал/шум.

Для выбора оптимального порогового значения в эксперименте использовались адаптивный и эвристический критерии Штейна несмещенной оценки риска, универсальный и минимаксный критерии [6].

Поскольку качество шумоподавления сигнала зависит также и от способа применения пороговой обработки, для всех вышеперечисленных критериев использовалась многоуровневая обработка, осуществляемая с использованием порога, значения которого изменяются от уровня к уровню, и локальная обработка, подразумевающая использование порога, переменного не только по уровню разложения, но также зависящего от позиции коэффициентов детализации на данном уровне.

3. Реконструкция. Производится вейвлет-реконструкция, основанная на первоначальных аппроксимирующих коэффициентах уровня N и модифицированных детализирующих коэффициентах уровней $(1-N)$.

4. Сравнение очищенного сигнала $S^*(t)$ с исходным сигналом $S(t)$ путем расчета коэффициентов корреляции $R(S(t), S^*(t))$. Расчеты производились по всем восьми уровням разложения при одинаковых характеристиках шумоочистки.

5. Выбор оптимальных характеристик шумоочистки на основе анализа рассчитанных коэффициентов корреляции $R(S(t), S^*(t))$. А именно: типа вейвлета, уровня его разложения, критерия расчета уровня порога и метода обработки.

Сигнал, полученный в результате шумоочистки с применением вейвлет-преобразования пригоден для дальнейшего его анализа, поскольку выделение шумовой составляющей проводилось максимально корректно без потери информативности исходного сигнала. При использовании вейвлет-преобразования для очистки речевого сигнала от шума и помех важно предварительно оценить спектральный состав шумовой компоненты, поскольку это в значительной степени влияет на выбор критерия расчета уровня порога и метода шумообработки.

Вывод

Сочетание различных методов построения подсистем СИППоР (методов кепстрального анализа, вейвлет-преобразований, кластеризации и др.), применение ИНС и алгоритмов, основанных на метриках, позволяет создать высококачественные СИППоР в диспетчерских службах аэропортов.

Список литературы

1. Рамшивили Г.С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети. 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
5. Donoho, D.L. De-Noising by soft-thresholding // *IEEE Trans. on Inform. Theory.* – Vol. 41, №3. – 1995. – P. 613-627.
6. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. – М.: ДМК, 2005. – 303 с.

Надійшла до редколегії 9.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Козловський, Національний авіаційний університет, Київ.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОВБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ СЛУЖБАХ АЕРОПОРТІВ

В.О. Темніков

Наведено основні принципи побудови голосових системи інформаційної підтримки прийняття рішень адміністраторами диспетчерських служб аеропортів в процесі здійснення внутрішнього змінного контролю за діями авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків. Розроблена інформаційна система призначена для постійної аутентифікації авіадиспетчерів і моніторингу їх психофізіологічного стану. Система функціонує в режимі реального часу.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, диспетчерські служби аеропортів, авіадиспетчер, психофізіологічний стан людини, голос.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR BUILDING DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AIRPORT TRAFFIC CONTROL SERVICES

V.O. Temnikov

The main principles of constructing a voice system for information support of decision making by administrators of airport traffic control services in the process of exercising control over the actions of air traffic controllers during the performance of their functional duties are given. The developed information system is intended for permanent authentication of air traffic controllers and monitoring of their psycho physiological state. The system operates in real time.

Keywords: decision support system, airport traffic control service, air traffic controller, psychophysiological state of a person, voice.

УДК 004.9

С.Г. Удовенко¹, Н.О. Миронова², Т.В. Федорончак², К.К. Верещак²¹ Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків² Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

ВИКОРИСТАННЯ ШАБЛОНІВ АВТОМАТИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ В ПРОЕКТАХ З РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ

Запропоновано метод побудови ієрархічної структури багаторазових універсальних тестових шаблонів для заданої предметної області. Запропоновані шаблони використовуються для генерації тестових сценаріїв і можуть швидко адаптуватися до будь-якого типового проекту. Розроблено систему автоматичного тестування, що базується на сучасному фреймворку Selenium у поєднанні з мовою Python та бібліотекою тестування Python Unittest. Проведене дослідження показало практичну значимість нового методу генерації тестових сценаріїв завдяки скороченню витрат часу на складання тестів та проведення тестування.

Ключові слова: система автоматичного тестування, веб-додаток, генерація тестових сценаріїв, тестування на основі моделей.

Вступ

Важливим етапом розробки програмного забезпечення є етап тестування. Складність і різноманіття функцій сучасних програм вимагає застосування спеціальних методів аналізу стану і працездатності програмного забезпечення протягом усього циклу розробки, впровадження та супроводу. У широкому сенсі, тестування – це одна з технік контролю якості, яка включає планування, складання тестів, безпосереднє виконання тестування та аналіз отриманих результатів. На сьогодні забезпечення якості програмних продуктів, що контролюється на етапі тестування, є одним з провідних напрямів в IT-індустрії.

Автоматизація процесів тестування представляє особливий інтерес, тому що дозволяє значно скоротити час проходження системою повного комплексу тестових сценаріїв та мінімізувати при цьому кількість трудових витрат на цей процес. Автоматизовані системи тестування вже стали невід'ємною частиною процесів розробки програмних продуктів. Особливу увагу слід приділити області веб-розробки, яка стрімко розвивається та стає все більш поширеною областю в інженерії програмного забезпечення.

Складність тестування у веб-проектах обумовлюється наступними характеристиками: короткими циклами розробки, розподіленою багатоланковою архітектурою, складністю та динамічністю поведінки, кросплатформністю та кросбраузерністю [1, 2]. У проектах при розробці веб-додатків широко застосовується ітеративний підхід, що обумовлює доцільність використання регресійного тестування, тобто повторного тестування частин системи, що розробляється. Тому автоматичне тестування дозволяє значно полегшити та пришвидшити цей процес і скоротити витрати часу та людських ресурсів на нього [2, 3]. В області веб-розробки на сьогоднішній день існує велика кількість різних систем автоматизації тестування, що відрізняються функціональни-

ми можливостями, ступенем стандартизації, опрацюванням призначеного для користувача інтерфейсу, правилами ліцензування [4, 5].

Незважаючи на те, що в області тестування веб-додатків здійснюється велика кількість теоретичних та практичних досліджень, в ній досі залишається чимало важливих питань, що потребують вирішення [3, 6]. Одним з них є побудова систем автоматичного тестування веб-додатків та генерація тестових сценаріїв для них. Таким чином, розробка нового методу генерації тестових сценаріїв для автоматичного тестування веб-додатків є актуальною та доцільною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій і постановка проблеми

До актуальних та нетривіальних задач тестування слід віднести складання тестових сценаріїв, які брали б до уваги специфічні вимоги до веб-додатків та дозволяли б ефективно виявляти помилки в розроблених кодах. Одним з різновидів автоматичного тестування є тестування на основі моделей, при якому варіанти тестування будуються із деякої моделі веб-додатку, що тестується [1, 2, 7].

Рис. 1 відображає загальне представлення процесу тестування на основі моделей [7]. Згідно з вимогами до веб-додатку, здійснюється розроблення моделі, яка відображає ті особливості системи, що підлягають тестуванню. Ця модель дозволяє генерувати набори варіантів сценаріїв тестування, які визначають умови, вхідні дані, очікувані результати роботи системи та оцінювання результатів тестування з використанням компаратора. Порівняння в компараторі очікуваних та реальних результатів дає можливість зробити висновок про наявність помилок в системі, надійність та відповідність системи моделі згідно з вимогами до неї. Крім того, може бути зроблено висновок про необхідність модифікації існуючої моделі чи додаткової генерації варіантів тестування.

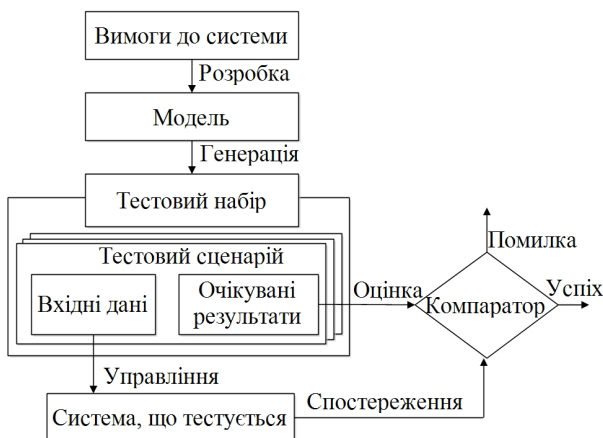


Рис. 1. Тестування на основі моделі веб-додатку

Ще однією особливістю тестування веб-додатків є необхідність зберігати інформацію про стан сесії користувача. В результаті цього тестовий сценарій має враховувати послідовність тестових випадків, тобто декількох дій в системі.

Найчастіше моделі веб-додатків описують аспекти функціональних можливостей системи та відображають бажану поведінку [7]. Найбільш поширеними є підходи до моделювання веб-додатків, пов'язані з побудовою навігаційних графів, UML моделей та FSM моделей веб-додатку. Такі моделі можуть будуватися автоматично, наприклад, за допомогою веб-краулерів чи реверсивної інженерії.

Наприклад, в роботі [8] запропоновано будувати граф навігації по сторінкам веб-додатку та генерувати згідно з цим графом тестові маршрути, що використовують специфіку міжсторінкових переходів. В роботі [9] цю ідею було розвинуто. В ній використовується перевірка коректності навігації по веб-додатку для тестування функціональних вимог. Навігаційна структура додатку при цьому моделюється засобами UML-діаграм та XML-нотації. Однак недоліком такого підходу є дуже велика кількість комбінацій переходів між сторінками в складних веб-додатках.

В роботі [10] автори розширили традиційні методи тестування потоків даних на область веб-розробки. Вони запропонували розглядати компоненти веб-додатку як об'єкти, а для генерації тестових сценаріїв використовувати модель, що відображає потоки даних між цими об'єктами. В подальших своїх роботах вони розробили метод генерації тестів на основі комбінацій різних типів моделей: об'єктної діаграми, діаграми станів та навігаційної діаграми переходу по сторінках [11]. Однак в якості недоліку можна зазначити, що ці моделі для побудови потребують аналізу сирцевого коду веб-додатку.

В роботі [12] використовуються UML діаграми прецедентів та діаграми послідовності для створення ієрархічної моделі переходів між варіантами використання. В роботі [13] для моделювання поведінки веб-додатку використано традиційну UML діаграму послідовностей та розширену веб-діаграму, яка дозволяє відобразити архітектуру клієнтської частини

додатку та залежності між веб-сторінками. В роботі [14] для опису структури веб-додатку застосовано моделі скінченного автомату (FSM) з обмеженнями. Автори використали ієрархічний підхід для моделювання складних веб-додатків. В моделях скінченного автомату кожна логічна сторінка представляє стан веб-додатку, а дії користувача та введені дані призводять до переходів між цими станами. В модель при цьому вводяться обмеження для зменшення простору станів та переходів між ними. Такий підхід знайшов подальший розвиток в роботах інших дослідників. В якості прикладів можна навести використання ймовірнісних моделей скінченного автомату [15], в яких переходи між станами асоційовані з ймовірностями цих переходів, або застосування генетичних алгоритмів для генерації тестів з FSM моделі [16].

Як видно, зазвичай процес створення тестових сценаріїв є індивідуальним для кожного окремо взятого проекту та може здійснюватися паралельно з розробкою програмного продукту. Однак специфічною особливістю проектів з розробки веб-додатків є багаторазове повторення типових рішень, що мають мінімум функціональних відмінностей і розрізняються лише в своїй візуальній складовій. В якості прикладів таких проектів можна навести розробку інтернет-магазину, блогу, порталу новин тощо. За таких умов розробка автоматичних тестових сценаріїв для кожного окремого проекту є недоцільною з точки зору раціонального використання ресурсів.

Метою статті є розробка методу побудови ієрархічної структури універсальних шаблонів тестування предметної області для веб-додатків. Така структура шаблонів повинна швидко адаптуватися для будь-якого типового проекту та заданої предметної області. Розроблений метод повинен бути реалізований в системі автоматичного тестування веб-додатків.

Метод побудови ієрархічної структури універсальних шаблонів тестування

Суть концепції, що пропонується, полягає в побудові ієрархічної структури універсальних тестових сценаріїв (рис. 2). На верхньому рівні цієї структури знаходяться узагальнені тестові сценарії, характерні для заданої предметної області. Найнижчим рівнем ієрархії є область взаємодії з елементами візуального інтерфейсу конкретного проекту. При правильно вибудованій ієрархії адаптація розроблених шаблонних сценаріїв під проект здійснюється саме на цьому рівні. Така ієрархічна структура тестових сценаріїв дозволяє здійснювати тестування на основі моделей, де враховуються функціональні вимоги до веб-додатків обраної типової предметної області та налаштування для конкретної реалізації. Після налаштування моделі під конкретний проект генеруються кінцеві тестові набори.

Ієрархічна структура успадкованих тестових сценаріїв передбачає поділ на узагальнене ядро та

змінну частину. Ядро містить опис тестових випадків, який залишається незмінним від проекту до проекту в рамках певної предметної області. Змінна частина містить відсилання до певних точок входу проекту, таких як адреси сторінок, посилання на активні елементи інтерфейсу користувача, посилання на блоки з певним типом інформації. Таку змінну частину в подальшому будемо називати словником проекту.



Рис. 2. Ієрархічна структура універсальних тестових сценаріїв

Таким чином, структура системи автоматичного тестування з використанням таких шаблонів матиме вигляд, представлений на рис. 3.

Ядро системи тестування в свою чергу ділиться на дві основні складові: набір шаблонів тестових сценаріїв і бібліотеку операторів. Такий поділ потрібен для досягнення необхідного рівня абстракції і виключення дублювання коду в разі повторення одних і тих же кроків в різних тестових сценаріях.

Тестовий сценарій – це сукупність тестових випадків, що забезпечують комплексну перевірку працездатності окремого аспекту системи, що тестується. Кожен тестовий сценарій зберігається в окремому файлі і є автономною функціональною одиницею. Склад і функціональні характеристики тестових сценаріїв залежать від конкретної предметної області.

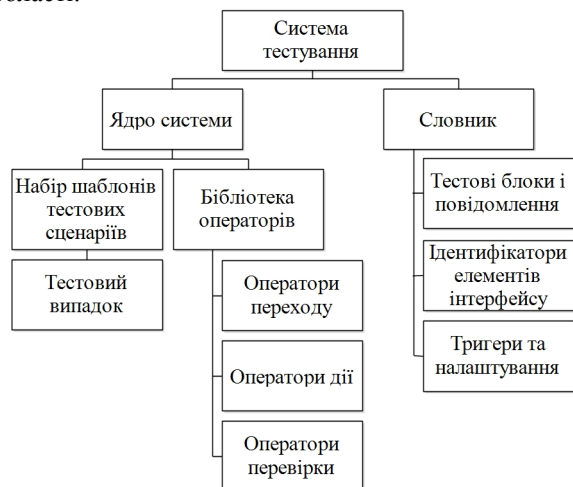


Рис. 3. Структура системи автоматичного тестування з використанням шаблонів

Тестовий випадок – це послідовність дій гіпотетичного користувача, що впливає на поточний стан тестованої системи певним чином і має конкретний очікуваний результат. Порівняння очікуваного результату з фактичним є основним фактором перевірки адекватності поведінки системи, що тестується. До компонентів системи пред'являються дві вимоги:

- універсальність тестових сценаріїв ядра, тобто шаблонів, від яких залежить повнота покриття тестовими випадками предметної області;
- мінімізація кількості елементів словника проекту, що безпосередньо впливає на обсяг роботи з формування словника під новий проект.

Бібліотека операторів є сукупністю повторюваних дій, які можуть бути використані в різних тестових сценаріях. Оператори безпосередньо взаємодіють з даними зі словника проекту з метою отримання доступу до необхідних елементів інтерфейсу користувача. Оператори діляться на три основні категорії:

- оператори переходу, що використовуються для переміщення між різними сторінками веб-додатка. Основна вимога до даних операторів – повна імітація дії гіпотетичного користувача. Система тестування може користуватися лише тими елементами управління, які доступні реальному користувачеві. Зазвичай будь-якої тестовий випадок починається з виклику оператора переходу до відповідного даному випадку розділу системи;
- оператори дії, представляють собою сукупність варіантів взаємодії з органами управління користувацького інтерфейсу (кліки по активним елементам, введення даних з клавіатури та інші дії користувача);
- оператори перевірки, що представляють собою сукупність різних методів перевірки поточного стану системи. До таких методів перевірки відносяться: наявність на сторінці певного елемента, вміст текстового блоку, порівняння поточного значення певних параметрів системи з раніше збереженими значеннями та інше.

Словник проекту використовується для налаштування тестової системи під потреби конкретного проекту. Він складається зі специфічних для даного проекту налаштувань: найменувань та посилань на елементи графічного інтерфейсу, відповідей в результаті виконання операцій, опису структур даних аналізованих об'єктів та інше. В загальному вигляді словник проекту можна розділити на три основні групи:

- ідентифікатори елементів інтерфейсу (для ідентифікації елементів призначеного для користувача інтерфейсу використовуються CSS-селектори);
- текстові блоки і повідомлення (набір текстових даних, характерних для тих чи інших тестових випадків, за наявності або відсутності яких тестова система може визначити чи є виконання тестового випадку успішним);
- тригери та налаштування (параметри, які задають правила проведення тестів та характеризуються булевими значеннями, що визначають тестові випадки даного проекту і схему аналізу).

На основі запропонованої концепції можна сформулювати метод побудови ієрархічної структури універсальних шаблонів тестування предметної області, що передбачає реалізацію наступних етапів:

Етап 1. Вибір предметної області, типової для розробки веб-додатків, та визначення основних функціональних вимог до веб-додатку.

Етап 2. Формування ядра системи, тобто опис універсальних тестових сценаріїв, що моделюють визначені функціональні вимоги, та створення бібліотеки операторів, що визначають сукупність часто повторюваних дій.

Етап 3. Визначення словника, тобто змінної частини, що відноситься до конкретної реалізації, а саме: адрес веб-сторінок, ідентифікаторів елементів користувачького інтерфейсу, параметрів проекту тощо.

Етап 4. Інтеграція розроблених шаблонів до програмної системи автоматичного тестування.

Етап 5. Налаштування словника під конкретний проект розробки веб-додатку.

Етап 6. Тестування веб-додатку за допомогою згенерованих із шаблонів кінцевих тестових сценаріїв.

Програмна реалізація системи автоматичного тестування

Можна сформулювати такі основні вимоги до програмної платформи для реалізації запропонованого методу:

- наявність гнучкої системи команд і операторів;
- можливість автоматичної адаптації до мінливих умов тестування за допомогою циклів і розгалужень;
- підтримка ієрархічних структур і успадкування;
- підтримка оголошень функцій і базові можливості повторного використання коду.

За своєю суттю ці вимоги зводяться до того, що обрана для реалізації програмна платформа повинна мати базові можливості типової скриптовий мови програмування. Однак слід взяти до уваги той факт, що цільовими користувачами такої платформи є не програмісти, а фахівці в області забезпечення якості. Отже розроблені шаблони тестування повинні бути простими та зручними для користувачів, які не є фахівцями в області розробки програмного забезпечення і не мають глибоких знань мов програмування.

З урахуванням перелічених вимог був проведений аналіз існуючих на сьогоднішній день засобів автоматизації тестування з метою вибору оптимальної платформи для реалізації методу. У число розглянутих програмних пакетів потрапили такі системи: Watir, Selenium, Ranorex, TestComplete, IBM Rational Robot. За результатами аналізу можливостей цих систем оптимальною платформою для реалізації поставлених завдань слід вважати вільний фреймворк для тестування веб-додатків Selenium в поєднанні з мовою програмування Python. Selenium є проектом з відкритим вихідним кодом, що має

велике співтовариство користувачів. Він розробляється з 2004 року і на сьогодні є найбільш поширеним засобом для тестування веб-додатків і, крім того, є базою для побудови багатьох інших засобів тестування, в тому числі комерційних [5, 17].

Фреймворк Selenium складається з двох частин: Selenium WebDriver та Selenium IDE.

Selenium WebDriver є драйвером браузера, тобто програмною бібліотекою, яка дозволяє розробляти програми, що керують поведінкою браузера, імітуючи дії користувача при роботі з веб-додатками. Selenium WebDriver був прийнятий за основу при розробці стандарту інтерфейсу для управління браузером організацією W3C. По суті цей продукт на сьогоднішній день є стандартом для інтерфейсів управління браузерами. Для взаємодії з браузерами WebDriver за допомогою API безпосередньо викликає команди браузера, завдяки чому реалізується спосіб взаємодії з браузером, що є близьким до дій реального користувача.

Selenium IDE – це зручний інструмент для швидкої розробки невеликих тестових сценаріїв в браузері Firefox, що використовується для розвідувального тестування та пошуку помилок. Selenium IDE підтримує запис сценаріїв тестування в графічному режимі з подальшим експортом в одну із запропонованих мов програмування: Java, Python, Ruby. В той же час реалізувати складну логіку або перевірку в сценаріях IDE майже неможливо.

Як Selenium WebDriver, так і Selenium IDE, є безкоштовними кросплатформними програмними засобами і задовольняють всім вимогам до програмної платформи для реалізації універсальних шаблонів автоматичного тестування веб-додатків.

До недоліків проекту Selenium можна віднести:

- більш примітивний інтерфейс записи сценаріїв в порівнянні з комерційними платними аналогами;
- відсутність вбудованої системи складання звітів за результатами тестування.

Розглянемо архітектуру запропонованої системи автоматичного тестування з використанням універсальних шаблонів тестових сценаріїв. Система складається з наступних компонентів: Selenium WebDriver, Selenium IDE та Python Selenium API. Фреймворк Selenium в поєднанні з гнучкістю і широкими можливостями мови програмування Python надає всі необхідні умови для реалізації запропонованої концепції системи тестування веб-додатків. У складі мови програмування Python є вбудована бібліотека Unit testing framework (скорочено unittest) для створення тестових сценаріїв. Ця бібліотека може бути використана як основа для створення шаблонів відповідно до запропонованого методу.

Для роботи з WebDriver необхідно мати 3 основних програмних компоненти (рис. 4):

- браузер, роботу якого користувач хоче автоматизувати, що встановлений на певній ОС і має свої налаштування (за замовчуванням або згідно з індивідуальними вимогами);

- драйвер браузера (веб-сервер, який запускає браузер і надсилає йому команди управління);
- тестовий скрипт, який містить набір команд мовою Python для драйвера браузера з використанням клієнтських бібліотек для прив'язки скрипту до інтерфейсу Selenium WebDriver.

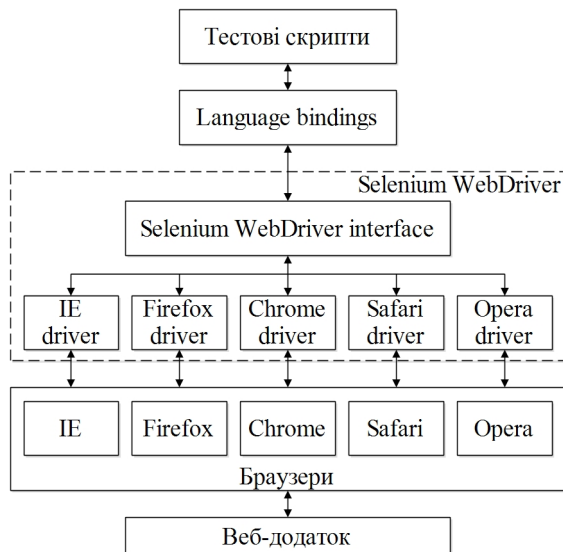


Рис. 4. Архітектура системи з використанням Selenium WebDriver

В мові Selenium використовується набір команд для драйвера браузера. Послідовність таких команд є тестовим сценарієм. У Selenium існує широкий вибір команд для максимально повного тестування веб-додатків. З використанням цих команд можна виконати прості перевірки наявності елементів інтерфейсу користувача або певного контенту, роботи гіперпосилань, полів введення, меню, табличних даних тощо. Команди Selenium також підтримують перевірку розмірів вікна, позиції курсору миші, роботу з діалоговими вікнами, елементами Ajax, обробку подій та інші функції, необхідні для тестування сучасних веб-додатків. Прив'язка мови Selenium до мови Python здійснюється за допомогою простого API для написання тестів функціональності або тестів відповідності вимогам.

Використаний в системі фреймворк тестування юнітів Python Unittest підтримує автоматизацію тестів, використання загального коду для налаштування і виконання тестів, об'єднання тестів в колекції та виведення інформації. Система з використанням Python Unittest підтримує деякі важливі концепції за допомогою компонентів, наведених на рис. 5: *випробувальний стенд* (test fixture), що здійснює підготовку до виконання одного або кількох тестів, а також всі необхідні дії з очищення (наприклад, створення тимчасових баз даних або запуск серверного процесу); *тестовий випадок* (test case) – мінімальний юніт тестування, що перевіряє відповіді для різних наборів даних; *набір тестів* (test suite), що є набором тестових випадків, що використовується для об'єднання тестів, які повинні бути виконані

спільно; *виконавець тестів* (test runner), що є компонентом, який керує виконанням тестів і надає користувачеві результат.

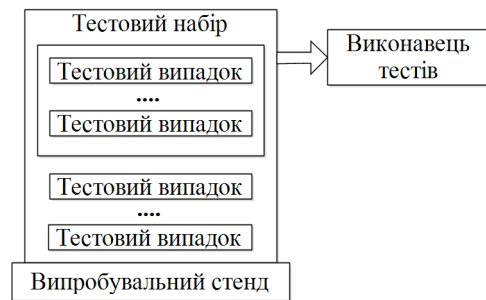


Рис. 5. Архітектура системи з використанням Python Unittest

Виконавець може використовувати графічний або текстовий інтерфейс або повертати спеціальне значення, яке повідомляє про результати виконання тестів. Система сценаріїв передбачає два основні режими експлуатації:

- запуск на локальній машині тестувальника (у такому випадку локальна машина є тестовим стендом і запуск тестових сценаріїв здійснюється з командного рядка в консолі операційної системи, а результат роботи також буде відображено в консолі);
- запуск на серверному тестовому стенді в Selenium Grid (в цьому випадку запуск і збір результатів тестування здійснюється планувальником тестового стенда);
- локальний запуск тестових сценаріїв здійснюється командою `python -m unittest <назва_тестового_сценарію>` (при бажанні можна уточнити конкретний тестовий випадок в рамках заданого сценарію).

Після виконання тестового сценарію в консолі відображається статистика проходження тестів по кожному тестовому випадку та підсумкові значення кількості позитивних та негативних результатів тестів. У разі невдалого завершення тестових сценаріїв система наводить детальний опис відповідної помилки.

Приклад реалізації та практичне дослідження

В результаті практичного дослідження була розроблена та реалізована система шаблонів тестових сценаріїв для автоматизації тестування веб-додатків типу «інтернет-магазин». Приклад застосування даних тестових сценаріїв системи шаблонів наведено для магазину, що знаходиться за адресою: <https://tochkazp.com.ua>.

Можна виділити наступні шаблони тестових сценаріїв, що відображають функціональні вимоги до веб-додатку (на прикладі предметної області інтернет-магазину), наведено в табл. 1. У табл. 2 наведено деякі з визначених операторів для тестування інтернет-магазинів. Приклад декількох типових параметрів зі словника проекту для інтернет-магазину наведено в табл. 3.

Таблиця 1

Шаблони тестових сценаріїв

Назва сценарію	Опис сценарію
test_catalog	Тестування коректності відображення сторінок каталогу та наявності всієї інформації про товари
test_catalog_filter	Тестування системи фільтрів і сортувань в каталозі товарів
test_cart	Тестування можливості додавання товарів в кошик та зміни кількості товарів в кошику
test_order	Тестування системи замовлень товару з різними параметрами доставки, оплати, контактними даними
test_registration	Тестування системи реєстрації, авторизація, відновлення паролів
test_profile	Тестування сторінок профілю користувача

Таблиця 2

Оператори системи

	Оператор	Опис оператора
Оператори переходу	goto_index	Перехід на головну сторінку магазину
	goto_category	Перехід на сторінку категорії товарів
	goto_product_page	Перехід на сторінку товару
	goto_cart	Перехід на сторінку перегляду вмісту кошика
	goto_order	Перехід на сторінку оформлення замовлення
	goto_login	Перехід на сторінку авторизації
	goto_profile	Перехід на сторінку профілю
Оператори дії	auth_login	Вхід на сайт
	auth_logout	Вихід з сайту
	set_filter_price	Установка значень фільтра за ціною
	set_filter_select	Установка значення довільного фільтра зі списком вибору
	submit_filter	Застосування встановлених фільтрів
	cart_add_list	Додавання товару в кошик в списку товарів
	cart_add_page	Додавання товару в кошик на сторінці товару
	cart_remove	Видалення товару з кошика
	order_fill_contact	Заповнення контактної інформації на сторінці оформлення замовлення
	order_fill_payment	Заповнення інформації про спосіб оплати на сторінці оформлення замовлення
	order_fill_delivery	Заповнення інформації про спосіб доставки на сторінці оформлення замовлення
	order_submit	Відправка даних про замовлення
Оператори перевірки	check_product_list_item	Перевірка структури даних про товари на сторінках зі списком товарів
	check_product_page	Перевірка структури даних про товар на сторінці товару
	check_cart_update	Перевірка зміни кількості товарів в кошику
	check_order_success	Перевірка наявності повідомлення про успішне оформлення замовлення
	check_auth	Перевірка стану авторизації

Таблиця 3

Параметри із словника проекту

Параметр	Опис
ELEMENT_LIST_PRODUCT	Селектор блоку товару в списку товарів
ELEMENT_LIST_PRODUCT_PRICE	Селектор елемента з ціною товару в списку товарів
FILTER_AVAILABLE	Ознака використання в поточному проекті фільтрів по параметрам
FILTER_PRICE_FROM	Селектор елемента управління фільтром за ціною (нижній поріг)
FILTER_PRICE_TO	Селектор елемента управління фільтром за ціною (верхній поріг)
FILTER_FORM	Селектор форми з фільтрами
FILTER_SUBMIT	Селектор кнопки застосування параметрів фільтрів
CART_COUNT	Селектор блоку з даними про кількість товарів у кошику
CART_LINK	Селектор посилання на сторінку з вмістом кошика

Для нового проекту вхідними даними для розробленої системи автоматичного тестування є файл словника проекту. Словник керує поведінкою тестових сценаріїв: визначає які функціональні вимоги підлягають тестуванню, параметри доступу до управляючих елементів інтерфейсу користувача та очікувані результати проходження тестів.

Вихідними даними системи тестування є звіт про проходження тестових сценаріїв. Звіт формується в кількох форматах: спливаюче повідомлення в інтерфейсі IDE PyCharm, лог тестів в консолі IDE або у вигляді файлів, в разі запуску системи тестування з передачею спеціальних параметрів. На рис. 6 наведено приклад виконання тестового сценарію, що складається з 3-х тестових випадків. Результат пере-

вірки кожного тестового випадку відображається крапкою у випадку вдалого проходження, чи літерою «F» (від англ. Fail) – у разі невиконання умов тестового випадку. Також для невдалого тесту відображається детальний опис місця виникнення помилки. Крім наведеного прикладу тестування інтернет-магазину <https://tochkazp.com.ua> тестуванню підлягали ще два проекти з розробки інтернет-магазинів, що на даний час ще не введено в експлуатацію, а знаходяться на етапі реалізації. Як було відзначено, особливістю проектів з розробки веб-додатків є багаторазове повторення типових рішень, які мають досить схожий функціонал і відрізняються візуальним представленням та користувацьким інтерфейсом. Це дозволило авторам запропонувати концепцію побу-

дови універсальних шаблонів для автоматичного тестування. Для запропонованої концепції було розроблено метод побудови ієрархічної структури універсальних шаблонів тестування предметної області, обрано сучасну програмну платформу для реалізації, розроблено архітектуру системи автоматичного тестування та виконано розробку системи шаблонів автоматичних тестів. Робота створеної системи досліджена на прикладі тестування інтернет-магазинів. В результаті експериментального дослідження визначено, що використання розробленої системи дозволяє скоротити витрати часу на тестування веб-додатку у 8–10 разів в порівнянні з ручним тестуванням. Розроблені шаблони тестування є універсальними і можуть

адаптуватися під різні реалізації інтернет-магазинів згідно з конкретними параметрами проектів. Отримані результати свідчать про практичну значимість виконаної розробки і доцільність подальших досліджень в даному напрямку.

Подальші кроки розвитку даної системи можуть бути спрямовані на вдосконалення системи побудови звітів про проходження тестів на основі аналізу відгуків та потреб реальних користувачів системи. Також в процесі введення в експлуатацію може бути розширена система операторів ядра системи після отримання більшого обсягу інформації про статистику використання неврахованих в процесі розробки поширених модулів і функцій в даній предметній області.

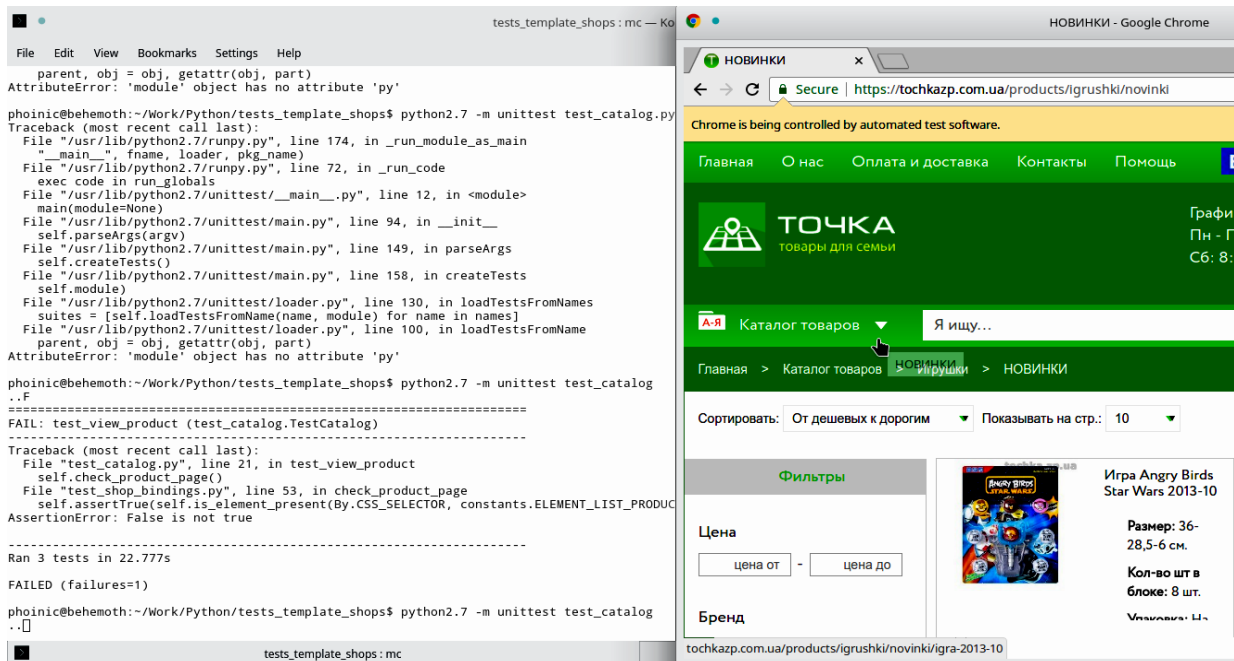


Рис. 6. Приклад роботи системи автоматичного тестування

Висновки

В роботі розглянуто актуальне на сьогоднішній день завдання автоматичного тестування веб-додатків. Проведений огляд сучасних програмних засобів та методів автоматизації тестування веб-додатків показав, що одним з невирішених питань в цій галузі є спрощення та прискорення процесу генерації тестових сценаріїв. Найбільш поширеним підходом до цього питання є тестування на основі моделей. Однак існуючі методи направлені на побудову окремих моделей для кожного нового проекту. Такий підхід не є раціональним з точки зору використання ресурсів для ІТ-компаній, які регулярно виконують типові веб-проекти. Визначені особливості дозволили запропонувати концепцію шаблонів автоматичного тестування предметної області.

В роботі розроблено метод побудови ієрархічної структури універсальних шаблонів тестування предметної області. Ці шаблони можна повторно використовувати та швидко адаптувати під будь-який типовий проект розробки веб-додатків в зада-

ній предметній області. Розроблений метод використовує структуру, яка є моделлю, де враховуються функціональні вимоги до веб-додатків обраної типової предметної області та налаштування для конкретної реалізації. Така ієрархічна структура успадкованих тестових сценаріїв поділяється на узагальнене ядро та змінну частину, яка називається словником. Кінцеві тестові набори сценаріїв автоматично генеруються після налаштування під конкретний проект нижнього рівня ієрархічної моделі.

За результатами аналізу можливостей сучасних засобів автоматизації тестування програмного забезпечення було обрано оптимальну платформу для реалізації системи автоматичного тестування з використанням запропонованого методу. Розроблена система використовує вільний фреймворк для тестування веб-додатків Selenium в поєднанні з мовою програмування Python та фреймворк тестування юнітів Python Unittest. Розроблена система є цілком працездатною та дозволяє прискорити процес генерації тестових сценаріїв завдяки запропонованому методу. Створені шаблони дозволяють моделювати функціо-

нальні вимоги предметної області веб-додатку у вигляді наслідуваної ієрархічної структури.

Для практичного дослідження розробленого методу було вирішено прикладне завдання тестування інтернет-магазинів. Проведене дослідження показало практичну значимість запропонованої концепції через скорочення витрат часу на складання тестів і проведення тестування веб-додатків. Розроблена система автоматичного тестування є легкою в використанні для фахівців в області забезпечення якості: налаштування шаблонів під проект та генерація тестових сценаріїв є простим та зручним для користувачів.

Список літератури

1. Li, Y. F. Two decades of web application testing – A survey of recent advances [Text] / Y. F. Li, P. K. Das, D. L. Dowe // *Information Systems*. – 2014. – Vol. 43. – P. 20–54.
2. Sampath, S. Advances in web application testing, 2010-2014 [Text] / S. Sampath, S. Sprenkle // *Advances in Computers*. – 2016. – Vol. 101. – P. 155–191.
3. Dogan, S. Web application testing: A systematic literature review [Text] / S. Dogan, A. Betin-Can, V. Garousi // *Journal of Systems and Software*. – 2014. – Vol. 91. – P. 174–201.
4. Monier, M. Evaluation of automated web testing tools [Text] / M. Monier, M. M. El-mahdy // *International Journal of Computer Applications Technology and Research*. – 2015. – Vol. 4, Issue 5. – P. 405–408.
5. Kumar, Y. Comparative study of automated testing tools: Selenium, SoapUI, HP Unified Functional Testing and Test Complete [Text] / Y. Kumar // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. – 2015. – Vol. 2, N. 9. – P. 42–48.
6. Garousi, V. A systematic mapping study of web application testing [Text] / V. Garousi, A. Mesbah, A. Betin-Can, S. Mirshokraie // *Information and Software Technology*. – 2013. – Vol. 55, Issue 8. – P. 1374–1396.
7. Rafique, N. Model based testing in web applications / N. Rafique, N. Rashid, S. Awan, Z. Nayyar // *Int. Journal of Scientific Eng. and Research*. – 2014. – Vol. 2, Issue 1. – P. 56–60.
8. Tung, Y. H. A novel approach to automatic test case generation for web applications [Text] / Y. H. Tung, S. S. Tseng, T. J. Lee, J. F. Weng // *10th International Conference on Quality*. – 2010. – P. 399–404.
9. Garcia, B. Automated functional testing based on the navigation of web applications [Text] / B. Garcia, J. C. Duenas // *Proceedings of the 7th International Workshop on Automated Specification and Verification of Web Systems, EPTCS 61*. – 2011. – P. 49–65.
10. Liu, C. H. Object-based data flow testing of web applications [Text] / C.H. Liu, D.C. Kung, P. Hsia // *Proc. of First Asia-Pacific Conference on Quality Software*. – 2000. – P. 7–16.
11. Kung, D. C. An object-oriented web test model for testing Web applications [Text] / D.C. Kung, C.H. Liu, P. Hsia // *Twelfth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*. – 2000. – P. 537–542.
12. Li, L. A UML-based approach to testing web applications [Text] / L. Li, H. Miao, Z. Qian // *Int. Symp. on Computer Science and Comp. Technology*. – 2008. – P. 397–40.
13. Suhag, V. Model based test cases generation for web applications [Text] / V. Suhag, R. Bhatia // *International Journal of Computer Applications*. – 2014. – Vol. 92. – P. 23–31.
14. Andrews, A. Testing web applications by modeling with FSMs [Text] / A. Andrews, J. Offutt, R. Alexander // *Software and System Modeling*. – 2005. – Vol. 4, n. 3. – P. 326–345.
15. Qian, Z. Towards testing web applications: a PFSM-based approach / Z. Qian, H. Miao // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vol. 1. – P. 220–224.
16. Kalaji, A.S. An integrated search-based approach for automatic testing from extended finite state machine (EFSM) models / A.S. Kalaji, R.M. Hierons, S. Swift // *Information and Software Technology*. – 2011. – Vol. 53. – P. 1297–1318.
17. Satheesh, A. Comparative study of open source automated web testing tools: Selenium and Sahi [Text] / A. Satheesh, M. Singh // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2017. – Vol. 10(13). – P. 1–9.

Надійшла до редколегії 14.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.В. Бодяньський, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ПРИМЕНЕНИЕ ШАБЛОНОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРОЕКТАХ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

С.Г. Удовенко, Н.А. Миронова, Т.В. Федорончак, К.К. Верещак

Предложен метод построения иерархической структуры многоцветных универсальных тестовых шаблонов для заданной предметной области. Предложенные шаблоны используются для генерации тестовых сценариев и могут быстро адаптироваться к любому типовому проекту. Разработана система автоматического тестирования, основанная на современном фреймворке Selenium в сочетании с языком Python и библиотекой тестирования Python unittest. Проведенное исследование показало практическую значимость нового метода генерации тестовых сценариев благодаря сокращению затрат времени на составление тестов и проведения тестирования.

Ключевые слова: система автоматического тестирования, веб-приложение, генерация тестовых сценариев, тестирование на основе моделей

USE OF AUTOMATED TESTING TEMPLATES FOR WEB APPLICATIONS DEVELOPMENT PROJECTS

S.G. Udovenko, N.O. Myronova, T.V. Fedoronchak, K.K. Vereschak

A specific feature of web application development projects is the multiple repetition of typical solutions that have rather similar functionality and differ in their visual representation and user interface. This has allowed proposing the concept of universal templates for automated testing system. The purpose of the work is to develop a method for constructing a hierarchical structure of reusable universal testing templates for given subject area, which can quickly adapt to any typical project. The proposed method can be referred to as model based testing technique, since the proposed templates model the functional requirements of the subject area of the web application in the form of the inherited hierarchical structure. The developed automated testing system is based on the up-to-date Selenium and Python unittest frameworks and uses developed method of hierarchical structure of reusable universal testing templates for generation of test scenarios. The conducted research showed the practical significance of the proposed concept through the speed-up and reduction of time and human resources costs for the preparation of tests and their conduction.

Keywords: automatic test system, web application, test cases generation, model based testing.

УДК 004.891

И.В. Шостак¹, М.А. Данова¹, Р.Б. Капитан²¹ *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*² *Черкасский государственный технологический университет, Черкассы*

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА СОЗДАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ВИРТУАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Описана специализированная инструментальная среда в форме мультиагентной системы (МАС) для создания и развертывания интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений (ИЭСППР) при управлении виртуальными производственными предприятиями. МАС ИЭСППР имеет в своем составе инструментарий инженерии знаний, предназначенный для создания онтологической системы, и программный инструментарий, предназначенный для разработки новых модулей расширения исполняющей системы. Показано, что механизмы исполнения МАС ИЭСППР достаточно эффективны и мало зависят от количества потоков исполнения, при этом особенностями данной инструментальной среды являются наличие виртуальной памяти и, в случае использования агентами процессов на основе системных объектов fibers, возможность управления размером выделяемого приложению виртуального адресного пространства.

Ключевые слова: инструментальная среда, программный комплекс, мультиагентная система, поддержка принятия решений, экспертная система, онтологическая система, виртуальное производственное предприятие.

Введение

В [1] была предложена структура специализированной инструментальной среды в форме мультиагентной системы (МАС) для создания и развертывания интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений (ИЭСППР), разработанной для автоматизации процесса управления виртуальными производственными предприятиями.

Разработанная среда включает в себя два программных комплекса: инструментарий инженерии знаний, предназначенный для создания онтологической системы, и программный инструментарий, предназначенный для разработки новых модулей расширения исполняющей системы. В ряде случаев разработчик может создать новую систему, не прибегая к программированию, и лишь создавая новую онтологию для решения задачи и используя существующие модели агентов и предлагаемые методы их взаимодействия [1].

Инструментарий инженерии знаний включает в себя конструктор онтологий, систему извлечения знаний, интегратор знаний и систему понимания текста на ограниченном естественном языке (языке деловой прозы). Каждая из указанных систем, в свою очередь, строится как мультиагентная система, имеющая собственную онтологию и средства диалога.

Особое значение для работы пользователей имеет конструктор онтологий, позволяющий описывать понятия и отношения, существующие в заданной предметной области [2]. При этом пользователю обеспечивается возможность графического создания онтологии из базовых концептов, включая объекты, свойства, процессы, отношения и атрибуты. Специальные средства визуализации разработаны для

построения агентов мира потребностей и возможностей, задания условий матчинга между ними и критериев принятия решений [1].

В отличие от известных мультиагентных систем, реализуемых, как правило, на основе Java-классов [3], в данной разработке изначально был взят курс на создание собственной среды функционирования агентов, способной гарантировать системе высокую производительность, необходимую для промышленных применений.

Созданная инструментальная среда МАС ИЭСППР специализирована для построения мультиагентных систем для моделирования процессов принятия решений. На основе этого инструмента был впервые реализован метод компенсаций и построены мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений в задачах управления транспортной и производственной логистикой, управления проектами и ряде других. Рассматриваемая инструментальная среда предназначена для построения МАС ИЭСППР коллективного взаимодействия в сети Интернет, реализуемого в реальном времени. Эта система отличается высокой гибкостью и возможностью работы в реальном времени и может применяться также для создания систем электронной коммерции, интегрированных Интернет-порталов, систем дистанционного обучения и других мультипользовательских приложений. В МАС ИЭСППР реализован метод виртуальных «круглых столов» и обеспечена возможность пополнения онтологии и синтеза новых правил работы агентов «на лету».

Цель статьи состоит в описании инструментария программиста для создания специализированных программных компонентов, состоящий из расширяемого набора библиотек программ. Рассмотрен

ные компоненты в целом составляют набор дополняющих средств, призванных упростить, ускорить и удешевить разработку МАС ИЭСППР для конкретных производственных предприятий.

1. Описание структуры исполняющей системы МАС ИЭСППР

Наиболее известные программные агенты в основном используются для поиска информации в сети. Последние обычно называются 'bots' или 'spiders' [4] и функционируют, как правило, независимо. Поскольку указанные агенты перемещаются по сети, то их серьезной проблемой также является наличие систем безопасности, которые как правило не допускают чужие программы на сервер.

Разрабатываемые в рамках МАС ИЭСППР агенты «живут» на Интернет- или локальном сервере виртуального производственного предприятия и никуда не перемещаются. Агенты способны воспринимать информацию из виртуальной среды и принимать решения, а также коммуницировать с другими агентами. Главные особенности разработанной системы связаны с наличием развитых средств поддержки коммуникации и переговоров агентов, а также возможностями построения на основе онтологической системы баз знаний, содержащих описания понятий и отношений предметной области в форме семантических сетей (традиционные программные объекты не имеют возможности работать с собственными описателями).

Еще одной особенностью МАС ИЭСППР является наличие «вложенных» агентов (агентов, способных «жить» внутри других агентов), что позволяет ограничить «область видения» агента и сделать более эффективной систему их коммуникации. При этом сообщение приходящего на «составного» агента может немедленно поступать всем его «жителям» и наоборот. При этом с каждым «составным» агентом может быть связан свой собственный мир, в котором собственно и могут взаимодействовать «внутренние» агенты. Естественно, что агенты могут свободно «переезжать» из одного мира в другой, из одного составного агента – в другой.

Типичным примером мира агентов является виртуальный рынок логистической компании. Номенклатура агентов на этом рынке включает агентов покупателей и продавцов, товаров и заказов, складов и транспорта. Вместо «физических» законов взаимодействия объектов здесь действуют сценарии переговоров агентов, посвященные поставке продукции в срок, достижению скидок постоянным покупателям или вследствие оптовой покупки и т.д. Объектами этого мира могут являться деньги, документы и т.п. На основе этого мира могут быть построены системы

е-коммерции, логистики и многие другие. Для пользователя любой мир представляется сценами, описывающими состояния агентов и объектов мира в каждый момент времени.

В разработанном подходе к созданию инструментальной среды МАС ИЭСППР все перечисленные знания из предметной области могут быть отделены от программного кода и сосредоточены в отдельных описаниях. Вместе с тем, в рассматриваемой системе в целях эффективности реализации, онтология предметной области может быть реализована и в программном коде.

Исполняющая система включает в себя подсистему параллельного исполнения агентов, подсистему коммуникаций агентов, подсистему поддержки онтологии, подсистему формирования интерфейса, сервисную подсистему. Рассмотрим более подробно две основные подсистемы: подсистему параллельного исполнения агентов и подсистему коммуникации агентов. Подсистема параллельного исполнения агентов по своей сути представляет собой Диспетчер процессов, связанных с каждым агентом в сцене (рис. 1). При этом каждому процессу сцены в данной подсистеме последовательно выделяется некоторый квант времени для исполнения. Длительность этого кванта переменная и зависит от того, где находится в программе агента пользователя следующий системный вызов, т.е. от вызова до вызова любой функции подсистемы. Пользователь может также принудительно разбить свою программу на блоки (размещая там специальные вызовы), которые будут обеспечивать прерывание работы программы и передачу управления на другие параллельные процессы. Процесс может и явно передавать управление другими процессам, что гарантирует агентам возможность взаимодействия как по прерыванию, так и по времени.

Все процессы внутри одного агента в целом работают параллельно и синхронизируются передачей сообщений. При этом в каждый момент времени у одного агента исполняется только один процесс (иначе его общий атрибут одновременно мог бы быть изменен несколькими процессами). Все получаемые на агента сообщения передаются процессам агента. Разделение сообщений между процессами происходит по типу сообщений, явно указываемом в

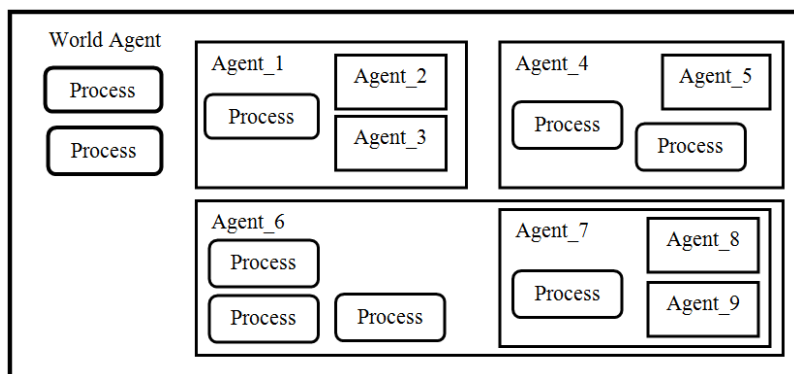


Рис. 1. Внутреннее представление сцены мира сообществом агентов

филт্রে в каждом процессе. При этом сообщения играют роль важных событий, запускающих процессы. Порядок же исполнения процессов внутри одного агента определяется приоритетами процессов: процессы с более низкими приоритетами никогда не исполняются, пока активен процесс с более высоким приоритетом. Если существуют несколько процессов с одинаковыми приоритетами, то они исполняются по очереди. В расчете на последующее реальное многомашинное взаимодействие разработанный диспетчер создан не централизованным, а полностью распределенным. Фактически, для каждого агента создается своя копия полнофункционального диспетчера, который занимается его процессами. В результате диспетчеры образуют дерево процессов, в котором имеются «корень», «узлы» и «листья». Здесь «листья» сопоставляются с процессами, т.к. процесс не может содержать в себе другие процессы, «узлы» сопоставляются с агентами, а агент мира сопоставляется с «корнем» дерева, привязываемым к операционной системе (что собственно и отличает агента мира от других агентов).

В настоящий момент в MAC ИЭСППР поддерживается три типа «листьев» (процессов) – основанные на системном объекте fiber. Каждый из описанных типов процессов достаточно специфичен и создает для себя свой тип «листа», обеспечивая возможность согласованной работы столь различных компонент. В результате, процессы могут быть построены как компилированные процедуры, дающие наибольшую скорость работы, так и интерпретируемый набор инструкций.

«Корень» дерева процессов является точкой сопряжения с механизмами диспетчеризации операционной системы (ОС) и с системой управления, через которую пользователь контролирует исполнение (запуск, останов, пошаговая работа и пр.). Именно от этого «корня» начинается работа системы исполнения и каждого агента/процесса. В случае ОС Windows в корне находится пул нитей Windows и система балансировки нагрузки на нити.

Важной особенностью подсистемы является то, что «дерево», за исключением своего «корня» и некоторых типов «листьев» (fiber-based процессы),

является независимым от структуры ОС. Поэтому процесс портирования под другие ОС (в случае наличия соответствующего компилятора) состоит из замены «корня» и переработки или удаления ОС-специфичных «листьев».

Подсистема коммуникации агентов обеспечивает возможность идентификации агентов и обмена сообщениями в ситуациях, присущих открытым системам. Для взаимодействия агентов в MAC ИЭСППР использован подход, применяемый в распределенных системах, который состоит в том, что на самого агента не может быть прямых ссылок, для этого существует специальный объект-связь AgentNexus, который в себе несет ссылку на агента. Ссылки на AgentNexus выполнены на основе COM интерфейса IAgentNexus, таким образом в каждый момент времени известно, используется ли этот объект кем-то еще. AgentNexus агрегируется агентом (т.е. возвращает IUnknown агента). При этом, все интерфейсы, принадлежащие самому агенту являются блокирующими уничтожение, но их использование строго ограничено. В случае уничтожения агента, объект AgentNexus не уничтожается, если на него существуют ссылки, но перестает быть агрегированным, т.е. самостоятельно обслуживает IUnknown. Таким образом, в MAC ИЭСППР подсистема коммуникаций обеспечивает взаимодействие агентов только посредством передачи сообщений (в последующем будет создана система органов чувств агентов). В сообщениях идентификаторами агентов выступают объекты связи агентов, а не сами агенты. Если агент существует на одной машине, но взаимодействует с агентами на других машинах, то там создаются его объекты-связки, с информацией, о том, куда же в действительности пересылать ответные сообщения. Регистрация сообщений выполняется один раз при инициализации системы. Регистрация состоит из двух этапов, в начале регистрируется имя и код сообщения (уникальный числовой номер), а также наборы параметров, которые можно использованы с данным кодом. Регистрируемые наборы параметров должны быть уникальны (с учетом совместимости параметров) в пределах одного кода сообщения. Параметры сообщения могут следующие типы, описанные в табл. 1.

Таблица 1

Типы данных в разработанной мультиагентной системе

Тип данных	Описание типа
Integer	Целое число, в качестве ограничения можно задать диапазон
Int64	Целое число 64 бита (ID)
Float	Число с плавающей точкой, в качестве ограничения можно задать диапазон
Class	Ссылка на класс, в качестве ограничения можно задать родительский класс
Object	Указатель на объект, в качестве ограничения можно задать родительский класс объекта
Agent	Идентификатор или прямой указатель на агента, в качестве ограничения можно задать родительский класс
Interface	Ссылка на произвольный интерфейс
Message	Ссылка на другое сообщение
Boolean	Булево значение
DateTime	Абсолютная или относительная дата (по стандарту OLE2)
Currency	Число с фиксированной точкой, для денежных операций
String	Строка

При заданні параметра повідомлення також можна вказати, допустимо чи ні замість значення параметра передавати NULL (відсутність значення). Крім цього, для типів Class, Object, Agent, Interface, Message можна вказати допустимість передачі значення nil (порожній вказувач). Крім параметрів, повідомлення несе в собі наступну інформацію: код повідомлення, номер набору параметрів, порядковий номер повідомлення (унікальний номер для кожного створеного в системі повідомлення), порядковий номер повідомлення, явившогося причиною даного. Один із способів застосування даного поля, це обробка відповідей від групи агентів, інформація про отримувача/отримувачів.

Кожний процес агента має чергу входять повідомлень і фільтр, контролюючий те, які повідомлення потрапляють до нього в чергу. Фільтрація повідомлень можлива за кодом повідомлення, по відправителю і по номеру повідомлення-причини. Останнє використовується при отриманні декількох відповідей на один запит, для цього запам'ятовується унікальний номер повідомлення запитання, після чого всі повідомлення, у яких даний номер стоїть як номер повідомлення-причини, вважаються відповідями.

В якості адресатів при відправці повідомлення можуть бути вказані: конкретний агент, список агентів, клас агентів.

2. Особливості програмної реалізації MAC ІЄСППР

MAC ІЄСППР представляє собою конструктор онтології і готова до виконання виконувальна система, включаючи програму-оболочку з контрольним прикладом з області логістики, набір бібліотек базових програм для створення прикладних систем користувача і комплектом документації. Користувач системи може не тільки створювати нові онтології, але і додавати модулі до базових бібліотекам для створення нових можливостей (наприклад, нових типів деяких об'єктів і агентів) і розширення інтерфейсу. При цьому бібліотеки користувача і модулі інтерфейсу можуть поповнюватися і модернізуватися динамічно «на лету», без повної перекомпоновки системи (що дозволяє в наступному при створенні нових версій надіслати користувачам тільки зміни через Інтернет, не надіславши всю нову версію прикладної системи цілком). Набір базових бібліотек MAC ІЄСППР включає в себе перелічені нижче компоненти:

А. Бібліотеки виконання:

- MagentACorePackage.bpl – основна бібліотека виконання. Містить в собі менеджер розширень ядра, систему диспетчеризації, систему повідомлень і оголошення базових типів агентів. В склад входять 29 модулів і 15800 рядків коду.

- MagentACore.dll – бібліотека, яка забезпечує підключення агентного ядра до підсистем його використовуваних, наприклад до системи під-

тримки візуалізації. Головна задача цієї бібліотеки – відновити зв'язок інтерфейсу з MagentACorePackage.

- MagentACommonPackage.bpl – містить систему уніфікованого збереження/відновлення об'єктів, оголошення базових типів списків, сервісні функції. В її склад входять 13 модулів і 13700 рядків коду.

- MagentADsgnPackage.bpl – включає в себе редактори атрибутів, які можуть бути використані в AgentInspector і службові функції, використовувані при збереженні станів візуальних елементів інтерфейсу. Ці компоненти і функції не залежать від інших бібліотек MAC ІЄСППР, крім MagentACommonPackage. В склад входять 8 модулів і 6000 рядків коду.

- MagentAWeakPackage.bpl – містить константи і типи, спільно використовувані бібліотеками виконання і бібліотеками підтримки візуалізації. В основному це коди повідомлень і структури даних, якими обмінюються ці підсистеми. В склад входять 7 модулів і 800 рядків коду.

Б. Бібліотеки підтримки візуалізації:

- MagentAIntfPackage.bpl – один із варіантів реалізації управління ядром. Використовується як посередник для взаємодії з MagentACore.dll. Має вбудовану систему підтримки розширень візуалізації і уніфіковану систему управління ресурсами для візуалізації агентів, а також систему опосередкованого взаємодії розширень. В склад входять 15 модулів і 8000 рядків коду.

- UniIntfPackage.bpl – бібліотека базових форм і сервісних функцій, використовуваних при створенні розширень візуалізації для UniIntf. Данна бібліотека включає в себе 5 модулів (1000 рядків коду), що містять 3 візуальні компоненти (TStreamableObjectInspector, TIntfMenuAction, TAgentIntfAction) і два шаблони форм (TFormBasicToolWindow і TFormAgentViewTemplate). Причина їх виділення в окрему бібліотеку полягає в необхідності спільного використання даних компонентів і шаблонів UniIntf і візуальних розширень. Модулі даної бібліотеки забезпечують уніфіковану візуалізацію вихідних даних для агентів і результатів їх роботи.

- AgentInspector – дає можливість переглядати в вигляді дерева поточну сцену і інформацію про агента (значення атрибутів, списки малих агентів, списки процесів) і змінювати значення атрибутів. Можливості AgentInspector'a, являючогося розширенням стандартної системи візуалізації, можуть бути доповнені іншими розширеннями. В склад входять 8 модулів і 1700 рядків коду.

- MessageLog – завантаження цього розширення активізує систему перехвату повідомлень в ядрі, в її склад входять 7 модулів і 2600 рядків коду.

- HoneyCombs – варіант представлення сцени в вигляді агентів, розташованих на шестигранних

сотах, она также является расширением базовой библиотеки визуализации, 3 модуля, 800 строк кода.

- Набор компонент для Delphi10 для поддержки работы пользователя на этапе создания прикладных программ. Состоит из 9 модулей и 3500 строк кода.

В состав системы входит также стандартный модуль Unilntf.exe – унифицированный визуальный интерфейс для управления и использования агентного ядра, в его состав входят 22 модуля и 7000 строк кода. Система выполнена на основе Delphi 10 Seattle. Использует динамическую библиотеку компонент dcstd5.bpl, созданную на основе одноименной библиотеки, лицензированной у фирмы Dream Company. Система функционирует в среде Windows 7, 8, 10E. Разработанная инструментальная среда применялась при разработке мультиагентной системы управления виртуальным производственным предприятием [5].

Выводы

1. Разработанная система обеспечивает возможность работы с 500 000 агентов без значительной деградации по сравнению с конфигурацией в 10 агентов. Таким образом, механизмы исполнения МАС ИЭСППР достаточно эффективны, мало зависят от количества потоков исполнения и по сравнению с механизмом нитей Windows обеспечивают поддержку гораздо большего числа агентов.

2. Особенностью МАС ИЭСППР является наличие виртуальной памяти и, в случае использования агентами процессов на основе системных объектов fibers, возможность управления размером выделяемого приложению виртуального адресного пространства. Если используются процессы на основе системных объектов fibers, то количество процессов ограничено 2000, что в случае использования одним агентом одного процесса дает ограничение 2000 агентов. Если же подобный тип процессов не

используется, то максимальное количество агентов зависит только от объема свободной виртуальной памяти и уже на персональном компьютере может достигать 200 - 300 тысяч (1 Мб примерно соответствует 1-3 тысячам агентов).

3. Важным достоинством МАС ИЭСППР является сохранение полного контроля за исполнением процессов за разработчиками системы, что позволяет в дальнейшем обеспечить пользователя разнообразными инструментами проектирования прикладных мультиагентных систем, легко перейти с одной платформы на другую, от однопроцессорных систем – к многопроцессорным и т.д.

Список литературы

1. Шостак, И.В. Программное обеспечение для комплексной автоматизации сборочного производства самолетостроительного предприятия [Текст] / И.В. Шостак // Системы обработки информации - X: ХУПС. - Вып. 7(105), 2012. – С. 262 – 269.
2. Шостак, И.В. Агрегация данных для формирования виробничих рішень на промислових підприємствах із використанням онтологічних систем [Текст] / И.В. Шостак, А.П. Собчак, Г. Фірсова, О. Кушнарченко // Траектория науки. – X., 2016. – Т. 2, №3(8). – С. 1-10.
3. Компьютеризация информационных процессов на промышленных предприятиях [Текст] / В.Ф. Сьтник, Х. Срока, Н.В. Еремينا и др. – К.: Техника, 1991. – 215 с.
4. Косенко, М.Ю. Метод идентификации ботнетов на основе многоагентного подхода [Текст] / М.Ю. Косенко, А.В. Мельников // Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж: Вестник ВГУ, 2015. - №2. – С. 89 – 96.
5. Собчак, А.П. Информационная технология синтеза интегрированной системы поддержки принятия решений на виртуальном приборостроительном предприятии [Текст] / А.П. Собчак, И.В. Шостак // ScienceRise. – X., 2016. - №3/2(20). – С. 54-58.

Надійшла до редколегії 11.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ВІРТУАЛЬНОМУ ВИРОБНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

І.В. Шостак, М.О. Данова, Р.Б. Капитан

Описано спеціалізоване інструментальне середовище у формі мультиагентної системи (МАС) для створення і розгортання інтегрованої експертної системи підтримки прийняття рішень (ІЕСППР) при управлінні віртуальними виробничими підприємствами. МАС ІЕСППР має в своєму складі інструментарій інженерії знань, призначений для створення онтологічної системи, і програмний інструментарій, призначений для розробки нових модулів розширення виконуючої системи. Показано, що механізми виконання МАС ІЕСППР досить ефективні і мало залежать від кількості потоків виконання, при цьому особливостями даного інструментального середовища є наявність віртуальної пам'яті і, в разі використання агентами процесів на основі fibers, можливість управління розміром віртуального адресного простору, який виділяється застосунку.

Ключові слова: інструментальне середовище, програмний комплекс, мультиагентна система, підтримка прийняття рішень, експертна система, онтологічна система, віртуальне виробниче підприємство.

INSTRUMENTAL ENVIRONMENT FOR CREATING A MULTI-AGENT EXPERT SYSTEM SUPPORTING DECISION MAKING IN A VIRTUAL INDUSTRIAL ENTERPRISE

I.B. Shostak, M.O. Danova, R.B. Captain

A specialized tool environment in the form of a multi-agent system (MAS) is described for the creation and deployment of an integrated expert decision support system (IEDSS) in the management of virtual industrial enterprises. MAS IEDSS includes a knowledge engineering tool for creating an ontological system, and a software toolkit designed to develop new extension modules for the runtime system. It is shown that execution mechanisms MAS IEDSS are rather effective and depend on quantity of flows of execution a little, at the same time features of this instrumental environment are existence of the virtual storage and, in case of use by agents of processes on the basis of system objects of fibers, a possibility of control of the size of the virtual address space selected to application.

Keywords: instrumental environment, program complex, multiagent system, decision-making support, expert system, ontological system, the virtual industrial enterprise.

УДК 004.891

В.П. Гатило

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ІМІДЖУ ПІДПРИЄМСТВА НА РИНКУ ПРАЦІ

Проведено огляд публікацій, присвячених особливостям формування іміджевої політики підприємств в Україні. Запропоновано модель формування іміджу підприємства на ринку праці, у вигляді послідовності етапів і сукупності методів. Наведено базові елементи моделі формування іміджу підприємства на ринку праці для різних етапів співробітництва з корпорацією. Оцінку результативності формування іміджу на ринку праці запропоновано виконувати за чотирма напрямками: аналітичним, виробничим, інформаційним та управлінським. Наведено показники оцінки ефективності формування іміджу на ринку праці для кожного з запропонованих напрямків.

Ключові слова: модель формування іміджу підприємства, ринок праці, критерії оцінки ефективності роботи підприємства, комп'ютерна система оцінки ефективності формування іміджу підприємства.

Вступ

В умовах глобалізації значно зростає роль інформаційних технологій як важливого інструменту в підвищенні ефективності управління підприємствами, а саме формування іміджу підприємств на ринку праці. Важливе значення набуває дослідження питань впливу інформаційних технологій на розвиток сучасного суспільства в цілому та ринок праці зокрема.

Питання формування іміджевої політики підприємств зокрема знайшли висвітлення у роботах таких іноземних науковців: У. Аренса, Дж. Берета, К. Бове, Ф. Котлера, С. Моріарті, П.А. Пименова, К. Ротцола, Ч. Сендіджа, У. Уельса, В. Фрайбургера. Серед вітчизняних фахівців цікавими є дослідження А.В. Войчака, Т.І. Лук'янець, В.Ф. Оніщенко, Г.Г. Почепцова, Є.В. Ромата. Проблеми формування позитивного іміджу підприємства розглядаються у працях А.К. Семенова, В.О. Сизоненко, В.С. Лозниці, Ю.Н. Тулеєвої, І.В. Альошиної, В.Г. Зазикіна, Л.Е. Орбан-Лембрика, Е. Гоффмана, К. Болдинга та ін.

Проте питання визначення факторів впливу на формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці науковцями майже не досліджується і має фрагментарний характер [1–3].

Важливою проблемою в умовах розвитку ринкових відносин та здійснення структурних перетворень економіки є інформаційна взаємодія підприємств із зовнішнім середовищем. Основним завданням щодо її дослідження та практичного вирішення є пошук нових дієвих підходів, методів, процедур до побудови інформаційних повідомлень, їх передачі з метою створення позитивного іміджу підприємства.

У сучасних умовах розвитку комунікацій прогресивним напрямом вирішення цього завдання є використання сучасних інформаційних технологій і новітніх інструментів управління.

Мета даної статті полягає в описі моделі формування іміджу підприємства, що відкриває шлях до переходу від евристичних процедур до комплексної комп'ютеризації процесу формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є поглиблення теоретичних засад, подальший розвиток і розробка методичних та науково-практичних рекомендацій щодо ефективного визначення факторів впливу на формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці. Для вирішення поставлених задач використано метод логічного узагальнення, метод узагальнення даних і порівняльного зіставлення.

В результаті рішення задачі буде створена модель формування іміджу підприємства на ринку праці, у вигляді послідовності етапів і сукупності методів. Реалізація зазначеної моделі дасть можливість підвищити ефективність за рахунок переходу від евристичних процедур до комплексної комп'ютеризації процесу формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці.

2. Модель формування іміджу підприємства на ринку праці

Можливість швидкої передачі інформації, здійснення міжконтинентальних договорів, щосекундні банківські трансакції – нові реалії, принесені впровадженням нових досягнень у сфері інформаційних технологій. Вперше про ефективність від використання інформаційних і комунікаційних технологій, які мають великий потенціал і можливості для здійснення швидкого економічного зростання, було офіційно задекларовано звітом Організації економічного розвитку та партнерства "Інформаційна економіка поза рекламою" в 2001 р., в якому зазначалась роль нових технологій для країн – членів організації [4]. Ринок праці - це динамічна

система, комплекс соціально-трудових відносин з приводу умов наймання, використання й обміну робочою силою на життєві засоби, включає в себе механізм самореалізації, механізм попиту та пропозиції і функціонує на основі інформації про зміну ціни праці (заробітної плати) [2].

В сучасних умовах розвитку інтернет-технологій успіх майже будь-якої комерційної діяльності залежить від роботи з інформацією у веб: збір інформації, аналіз і подолання конкурентів, підтримка власного іміджу (підприємства, організації, бренду).

Імідж організації — сукупне сприйняття конкретного підприємства споживачами, діловими партнерами, громадськими організаціями, контактними аудиторіями та персоналом [3]. Оскільки соціальним медіа характерна самоорганізація, то вони майже не контролювані і не передбачувані [4]. Крім того, у зв'язку з великою кількістю медіа джерел та людей, які приймають участь в створенні контенту, своєчасне відстеження згадувань організації є актуальною і складною проблемою для бізнесу. Соціальні мережі стали чимось більшим, ніж просто місцем, де діляться інформацією, спілкуються і проводять свій вільний час. У наш час соціальні мережі починають набувати реальну силу, здатну сколихнути світові фінансові ринки.

Поняття іміджу активно використовується в політиці, маркетингу й інших науках, пов'язаних з масовими комунікаціями. Відповідно прообразу існує кілька видів іміджу: персональний (імідж політика), предметний (імідж товару), груповий імідж (корпоративний імідж, імідж партії) і т.д. [3]

У напрямку розуміння іміджу тільки як виду соціального управління звичайно дослідження мають прикладний характер, і тут виникають питання про маніпулятивний характер іміджу, про його об'єктивність.

Імідж може нести винятково маніпулятивний характер при відповідному вузькому розумінні іміджу як засобу створення якогось образу, що є бажаним. При більш широкому розумінні іміджу як образа-уяви, що має семіотичну складову, образну, когнітивну, атгійюдну, і питання його маніпулятивності знімається.

Підводячи підсумки огляду підходів до розуміння іміджу, можна зробити висновок про те, що безліч підходів до вивчення феномена іміджу підтверджує міждисциплінарну природу іміджу, актуальність його вивчення, і щоб одержати щирі картини іміджу необхідно враховувати всі підходи.

Корпоративний імідж підприємства на ринку праці має деякі властивості предметного іміджу й групового. Ми пропонуємо розглядати імідж на ринку праці як соціально-психологічне по походженню утворення, образ-уява, що існує на рівні, як окремої особистості, так і групи, що включає когнітивні, емоційно-оцінні й мотиваційні структури, що впливають на поведінку людей.

Доцільність діяльності з управління іміджем виникає у випадку, коли підприємство стикається з проблемою реалізації свого потенціалу за умов обмежених ресурсів. Наприклад – виробничого потенціалу, за умов обмеженого попиту. У випадку управління іміджем на ринку праці, йдеться про необхідність задоволення потреб у трудових ресурсах відповідної кількості та кваліфікації за умов їх дефіциту. В цьому випадку, додатковим засобом залучення необхідного персоналу є формування позитивного корпоративного іміджу на ринку праці.

Зазначимо, що до сьогодні проблематика формування іміджу підприємства на ринку праці в дисертаційних дослідженнях прямо не розглядалася. Зокрема, це пояснювалося об'єктивними причинами, коли ринок праці мав надлишок робочої сили. Однак, в останні передкризові роки, а також з закінченням кризи, все частіше підприємства зіштовхуються із проблемою, коли не зважаючи на значний відсоток безробіття, персонал високої кваліфікації стає дефіцитним ресурсом.

Модель формування іміджу підприємства на ринку праці мусить розрізнятися на різних етапах співробітництва з корпорацією.

Базові елементи даної моделі представлено на рис. 1. Модель ілюструє, що на етапі знайомства з корпорацією, найбільш значевими факторами іміджу є матеріальні складові, такі, як оплата праці та соціальні стандарти, але вже під час продовження співробітництва, на перший рівень виходять психологічні фактори та задоволеність працівників стандартами праці. На етапі формування партнерських стосунків, коли сформована лояльність до корпорації, відбувається зміна факторів мотивації, які мусять в свою чергу бути враховані в процесі формування іміджевої політики на ринку праці під час найому нових працівників. Формування іміджу підприємства на ринку праці йде по двох шляхах [3]:

1. Природний. До природного формування іміджу організації відносяться всі підсистеми соціального середовища організації, інформаційні потоки від яких слабо піддаються контролю з боку менеджменту організації.

2. Цілеспрямований. До цілеспрямованого формування внутрішнього іміджу ставляться візуальні, вербальні, ситуаційно-концептуальні конструкти. Тут інформаційні потоки ініціюються й контролюються менеджментом.

Комунікації відіграють найважливішу роль у формуванні внутрішнього іміджу організації. У сучасних умовах інформаційного суспільства вивчення комунікацій дуже актуально. Є різні сучасні розробки в закордонній і вітчизняній літературі (Ч. Барнард, А.Х. Сейтер, Г.М. Брум, А.Б.Звіринців, Г.Л. Тульчинський), когнітивний підхід у комунікаційних дослідженнях представлений дослідниками Р. Мертоном, Ф. Біокка, Т. Шефф, Дж. Маклеод, У. Шрамм, Дж. Грюнінг.

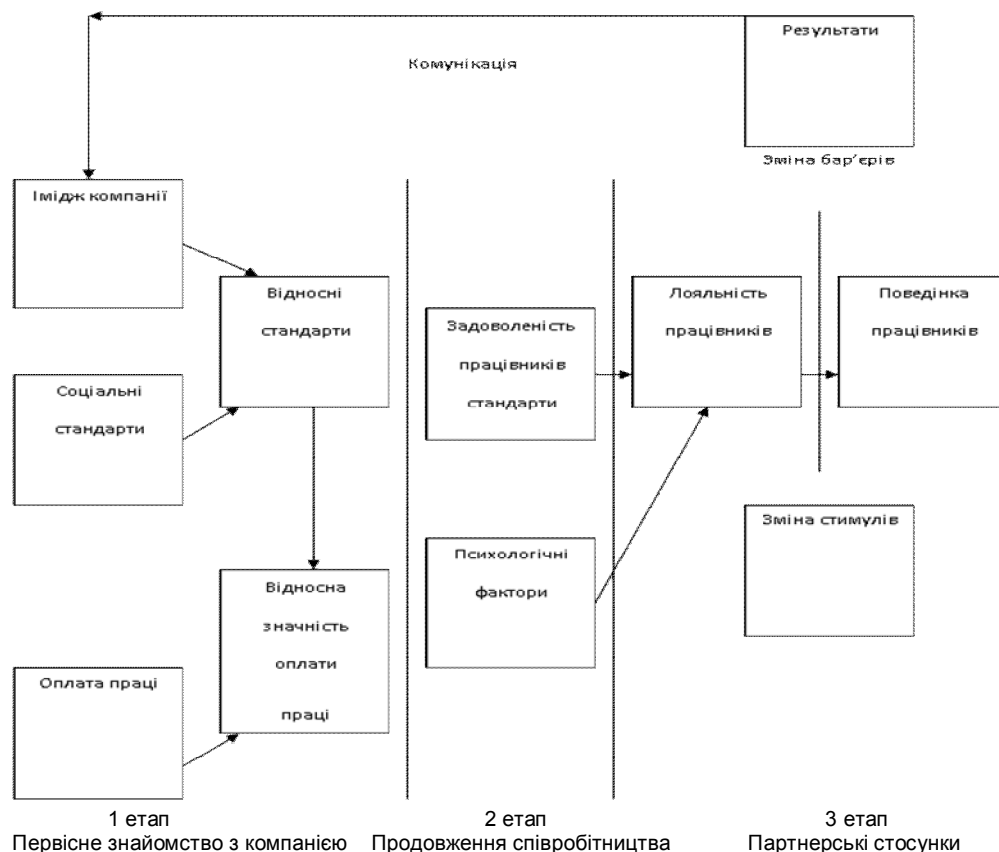


Рис. 1. Базові елементи моделі формування іміджу підприємства на ринку праці на різних етапах співробітництва з працівником

Комунікації пронизують організацію наскрізь, подібно кровоносній системі організму. Організаційні комунікації забезпечують реалізацію всіх основних функцій управління, відіграють найважливішу роль у досягненні єдиного розуміння працівниками цілей і завдань організації, підвищення рівня довіри у внутрішньому середовищі організації, а також забезпечення особистої залученості співробітників у процес організаційних змін. Але головне - за рахунок використання масиву внутріорганізаційної інформації в процесі соціального дискурсу - формують систему соціальних уявлень членів організації.

Оцінка результативності формування іміджу підприємства на ринку праці

На сьогодні, в літературі широко обговорюється питання про вибір критеріїв і показників які дозволяють оцінити ефективність роботи підприємства з ринком праці [5-7]. Процес оцінки результатів діяльності підсистеми маркетингу персоналу в контексті побудови сприятливого іміджу повинен бути систематичним, організованим, таким, що спрямований на зіставлення витрат і результатів, а також на зіставлення цих результатів із підсумками діяльності за базові періоди. Додатково, показником оцінки результативності діяльності на ринку праці є рівень відповідності поставлених цілей і завдань виконуваним функціям. Результати оцінки виступають як підсумкові індикатори, що дозволяють робити висновки про якість маркетингу персо-

налу підприємства в аспекті формування іміджу на ринку праці. Оцінка ефективності діяльності підприємства в аспекті створення сприятливого іміджу на ринку праці повинна враховувати особливості функціонування всієї кадрової системи підприємства. Практика свідчить, що зазвичай витрати на управління персоналом не перевищують 2,5 — 4 % операційного бюджету підприємства. До показників ефективності системи управління персоналом відносяться також параметри, що дають змогу визначити результативність формування іміджу на ринку праці.

Оцінку результативності формування іміджу на ринку праці пропонується виконувати за чотирма напрямками: аналітичним, виробничим, інформаційним та управлінським.

До показників аналітичної групи пропонується вносити наступні: коефіцієнт профільних штатних одиниць, коефіцієнт кількості профільних працівників, коефіцієнт питомої ваги фахівців, якісні характеристики яких відповідають вимогам підприємства, коефіцієнт текучості персоналу, коефіцієнт економічної привабливості праці на підприємстві, конкурсний коефіцієнт, що відбиває кількість претендентів на вакантні посади.

До показників виробничої групи ми пропонуємо відносити: коефіцієнт наявності кадрового резерву, коефіцієнт ефективності ендегенного підбору персоналу на вакантні посади, коефіцієнт екзогенного прийому працівників на вакантні місця,

ефективність задоволення потреби в персоналі, час реакції на першу співбеседу, час від прийняття рішення про прийом працівника до початку його роботи. В якості показника інформаційної ефективності роботи з формування іміджу на ринку праці слід використовувати ефективність різних джерел реклами.

Управлінську ефективність діяльності з формування іміджу на ринку праці оцінюють спираючись на показники, які характеризують професійний рівень, компетенцію фахівців, розподіл повноважень у системі управління кадрами з реалізації заходів по формуванню іміджу й удосконалення функціональних взаємозв'язків підприємства і ринку праці. До цієї групи можуть бути внесені такі параметри: коефіцієнт функціонально-технологічних документів що діють, показник інтенсивності праці, рівень використання робочого часу. Також до цієї групи показників належать показники рівня оперативності роботи підсистеми управління іміджем (нормативний термін виконання завдання, час реакції на зміни зовнішнього середовища, ступінь розподілу праці в підсистемі маркетингу).

Показники виробничої результативності дають змогу дати оцінку ефективності джерел задоволення потреби в персоналі шляхом співставлення питомої ваги кожного джерела в структурі кадрів підприємства й фінансових видатків, пов'язаних з використанням кожного із джерел. Це дозволяє робити висновок про якість процесу формування персоналу підприємством.

Інформаційна результативність оцінюється на підставі витрат на формування іміджу засобами реклами. У цьому випадку підприємство повинне прагнути досягнення співвідношення "мінімум витрат – максимальна реакція на рекламу". Ця умова набуває важливого значення за умов збільшення коефіцієнта підбору персоналу.

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ФОРМИРОВАНИЯ ИМИДЖА ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ ТРУДА

В.П. Гатило

Проведен обзор публикаций, посвященных особенностям формирования имиджевой политики предприятий в Украине. Предложена модель формирования имиджа предприятия на рынке труда, в виде последовательности этапов и совокупности методов. Приведены базовые элементы модели формирования имиджа предприятия на рынке труда для различных этапов сотрудничества с корпорацией. Оценку результативности формирования имиджа на рынке труда предложено выполнять по четырем направлениям: аналитическому, производственному, информационному и управленческому. Приведены показатели оценки эффективности формирования имиджа на рынке труда для каждого из предложенных направлений.

Ключевые слова: модель формирования имиджа предприятия, рынок труда, критерии оценки эффективности работы предприятия, компьютерная система оценки эффективности формирования имиджа предприятия.

SYNTHESIS OF MODEL THE FORMATION OF ENTERPRISE IMAGE IN LABOUR MARKET

V.P. Hatilo

A review of publications devoted to the peculiarities of the formation of the image policy of enterprises in Ukraine was conducted. A model is proposed for forming an enterprise image on the labor market, in the form of a sequence of steps and a set of methods. The basic elements of the model of forming the company's image on the labor market for various stages of cooperation with the corporation are given. Evaluation of the effectiveness of the formation of the image on the labor market is proposed to be carried out in four areas: analytical, production, information and management. The indicators of the estimation of the effectiveness of image formation in the labor market for each of the proposed directions are given.

Keywords: model of formation of the enterprise image, labor market, criteria for evaluating the efficiency of the enterprise, computer system for assessing the effectiveness of the formation of the company's image.

Висновки

Проведено аналіз публікацій, присвячених стану проблеми комп'ютеризації процесу формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці.

Ретельний аналіз ефективності діяльності кадрової системи дає можливість виявити можливості економії часу, фінансових і трудових ресурсів, підвищення рівня вмотивованості персоналу, зростання обсягів виробництва або продаж.

Отримані результати служать методичною основою для створення системи комплексної автоматизації процесу формування іміджевої стратегії підприємств на ринку праці.

Список літератури

1. Мортіков, В. Роль інформації у функціонуванні сучасного ринку праці [Текст] /В. Мортіков // Україна: аспекти праці. –К., 2003. – №5. – С. 3-7.
2. Шавкун, І. Г. Формування іміджу організації [Текст]: навч. посібник / І.Г.Шавкун, Я.С. Дибчинська. – Запоріжжя : ЗНУ, 2016. – 111 с.
3. Шарков, Ф. И. Имидж фирмы: технология управления [Текст] / Ф. И. Шарков - М.: Академический проект, 2006 – 271 с.
4. The Organisation for Economic Co-operation and Development in Figures [Electronic resource] – Access mode: <http://www.oecd-ilibrary.org>
5. Вандермейкер, Дж. Вимір ефективності іміджу [Текст] / Дж. Вандермейкер. – К.: Либідь, 2007. – 69 с.
6. Васильев, Г.А. Основы имиджа организации [Текст] / Г.А.Васильев, В.А.Поляков.– Х.: Олди-Плюс, 2008. – 720 с.
7. Гаврилішин, І.П. Проблеми формування іміджу компаній в Україні [Текст]: зб. наук. ст. / І.П. Гаврилішин, Є.І. Славута – К.: Либідь, 2007. – 246 с.

Надійшла до редколегії 9.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Божко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

Актуальні питання навчання

УДК 681.518.001.57:519.7

Н.В. Зачепа, О.П. Чорний, Ю.В. Зачепа, С.В. Сукач, С.А. Сергієнко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Вирішується актуальна задача оцінювання якості процесу навчання при підготовці фахівців технічних спеціальностей з метою розробки наукових основ організації процесу підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців технічних спеціальностей: лабораторного практикуму і застосування комп'ютерних тренажерів-імітаторів для отримання необхідних навиків безпечного виконання технологічних операцій. Розвинений підхід до оцінювання ефективності засвоєння інформації, який дозволяє формувати, розвивати та удосконалювати навчання працівників, тим самим підвищуючи як їх кваліфікацію, так і готовність до дотримання умов праці й вимог безпеки на робочих місцях під час виконання виробничих процесів.

Ключові слова: інформаційні технології, засвоєння технічної інформації, безпека праці.

Вступ

Технологічні процеси на сучасному виробництві являють собою складні людино-машинні комплекси, у яких працівник може розглядатися як самостійна ланка в замкнутій системі керування в силу таких його якостей, як уміння справлятися із завданнями в непередбачених обставинах, прогнозувати хід подій і знаходити оптимальне рішення в складних ситуаціях.

Установлено [1, 2], що однією з основних причин травмування працівників є недоліки в навчанні працюючого безпечним прийомам праці. Статистика травматизму в будь-якій галузі народного господарства показує необхідність удосконалювання системи організаційних і технічних заходів та засобів щодо забезпечення необхідного рівня безпеки праці.

Попередження травматично-небезпечних ситуацій на виробництві залежить не тільки від ступеня вдосконалювання й ефективності систем керування або автоматизації захисту, але й від професійної підготовки, тренуваності й досвіду персоналу. Від знань, навичок і вмінь працівника залежить ефективність, безпека й надійність виконання операцій технологічного процесу.

У цей час одним з ефективним напрямків по зниженню виробничого травматизму й підвищення ефективності процесу підготовки безпеки праці персоналу є використання автоматизованих навчальних систем (АНС), що представляють собою комплекс програмно-технічних та інформаційних засобів, орієнтованих на надання певного обсягу знань, відпрацювання необхідних навичок і вмінь, а також на контроль результатів підготовки фахівців [3].

У цьому сенсі великого значення набувають теорії та педагогічні технології навчання, які за сучасних умов ґрунтуються на інформаційних технологіях і знаходять своє відображення, зокрема, у конкретних електронних навчальних і контролюючих програмах. До них належать різного роду тренінги, контролюючі програми, лабораторні практикуми, тренажери, ігрові програми, наочно-орієнтовані середовища, навчальне моделювання, ділові ігри, групові семінари (тьюторіали), розбір ситуацій (кейс-стадії), психологічне тестування тощо [4]. Розробка подібних електронних ресурсів зумовлена необхідністю підготовки фахівців до повноцінної та ефективної участі в побутовій, суспільній і професійній галузях в умовах інформаційного суспільства.

Мета роботи – дослідження ефективності інформаційно-комунікаційних та мультимедійних технологій на процеси засвоєння технічної інформації, на основі якої у працівників формуються і розвиваються необхідні знання, навички та вміння щодо виконання виробничих процесів.

Результати досліджень

Для оцінки засвоєння інформації були проведені експериментальні дослідження зі слухачами двох груп, направлених на підвищення кваліфікації за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Оцінка ефективності підготовки фахівців та набуття ними навиків безпечного виконання технологічних операцій на комп'ютерних тренажерах-імітаторах (КТІ) виконувалася з використанням моделі Дональда Кіркпатріка, яка включає чотири рівні контролю якості навчання [5]:

1. Оцінка реакції учасників на навчання.

2. Контроль рівня отриманих знань.

3. Демонстрація отриманих знань і навичок на практиці.

4. Оцінка результатів навчання.

Перший рівень направлений на оцінку задоволеності освітнім/навчальним процесом слухачів. Отримана на цьому рівні інформація має важливе значення, оскільки негативна реакція слухачів на процес навчання негативно позначиться на мотивації слухачів і застосуванні отриманих знань та навичок на практиці. Як правило, оцінку реакції учасників на навчання проводять анкетуванням. Анкетуванням оцінювали рейтинг курсу (актуальність і зміст курсу, застосовність отриманих знань та навичок на практиці тощо) та рейтинг викладача (компетентність викладача, доступність викладу матеріалу, комунікабельність тощо). Традиційне анкетування в системі професійної підготовки і перепідготовки персоналу використовується для оцінки якості проведених занять пост-фактум без подальшої дії на процес навчання.

Для повторюваних короткострокових курсів використовували статистичне управління якістю процесу навчання із застосуванням контрольних карт Шухарта. На рис. 1 наведена контрольна карта рейтингу курсу «Електробезпека», з якого проходять навчання керівники нижчої і середньої ланки енергоуправління та відповідальні особи щодо безпеки праці промислових підприємств. Як центральна лінія CL прийнято середній рейтинг курсу $X_{CL} = 8,3$ бала (при оцінці по 10-ти бальній системі), отриманого з аналізу минулого раніше навчання. У результаті статистичної обробки інформації отримані верхня $X_{UCL} = +3s$ й нижня $X_{LCL} = -3s$ контрольні межі, де $s=0,61$ балу – середнє значення середніх квадратичних відхилень рейтингу курсу підгруп навчання. Процес навчання знаходиться в статистично керованому стані, якщо відхилення рейтингу від прийнятого викликане тільки випадковими причинами. Вихід рейтингу за контрольні межі є результатом дії особливих причин, які слід виявити, виключити або ослабити.

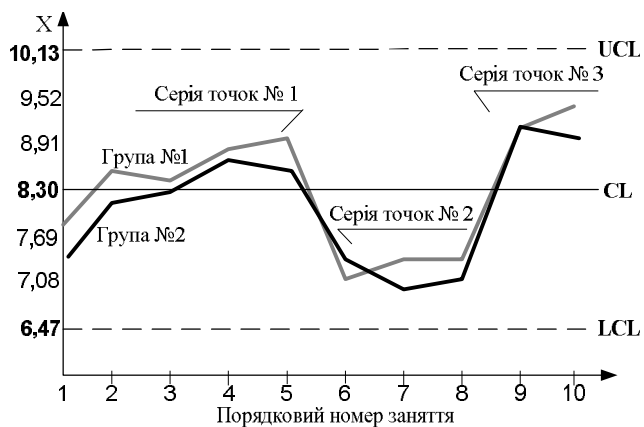


Рис. 1. Контрольна карта рейтингу курсу «Електробезпека»

На графіку рейтингу курсу можна виділити три серії точок. Перша серія точок №1, розташованих поблизу центральної лінії, свідчить про те, що процес навчання знаходиться в статистично керованому стані, його якість передбачена і навчання задовольняє вимогам, що пред'являються.

Проте, починаючи з шостої точки почала спостерігатися тенденція до втрати керованості процесу. На цьому етапі організаторам навчання необхідно було б відвідати одне із занять у ролі супервізора, проаналізувати програму навчання на предмет її актуальності та з'ясувати чи не входять в конфлікт час проведення занять з робочими обов'язками і можливостями слухачів. На жаль таких дій зроблено не було і, як наслідок, виникла критична ситуація виходу процесу навчання із стану статистичної керованості – три точки серії №2 знаходяться в небезпечній близькості від нижньої контрольної межі. Аналіз проведених занять виявив наступні невідповідні причини: надмірна кількість годин викладачем відводилася на теоретичну підготовку, тоді як слухачі ставили за мету відпрацювати практичні навички; починаючи з восьмого заняття проводилися без відриву від виробництва після роботи і в результаті стомлення засвоєння матеріалу слухачами було ускладнене. Після корекції програми курсу, а саме, введення АНС у вигляді КТІ та організації проведення занять проблеми були успішно вирішені, що сприяло якісному поліпшенню процесу навчання – серія точок №3 розташовані вище за центральну лінію і мають позитивну динаміку до верхньої контрольної межі.

Другий рівень присвячений вимірюванню отриманих в процесі навчання знань. За результатами навчання слухачів контролювали знання із застосуванням експрес-діагностики у формі тестування. Використовували тестові завдання із закритою і відкритою формою відповіді. Завдання із закритою формою відповіді (відповідь міститься в завданні і розпізнається слухачем) використовували для контролю знань до і після навчання [6].

В табл. 1 і 2 подані результати тестування слухачів (прізвища слухачів замінено, результати представлені у відносних одиницях) з курсу «Електробезпека», де на кожному занятті був наданий тест із 20 питань, що містили 5-6 відповідей. Таких тестів було проведено 10.

Результати такого тестування показують (рис. 2 і 3) наскільки змінилися знання і компетенції слухачів за весь термін підготовки. В даному випадку це двомісячні курси підвищення кваліфікації або 52 навчальних дні. Тестування дозволило достовірно та оперативно оцінити рівень підготовленості і при необхідності скоригувати програми навчання з урахуванням спроможності та зацікавленості слухачів до сприйняття інформації (заняття 6-8 згідно рис. 1) та пропусків в знаннях (згідно даних табл. 1 і 2).

Таблиця 1

Дані тестування слухачів групи №1 у в.о.

П.І.Б.	Дата/Бали									
	05.09	10.09	17.09	24.09	01.10	03.10	08.10	17.10	22.10	27.10
С 1	0,55	0,45	0,65	0,65	0,65	0,7	0,8	0,8	0,8	
С 2	0,45	0,55	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,85	
С 3	0,45	0,65	0,7	0,8	0,85	0,8	0,8	0,7	0,75	0,8
С 4	0,5	0,55	0,55	0,6	0,7	0,6	0,8	0,75	0,8	0,8
С 5	0,4	0,6	0,6	0,35	0,35		0,8		0,75	0,8
С 6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,55	0,35	0,8	0,45	0,7	
С 7	0,45	0,6	0,55	0,55	0,65	0,65	0,6	0,65	0,7	0,75
середнє	0,45	0,526	0,616	0,613	0,683	0,675	0,756	0,717	0,77	0,788
медіана	0,45	0,55	0,65	0,60	0,70	0,650	0,80	0,75	0,75	0,80

Таблиця 2

Дані тестування слухачів групи №2 у в.о.

П.І.Б.	Дата/Бали									
	05.09	10.09	17.09	24.09	01.10	03.10	08.10	17.10	22.10	27.10
С 8	0,3	0,5				0,55	0,6	0,4	0,7	
С 9	0,45	0,45	0,65	0,7	0,6	0,75	0,75	0,75	0,65	0,75
С 10	0,15	0,35	0,7			0,6			0,7	
С 11	0,35	0,15	0,6	0,5	0,65	0,75	0,7	0,8	0,7	0,7
С 12			0,6				0,75		0,85	0,75
С 13	0,25	0,5	0,6	0,55		0,65		0,65	0,6	0,8
С 14	0,15	0,3	0,6	0,6	0,55	0,6	0,55		0,65	0,75
середнє	0,34	0,427	0,654	0,636	0,521	0,646	0,693	0,70	0,70	0,754
медіана	0,32	0,45	0,60	0,65	0,525	0,625	0,725	0,75	0,675	0,75

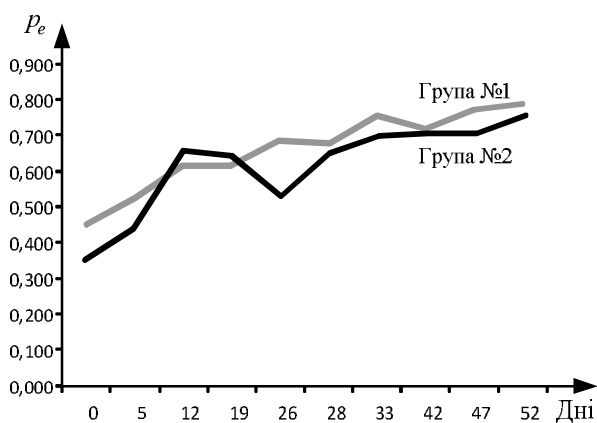


Рис. 2. Середнє значення успішності слухачів груп №1 і №2 за даними тестування

Метою *третього рівня* є оцінка застосовності отриманих знань і навичок у практичній діяльності. Якісне застосування результатів навчання на практиці можна оцінити за допомогою оцінки результатів виконання практичних та лабораторних робіт, випускних робіт фахівців, тематика яких безпосередньо пов'язана із вирішенням проблем конкретного

підрозділу підприємства, що є місцем роботи слухача. Захист роботи чи складання іспиту перед комісією, в яку входять керівники фахівця дозволяє оцінити ступінь засвоєння матеріалу та наскільки відпрацьовані практичні навички.

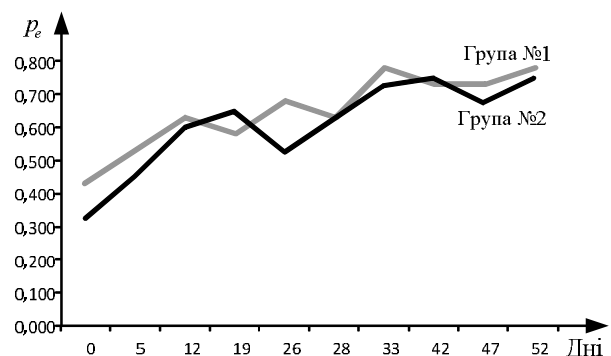


Рис. 3. Медіана значення успішності слухачів груп №1 і №2 за даними тестування

Для вище вказаних груп слухачів був проведений експеримент, метою якого було порівняння ефективності набуття практичних навичок виконання

технологічних операцій шляхом виконання лабораторного практикуму на фізичних лабораторних стендах та КТІ тотожних реальним фізичним стендам.

Слухачі відпрацювали чотири лабораторних роботи: 1. Електробезпека трифазних мереж змінного струму напругою до 1000 В; 2. Захисне заземлення та занулення в трифазних мережах напругою до 1000 В; 3. Контроль ізоляції в електроустановках; 4. Напряга кроку та напряга дотику.

Слухачі групи №1 відпрацювали лабораторні роботи на фізичному стенді, слухачі групи №2 – на КТІ. При захисті лабораторної роботи слухачам був запропонований тест з 10 завдань, який включав питання з теорії процесів у досліджуваних системах та електричних колах, а також виконання лабораторної роботи. Результати відповідей, а саме кількість правильних відповідей слухачами, наведені у табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Підсумки відповідей слухачів групи №1 за результатами лабораторного практикуму на фізичному стенді

П.І.Б.	Лабораторна робота			
	1	2	3	4
С 1	4	3	3	2
С 2	4	2	6	6
С 3	8	6	7	4
С 4	4	4	2	3
С 5	6	7	4	5
С 6	6	6	6	4
С 7	5	7	6	2
Середнє	5,9	5,0	5	3,3

Таблиця 4

Підсумки відповідей слухачів групи №2 за результатами лабораторного практикуму на КТІ

П.І.Б.	Лабораторна робота			
	1	2	3	4
С 8	8	4	5	6
С 9	6	5	6	7
С 10	7	6	5	8
С 11	1	4	7	9
С 12	9	6	5	5
С 13	9	3	6	8
С 14	4	4	6	7
Середнє	6,3	4,5	5,7	7,1

Підсумки відповідей показані на рис. 4, при розташуванні виконання лабораторних робіт у хронологічному порядку. Аналіз кривих показує, що існує чітка тенденція до погіршення результатів тестування у першій групі, і покращення результатів тестування у другій групі.

Середнє значення різниці відповідей між групами для перших трьох робіт досить незначна, і тільки для четвертої роботи стрімко зростає (табл. 5). Тому для перевірки якості отриманих результатів проведемо їх статистичну оцінку.

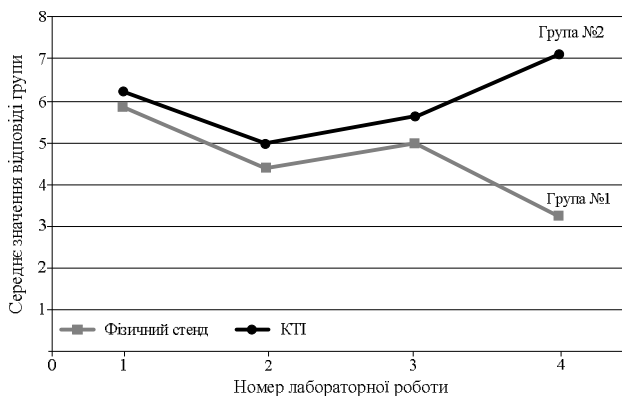


Рис. 4. Розподіл відповідей при тестуванні груп слухачів

Таблиця 5

Середнє значення відповідей по групі слухачів

	Л. р. 1	Л. р. 2	Л. р. 3	Л. р. 4
Група №1	5,9	5,5	5	3,3
Група №2	6,3	5,6	5,7	7,1
Різниця	0,4	0,1	0,7	3,8

Середнє значення розрахуємо як $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, де x – значення відповідей за табл. 3 і 4. Незміщена оцінка дисперсії [5]:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Межі довірчих інтервалів

$$\bar{x} - \frac{t_{1-\alpha/2} \tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} < x < \bar{x} + \frac{t_{1-\alpha/2} \tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

де $1-\alpha/2$ – квантиль розподілу Стюдента. Приймаючи коефіцієнт вірогідності $\alpha = 0,05$, знаходимо для першої групи, з дев'ятьма ступенями свободи, $t_{1-\alpha/2} = 2,262$; для другої групи, з шістьма ступенями свободи, $t_{1-\alpha/2} = 2,447$.

Враховуючи довірчі інтервали побудуємо розподіл відповідей слухачів (рис. 5).

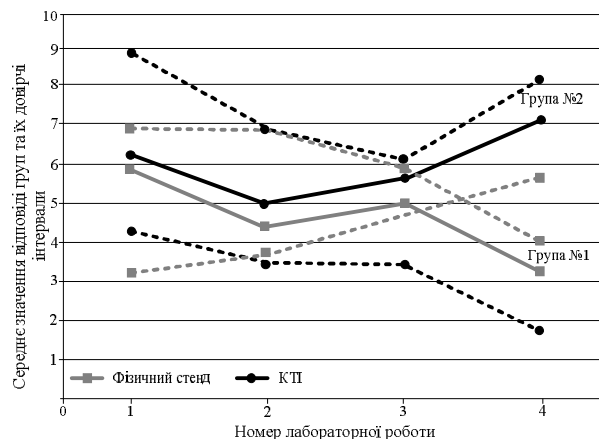


Рис. 5. Розподіл відповідей і їх довірчі інтервали при тестуванні груп студентів

Використання КТІ збільшує коефіцієнт умови-воду, це спостерігається як кумулятивний ефект після третьої лабораторної роботи – стрімке зростання кількості вірних відповідей у групі, яка виконувала лабораторний практикум на КТІ (рис. 5).

Можна стверджувати, що на цьому етапі відбувається засвоєння теоретичних положень і слухачі починають свідомо виконувати завдання лабораторного практикуму, а не суто за програмою методичних вказівок.

Оцінити застосування отриманих при навчанні знань з практики можна й у формі коучинга, коли в ході прямого спостереження за працівником на робочому місці викладач або відповідна особа, наприклад, енергетик цеху чи керівник відділу безпеки праці, інспектує та дає рекомендації щодо ліквідації пропусків у засвоєнні матеріалу.

Останній, *четвертий рівень* направлений на виявлення змін в економічних показниках підрозділу або підприємства в результаті навчання. Розрахувати економічну ефективність навчання дуже складно, оскільки на ці показники впливає велика кількість чинників, ізолювати які практично неможливо. Тому оцінка ефективності на останньому рівні проводиться у край рідко.

Висновки

Таким чином, оцінка ефективності навчання є надійним інструментом контролю результативності підготовки і перепідготовки фахівців, дозволяє реалізувати стратегію забезпечення і підтримки високої якості процесу навчання, тим самим підвищуючи як кваліфікацію працівників, так і їх готовність до

дотримання умов праці й вимог безпеки на робочих місцях під час виконання трудових і виробничих процесів.

Встановлена, статистично підтверджена, ефективність проведення практичної підготовки на КТІ тотожних реальним фізичним стендам.

Список літератури

1. Засухин И.Н. Количественная оценка состояния охраны труда. Анализ травматизма при различных нарушениях / И.Н. Засухин // *Справочник специалиста по охране труда*. – 2004 – № 2. – С. 7–11.
2. Экспертиза условий труда – основа профилактики травматизма / Б. Збышко // *Охрана труда и социальное страхование* – 2002 – № 7 – С. 1–3.
3. Адаптированные автоматизированные системы обучения. Модель обучаемого – Режим доступа: <http://sites.google.com/site/adaptivnyeobucaiesistemy/model-obucaемого>
4. Чорний О.П. Віртуальні лабораторні комплекси – технологія підвищення якості підготовки фахівців / О.П. Чорний, М.В. Загірняк, А.М. Гуржій, С.А. Сергієнко, М.Г. Несен, Д.Й. Родькін; Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – 232 с. – ISBN 978-617-639-116-6.
5. Гласе Дж. Статистические методы в педагогике, и психологии. Пер. с англ. / Дж. Гласе, Дж. Стэнли; М.: Прогресс, 1976. – 147 с.
6. Сивякова Г.А. Дистанционное тестирование в вузах – за и против / Г.А. Сивякова, А.П. Черный // *Вестник Карагандинского государственного индустриального университета*. – Темиртау: КГИУ, 2017. – Вып. 1(17). – С. 132-139.

Надійшла до редколегії 25.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Н.В. Зачепа, А.П. Черный, Ю.В. Зачепа, С.В. Сукач, С.А. Сергиенко

В работе решается актуальная задача оценивания качества процесса обучения при подготовке специалистов технических специальностей с целью разработки научных основ организации процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации инженеров технической направленности: лабораторного практикума и применения компьютерных тренажеров-имитаторов для получения необходимых навыков безопасного выполнения технологических операций. Развитый подход к оценке эффективности усвоения информации, который позволяет формировать, развивать и совершенствовать обучение учащихся, тем самым повышая как их квалификацию, так и готовность к соблюдению условий труда и требований безопасности на рабочих местах при выполнении производственных процессов.

Ключевые слова: информационные технологии, усвоение технической информации, безопасность труда.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE TRAINING PROCESS AND ENHANCEMENT OF SAFETY LEVEL IN THE PERFORMANCE OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS

N.V. Zachepa, O.P. Chorny, Iu.V. Zachepa S.V. Sukach, S.A. Sergienko

The task of assessing the quality of the training process during the training of specialists of technical specialties is being addressed in order to develop the scientific basis for the organization of the process of training, retraining and advanced training of specialists of technical specialties: laboratory workshop and the use of computer simulators to obtain the necessary skills for the safe execution of technological operations. A developed approach to assessing the effectiveness of information acquisition, which allows the formation, development and improvement of employee training, thereby increasing both their qualifications and the readiness to observe working conditions and safety requirements in the workplace during the implementation of production processes.

Keywords: information technologies, assimilation of technical information, safety of work.

УДК 004.056

И.В. Лысенко

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

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ»

Сформулированы предложения и рекомендации относительно содержания и преподавания математических и математически ориентированных дисциплин студентам, обучающимся по специальности «Кибербезопасность». Рассмотрены разделы математики, необходимые для изучения дисциплин, формирующих выпускника-бакалавра или магистра в области информационной безопасности. Обоснована целесообразность использования систем компьютерной математики в процессе изучения математически ориентированных дисциплин.

Ключевые слова: кибербезопасность, криптология, системы компьютерной математики.

Введение

Вопрос важности и актуальности математической подготовки современного специалиста в области информационных технологий (ИТ) не требует обоснований, а поскольку кибербезопасность представляет собой одну из важных компонент ИТ, то это касается и собственно кибербезопасности.

Вполне очевидно, что подготовка бакалавров и магистров по всем специальностям, входящим в направление «Информационные технологии», предполагает существование некоего общего для них ядра математических и математически ориентированных дисциплин (например, такие разделы дискретной математики, как теория множеств, теория графов, комбинаторика; теория вероятностей и математическая статистика; теория информации и кодирования и др.). В то же время, специфика каждой специальности обуславливает необходимость, как делать акценты на некоторых из тех разделов математики, которые входят в упомянутое «ядро», так и изучать те её разделы, знание которых не является необходимым для других специальностей.

В этой связи **цель статьи** состоит в том, чтобы сформулировать предложения и рекомендации относительно содержания и преподавания математических и математически ориентированных дисциплин студентам, обучающимся по специальности «Кибербезопасность».

О преподавании математических и математически ориентированных дисциплин

Деление дисциплин на математические и математически ориентированные – вполне естественно, если под первыми понимать дисциплины из категории «чистой» математики, а под вторыми – те из них, которые имеют прикладное значение и в их основе лежат те или иные понятия, разделы, направления математики «чистой». Примерами первой могут быть

«Теория чисел» и «Высшая алгебра», а второй – «Теория информации и кодирования» и «Теория принятия решений» (или «Исследование операций»).

К числу основных дисциплин, формирующих облик *бакалавра* в области кибербезопасности, относятся: «Системы технической защиты информации», «Управление информационной безопасностью», «Комплексные системы защиты информации», «Прикладная криптология», «Защита информации в телекоммуникационных системах», «Антивирусная защита». Математически ёмкой (в нашей терминологии – математически ориентированной) среди них является «Прикладная криптология». То же самое можно сказать и о дисциплине «Теория информации и кодирования», изучение которой предшествует изучению таких курсов, как «Системы технической защиты информации», «Аппаратные средства защиты информации», «Защита информации в телекоммуникационных системах».

Изучение курса «Прикладная криптология» в части, касающейся изучения механизмов *несимметричной* криптографии и криптоанализа, подразумевает знакомство с теоретико-числовой и алгебраической проблематикой. В этой связи представляется целесообразным рассматривать два отдельных курса: «Основы элементарной теории чисел и теоретико-числовые методы в криптологии» и «Основы теории алгебраических систем». Что касается содержания первого из них, то оно должно включать не только базовые сведения из элементарной теории чисел, а именно: основные теоретико-числовые функции, основы теории сравнений первой степени и систем сравнений первой степени, основы теории квадратичных вычетов и сравнений второй степени, основы теории первообразных корней и индексов, но также и вопросы теоретико-числовой проблематики, относящиеся к криптологии: алгоритмы факторизации и дискретного логарифмирования, генерации и проверки простоты чисел. Содержанием второго из упомянутых курсов должно быть: основы

теории групп, колец и конечных полей, основы теории эллиптических кривых, основы теории векторных пространств, основы теории решёток, булева алгебра, а также матроиды.

Так, необходимость изучения основ теории решёток обусловлена тем, что в связи с успехами квантового компьютеринга и связанными с этим практическими следствиями, а именно – возможностями решения задач факторизации и дискретного логарифмирования за полиномиальное время и, соответственно, компрометации криптосистем на их основе (RSA, ElGamal, Diffie-Hellman), возрастает роль алгоритмов так называемой постквантовой криптографии, в основу стойкости которых положены математические задачи, для решения которых за полиномиальное время не существует алгоритмов для квантового компьютера. Одной из таких задач является задача поиска кратчайшего вектора решётки – именно она положена в основу криптостойкости алгоритма шифрования NTRU. Что касается теории матроидов, то она положена в основу так называемых идеальных схем разделения секрета [1].

Если говорить о *симметричной* криптографии, то следует отметить, что базовые криптографические примитивы, положенные в основу любого шифра и реализующие подстановочные и перестановочные преобразования, представляются в виде отображения $GF(2)^n \rightarrow GF(2)^m$ некоторого векторного пространства $GF(2)^n$ n -мерных двоичных векторов в другое векторное пространство $GF(2)^m$ m -мерных двоичных векторов. При этом, как замечается в [2], эффективным инструментом анализа криптографических преобразований служит математический аппарат булевых функций, в соответствии с которым каждое отображение можно представить в виде векторной булевой функции, компонентами которой являются обычные булевы функции с областью определения $GF(2)^n$ и областью значения $GF(2)$.

В отношении дисциплины «Теория информации и кодирования» следует отметить, что для её эффективного изучения требуется знание таких разделов математики, как основы теории вероятностей и теории колец и конечных полей (преимущественно полиномиальных колец и полей, т.к. именно они представляют собой удобный математический аппарат для описания одного из подклассов линейных кодов – полиномиальных циклических кодов, а также – для описания линейных сдвиговых регистров с обратными связями, находящими применение в том числе и при построении поточных алгоритмов шифрования).

Что же касается *магистерской* подготовки, то математически ёмкими в этом случае являются дисциплины «Методы анализа и построения криптосистем» и «Методы моделирования и оптимизации процессов защиты информации». Предмет изучения первой из них основан на тех же самых разделах математики, что и курс «Прикладная криптология», с той лишь возможной разницей, что в рамках этих

разделов необходимо рассмотрение большего числа математических структур, положенных в основу методов криптографии и криптоанализа.

Например, для изучения *несимметричной* криптографии, основанной на идентификаторах, связанной с проблематикой электронных цифровых подписей и выступающей в качестве альтернативы подходу, известному, как PKI (Public Key Infrastructure), необходимо знание такого математического понятия, как билинейное (в общем случае – полилинейное) отображение (в этом случае преимущественно рассматривается такое бинарное отображение, как спаривание точек эллиптической кривой). Кроме того, в рамках криптоанализа билинейные отображения могут быть использованы для сведения задачи дискретного логарифмирования на эллиптических кривых к аналогичной, более простой задаче, в конечном поле.

В отношении *симметричной* криптографии, в вопросах таких видов криптоанализа, как линейный и дифференциальный криптоанализ, фундаментальную роль играет преобразование Уолша-Адамара, являющегося разновидностью дискретного преобразования Фурье [2]. Это же преобразование используется в квантовом алгоритме факторизации П. Шора.

В рамках курса «Методы моделирования и оптимизации процессов защиты информации» представляется целесообразным изучение таких тем: аналитическое и имитационное моделирование на основе аппарата теории случайных процессов (марковских и полумарковских) и систем массового обслуживания, линейная, нелинейная, комбинаторная оптимизация и булево линейное программирование, динамическое программирование, генетические алгоритмы.

Полагаем также, что для студентов, обучающимся в магистратуре, необходимо знание основ теории принятия решений в силу того, что специалистам по информационной безопасности (ИБ) регулярно приходится решать вопросы, связанные с управлением ИБ (анализ рисков ИБ, мониторинг ИБ, реагирование на инциденты и др.). Такой курс мог бы включать в себя такие разделы, как: основы теории игр, основы принятия решений в условиях неопределённости, основы построения систем поддержки принятия решений.

Что касается «чистых» математических дисциплин, входящих в план подготовки бакалавра по кибербезопасности, то, на наш взгляд, их содержание должно быть таким:

1. «Высшая математика». В основу должны быть положены разделы: линейная алгебра и её приложения, включая решение систем линейных уравнений; интегральное и дифференциальное исчисление; решение дифференциальных уравнений и их систем; числовые и функциональные ряды.

2. «Дискретная математика». Основу курса должны составлять такие классические разделы, как мно-

жества, отношения и функции; комбинаторика; графы; основы теории алгоритмов. Представляется целесообразным в рамках основ теории множеств рассмотреть базовые положения теории нечётких множеств. В то же время, такой «классический» раздел дискретной математики, как математическая логика, было бы целесообразным, по нашему мнению, включить в качестве компонента дисциплины «Логика», другими составляющими которой могли бы быть: Аристотелева силлогистика; классическая (дедуктивная) логика (логика высказываний и логика предикатов); основы теории доказательств; некоторые неклассические логики (индуктивная (вероятностная) логика и правдоподобные рассуждения, нечёткая логика, модальная логика). В частности, о важности способности к доказательному рассуждению хорошо заметил академик В.И. Арнольд: «Роль доказательств в математике подобна роли орфографии и даже каллиграфии в поэзии. Тот, кто не научился искусству доказательства, не способен отличить правильное рассуждение от неправильного. Такими людьми легко манипулировать безответственным политикам. Результатом могут стать массовый психоз и социальные потрясения» [3]. Очевидно, что сказанное в высшей степени справедливо для специалиста в сфере информационной безопасности, особенно расширенном толковании этого понятия, когда сама информация выступает не только объектом воздействия со стороны злоумышленника, но и как средство воздействия на субъектов, что может иметь место, например, при использовании злоумышленниками методов социальной инженерии.

3. «Теория вероятностей и математическая статистика». Содержательное наполнение данной дисциплины может быть тем же, что и для тех, кто обучается по другим специальностям направления «Информационные технологии», может быть лишь с большим акцентом на изучение вопросов, связанных с проверкой статистических гипотез, что будет востребованным при изучении бакалаврской дисциплины «Прикладная криптология» (тестирование качества генераторов псевдослучайных последовательностей и анализ поточных шифров) и магистерского курса «Методы моделирования и оптимизации процессов защиты информации» (статистический анализ результатов имитационного эксперимента). Кроме того, было бы логичным в рамках данного курса рассмотреть базовые понятия теории случайных процессов в связи с последующим использованием их при изучении методов аналитического и имитационного моделирования в рамках курса «Методы моделирования и оптимизации процессов защиты информации».

Использование систем компьютерной математики в подготовке специалистов по кибербезопасности

К числу наиболее популярных систем компьютерной математики СКМ относятся Matlab, Mathe-

matica, Maple, Mathcad. При изучении дисциплин, связанных с вопросами криптографии и криптоанализа, полезным может быть использование в первую очередь СКМ Mathematica и Maple.

В состав этих СКМ входит пакет NumberTheory, который включает 56 и 42 функции для теоретико-числовых вычислений соответственно [4, 5].

Так, в частности, в рамках СКМ Mathematica имеется возможность генерации случайного простого числа, меньшего заданного числа n , случайного простого числа из заданного интервала чисел (например, в диапазоне $10^8 \dots 10^9$), а также списка из m случайных простых чисел в диапазоне от 2 до n ; проверка числа на простоту, вычисление примитивных корней по заданному модулю, мультипликативного и обобщённого мультипликативного порядка числа по заданному модулю, вычисление теоретико-числовых функций (Эйлера, Кармайкла, Мёбиуса) и символов Лежандра и Якоби, определение мультипликативного обратного элемента и др. [5,6].

Другие популярные СКМ, такие как Mathcad и Matlab содержат лишь небольшой набор теоретико-числовых функций, а именно: *primes*, *isprime*, *factor*, *gcd*, *lcm*, *mod*. Первые три из них являются функциями одного аргумента - натурального числа n и связаны с простыми числами. Так, функция *primes* возвращает строку простых чисел, меньших или равных n , а вторая позволяет установить, является ли данное число простым. Функция *factor* решает задачу факторизации – возвращает строку, содержащую простые множители числа n . Функции *gcd* и *lcm* находят наибольший общий делитель (НОД) и наименьшее общее кратное (НОК) двух чисел соответственно и, наконец, функция *mod(x,y)* возвращает остаток от деления x на y . В то время, стоит отметить, что был разработан Number Theory Toolbox для СКМ Matlab [7], в который содержит 19 функций, позволяющих выполнять основные теоретико-числовые преобразования, встречающиеся в задачах криптографии.

С точки зрения задач прикладной криптологии в рамках СКМ Mathematica имеется возможность выполнять симметричное и несимметричное шифрование/дешифрование текстовых файлов, файлов-изображений и архивированных файлов, в том числе как и объектов облака. Несимметричное шифрование представлено криптоалгоритмом RSA, симметричное - криптоалгоритмом AES в режимах ECB и CBC. При этом пользователь может осуществлять генерацию ключей для выбранного алгоритма шифрования: 256-битового ключа для AES (случайно и на основе парольной фразы), а также генерацию ключевой пары для RSA с возможностью выбора длины модуля (в том числе и для размерности модуля 8192 бита), открытого ключа и размерности секретного ключа. СКМ Mathematica имеет встроенные функции для реализации бесключевого хеширования данных, а именно: хеш-функций MD2, MD5, SHA-1, а также

SHA-2 с розмірністю дайджеста 256, 384 і 512 с можливістю представлення дайджеста в шестнадцатеричній системі числення (по умовчанию – в десятичній системі). Також СКМ Mathematica содер­жить вбудовані функції, що стосуються до задач частотного криптоаналізу: пошук по словнику (наприклад, пошуки всіх слів на тій чи іншій мові, починаючихся з послідовності визначених символів, пошуки всіх слів, починаючихся і закінчуючихся на цікаві для дослідника символи), пошук необхідних символів (і комбі­націй символів) в тексті і визначення їх кількості, підрахунок кількості всіх різних n -грам послідовностей в рядку символів [8,9].

Ще одне застосування СКМ – це рішення задач оптимізації, розглянутих, як було показано вище, передбачається в магістер­ському курсі «Методи моделювання і оптиміза­ції процесів захисту інформації». Аналіз можливостей рішення задач оптимізації в рам­ках СКМ Matlab, Mathematica, Maple, Mathcad сде­лан в роботі [10].

Заключення

Зміст математических дисциплін повинен визначатися цілями вивчення математически орієнтованих і інших дисциплін, формують­ся спеціаліста по кібербезпеці.

Математически компактними є дисципліни "Прикладна криптологія" і "Теорія інформації і кодування" для підготовки бакалаврів і курсу "Методи моделювання і оптимізації процесів" і "Методи побудови і аналізу криптосистем" – для магістрів.

Цілесловесно ввести дисципліни "Логіка" і "Теорія прийняття рішень" для магістрів з метою привиття майбутнім спеціалістам по інформаційній безпеці навичок логічески вивереного системного мислення, необхідних при рішеннях задач управління інформаційною безпекою. В ході вивчення «чистих» математических і мате­

матически орієнтованих дисциплін цілесловесно використовувати системи комп'ютерної математики, що містять широкий набір вбудованих функцій для рішення найрізноманітніших задач в рамках згаданих дисциплін.

Список літератури

1. Введение в криптографию / Под общей ред. В.В. Ищенко. – СПб.: Питер, 2001. – 288 с.
2. Молдовян А.А. и др. Криптография: скоростные шифры. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 496 с.
3. Губарев В. Академик В.И. Арнольд: путешествие в хаос // Наука и жизнь. – 2000. – №12. – с.4-10.
4. Number Theoretic Functions [Электронный ресурс] // Wolfram Language & System Documentation Center – Режим доступа: <http://reference.wolfram.com/language/guide/NumberTheoreticFunctions.html>. – 10.02.2017 г.
5. Бедратюк, Л. П. Использование системы компьютерной алгебры MAPLE в элементарной теории чисел / Л. П. Бедратюк, Г. И. Бедратюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №6. – С. 10–13.
6. Тилборг, ван Х.К.А. Основы криптологии. / Х.К.А. ван Тилборг. – М.: Мир, 2006. – 471 с.
7. Лысенко, И.В., Бородавка В.В. Разработка теоретико-числового тулбокса для системы компьютерной математики Matlab / И.В. Лысенко, В.В. Бородавка // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2017. – №2(42). – С. 89–93.
8. Cryptographic Number Theory [Электронный ресурс] // Wolfram Language & System Documentation Center, Available at: <http://reference.wolfram.com/language/guide/CryptographicNumberTheory.html> - 10.05.2017.
9. Cryptography [Электронный ресурс] // Wolfram Language & System Documentation Center, Available at: <http://reference.wolfram.com/language/guide/Cryptography.html> - 10.05.2017.
10. Лысенко И.В., Бутенко В.О. Анализ возможностей решения задач оптимизации средствами систем компьютерной математики [Текст] // Системи обробки інформації. – Х: ХУПС, 2016. – Вип. 5(142). – С. 133–136.

Надійшла до редакції 21.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПРО МАТЕМАТИЧНУ ПІДГОТОВКУ СТУДЕНТІВ, ЯКІ НАВЧАЮТЬСЯ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «КІБЕРБЕЗПЕКА»

І.В. Лисенко

Сформульовано пропозиції рекомендації щодо змісту і викладання математических і математически орієнтованих дисциплін студентам, які навчаються з спеціальності «Кібербезпека». Розглянуто розділи математики, необхідні для вивчення дисциплін, що формують випускника-бакалавра або магістра в галузі інформаційної безпеки. Обґрунтовано доцільність використання систем комп'ютерної математики в процесі вивчення математически орієнтованих дисциплін

Ключеві слова: кібербезпека, криптологія, системи комп'ютерної математики.

ABOUT MATHEMATICAL TRAINING OF THE STUDENTS WHO LEARN ACORDING TO THE SPECIALTY "CIBERSECURITY"

I.V. Lysenko

Propositions and recommendations relatively content and teaching of the mathematic and mathematic oriented disciplines for students training on specialty "Cybersecurity" are formulated. The mathematics chapters necessary for studying of the disciplines that form of the bachelors and masters in the sphere of information security are considered. Advisability of using of the systems of computer mathematics during studying of the mathematic oriented disciplines are justified.

Keywords: cybersecurity, cryptology, systems of computer mathematics.

УДК 796.032

О.А. Макогон, В.О. Гунченко

Факультет військової підготовки Національного технічного університету «ХПИ», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЛІ КРЕАТИВНОСТІ У БОЙОВІЙ ПІДГОТОВЦІ КУРСАНТІВ ПІДРОЗДІЛІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВВНЗ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Стаття присвячена актуальній темі фізичній і військово-технічній підготовці курсантів, виходячи з особистих креативних здібностей, а також за рахунок індивідуальних підходів до кожного. В контексті нової парадигми освіти автори пропонують дослідити кореляційний зв'язок між результатами виконання військовослужбовцями військово-прикладних нормативів та нормативів з фізичної підготовки.

Ключові слова: військово-фізична підготовка, військово-технічні нормативи, результати фізичної та бойової підготовки, креативні здібності.

Вступ

Постановка проблеми. Якість підготовки військових фахівців визначається багатьма факторами, одним з яких є рівень фізичної та військово-професійної підготовки майбутніх офіцерів.

Сучасні соціально-політичні та економічні зміни, що відбуваються у суспільстві, вимагають у певній мірі і змін в системі фізичної підготовки військовослужбовців, в тому числі в системі бойової підготовки курсантів ВВНЗ.

Ця система характеризується складними процесами, що вимагають не тільки підвищення загальнокультурного рівня фахівця, формування та удосконалення спеціальних знань, вмінь та навичок майбутніх офіцерів, а й розвитку фізичних, психофізіологічних та морально-вольових якостей.

Сучасний бій висуває до підготовленості військовослужбовців такі вимоги як здатність виконувати висококоординовані дії швидко-силової спрямованості в умовах інтенсивних комплексних фізичних навантажень протягом тривалого часу, уміння швидко переходити від одного виду діяльності до іншого, не знижуючи її ефективність.

Звичайно, пошук шляхів підвищення якості цього виду підготовки курсантів повинен враховувати їх особисті здібності. Саме в цьому контексті проектування траєкторії навчання доцільно вибудувати в рамках особисто-орієнтованого та системно-діяльнісного підходів.

Аналіз літератури. У роботах [1-3] було виявлено наявність зв'язку між спортивними результатами та показниками креативності, а також між техніко-тактичної підготовки із урахуванням показників креативності.

Дослідження авторів швидкості спортивних рухів [4-6]. Цими дослідженнями було показано, що фізіологічний механізм швидкості рухів зв'язаний із функціональними властивостями моторної зони

центральної нервової системи, як її специфічна та багатофункціональна властивість і що усі форми прояви швидкості незалежні або мало залежні друг від друга. Виявлено, що максимальна частота рухів вище у осіб зі слабкою нервовою системою [7-10]. Швидкість в усіх специфічних формах її прояви визначають переважно двом факторам: оперативністю організації та регуляції рухового складу дії. Перший характеризує яскраво вираженою індивідуальністю, обумовленою генотипом та вдосконалюється у незначній ступені [4-8]. Другий підкоряється тренуванню та представляє основний резерв щодо розвитку швидкості.

Не виключено, що швидкість рухів є одною із основ (елементів) креативності: наприклад, швидкостю – число йде, яке виникає за одиницю часу, гнучкості – здатності перемикатися із одної ідеї на іншу за одиницю часу.

Задля вдосконалення системи фізичної підготовки курсантів ВВНЗ Ю.А. Бородин пропонує модель фізичної підготовки, в якій виділяє чотири етапи їх професійного становлення: адаптація до умов військової служби, первинну підготовку, закріплення професійних навичок та вмінь, вдосконалення бойової майстерності [1-3].

Таким чином, можна зробити висновок, що рівень військово-фізичної підготовки курсантів в даний час вимагає підвищеної уваги і до розумної діяльності, невід'ємним компонентом, якою є креативні здібності.

Метою даної статті є пошук методичних шляхів для інтенсифікації процесів фізичної підготовки та її зв'язок з системою професійної підготовки за результатами педагогічного експерименту.

В контексті нової парадигми освіти автори пропонують дослідити кореляційний зв'язок між результатами виконання військовослужбовцями військово-прикладних нормативів та нормативів з фізичної підготовки.

Викладення основного матеріалу

Суть педагогічного експерименту полягала у виявленні ролі креативних здібностей курсантів у виконанні ними таких, наприклад, військово-технічних нормативів, як контрольний огляд танка, установка і зняття акумуляторних батарей в танку. Крім того, в цьому експерименті було передбачено в з'ясуванні ролі креативних здібностей курсантів у успішності тренувань з виконання вище зазначених військово-технічних нормативів за рахунок вправ з розвитку сили протягом шести тижнів.

Результати педагогічного експерименту та їх аналіз. З метою визначення значущості креативних здібностей курсантів та можливого їх впливу на результати фізичної та бойової підготовки, авторами було проведено експертне опитування курсантів у кількості 25 осіб 3-го курсу спеціальності «Озброєння та військова техніка» за методикою О.В. Басенко [1-3]. Середній вік опитуваних склав 24,4 років. Експертне опитування складалося з 80-ти питань. Наведемо, як приклад декілька питань, які на наш погляд були більш близькими до військової підготовки курсантів:

№13 - в екстремальних ситуаціях ви частіше прислухаєтеся до голосу розуму, ніж до інтуїції?

№33 – чи проміркуєте ви варіанти вирішення важких проблем, перш ніж зробите вибір найбільш просунутого ?

№35 – чи любите ви роботу, що вимагає кмітливості, навіть якщо вона пов'язана з труднощами реалізації?

№36 - стикаючись з незвичайними проблемами, ви передбачаєте перспективи їх вирішення?

№39 - чи використовуєте ви гумор для виходу зі скрутних ситуацій?

№64 - в вашому тривалому творчості було багато невдач (в спорті, роботі)?

№72 - чи можете ви у своїй роботі піти на ризик, якщо шанси на успіх не гарантовані?

Після комп'ютерної обробки даних експерименту було здійснено ранжування складових креативності в порядку значимості (творчих здібностей курсантів (від 1 до 8) із зазначенням віку (таблиця 1). Креативність була оцінена за 10 - ти бальною шкалою (1-10) за методикою Вишняковій Н.Ф., Басенко О.В. [1-3, 11,12].

У табл. 1 представлений аналіз тестування курсантів на креативність. Нумерація курсантів представлена згідно протоколу (номер, результат, дата і ін.). Результати розташовані по спаданню.

Як бачимо, середнє значення креативності у курсантів характеризувалося значенням 8,4 балів (найбільше) і 3,6 (найменше).

Найбільший показник креативності дорівнював 10 (творче мислення), найменше – 1(творче ставлення до роботи і ризик в роботі).

У зв'язку з цим представляє великий інтерес з'ясувати виконання креативних здібностей на успішність тренувань з виконання курсантів таких військово-технічних нормативів як зняття і установка акумулятора і зовнішній огляд (табл. 2, 3).

Відомо, що виконання зазначених нормативів і їх поліпшення пов'язане додатково з тренуванням м'язів: кінцівок, шиї, спини, живота, а також з увагою і обережністю і певною часткою ризику. Поліпшення результату в порівнянні з нормою здійснювалося за рахунок додаткових силових вправ (на розсуд викладача) і виявлялося не менше через 4 тижні.

З табл. 2 випливає, що поліпшення щодо виконання нормативів: «Установка і зняття акумуляторної батареї» за рахунок фізичних тренувань проявляється у курсантів з певними високими креативу, такими як «Творче мислення», «Допитливість», «Ризики у роботі». Звичайно, не виключається внесок інших креативних показників у військово-фізичну підготовку. Так, курсанти, що характеризують високим креативом, під номером 1,19,17,22 при виконанні вище зазначених нормативів знизити час їх виконання на 100 сек. і 115 сек. відповідно. Курсанти під номерами 21,18 і 20, мають низький рівень креативності знизити час всього лише на 25-20 сек.

При виконанні курсантами нормативу «Контрольний огляд техніки» найхарактернішими креативними здібностями були такі: творче мислення, допитливість, інтуїція, творче відношення до роботи (табл. 3). З отриманих даних (табл. 3) успішність тренування спостерігалось у курсантів, які характеризуються високою креативністю. Курсанти під номерами 1, 19, 16, мають більш високі бали креативності були успішними в тренуваннях, зниження часу виконання нормативу на 140, 130, 110 сек. відповідно.

У курсантів по номером 20,21,24 час зниження виконання нормативу становило всього лише 60 сек.

Наведені дані свідчать про велику і не останню роль особистих креативних якостей у курсантів в їх військово-фізичної підготовці.

Результати проведених досліджень доводять доцільність використання засобів та методів фізичної підготовки для цілеспрямованого формування професійно значимих фізичних, психічних, військово-професійних якостей у профільних фахівців.

Висновки

1. Дані досліджень, свідчать про велику і не останню роль особистих креативних якостей у курсантів в їх військово-фізичної підготовці.

2. Рівень військово-фізичної підготовки курсантів в даний час вимагає у підвищенні вимог до розумової діяльності невід'ємним компонентом є креативні здібності.

3. Не виключається внесок інших креативних показників у військово-фізичну підготовку.

Таблиця 1

Аналіз тестування 131 навчальної групи на креативність

№	Творче мислення	Допитливість	Оригінальність	Уява	Інтуїція	Емоційність, емпатія	Почуття гумору	Творче відношення до роботи	Середнє значення	Ризик у роботі
1	10	7	9	7	9	9	8	8	8,4	1
19	7	10	9	8	7	7	9	9	8,3	1
16	8	7	10	8	8	6	7	6	7,5	1
6	8	5	8	6	8	8	7	7	7,1	1
23	8	5	8	6	8	8	7	7	7,1	1
25	8	5	8	6	8	8	7	7	7,1	1
17	10	6	6	7	6	6	7	5	6,6	1
22	10	6	6	7	6	6	7	5	6,6	1
2	7	8	7	6	5	4	8	6	6,4	1
8	9	4	6	4	6	6	7	9	6,4	1
14	7	5	5	6	6	8	5	5	5,9	1
15	10	5	7	5	9	6	2	3	5,9	1
12	7	5	6	7	6	6	4	5	5,8	1
10	4	5	6	4	6	4	10	5	5,5	1
13	7	1	6	5	8	7	2	8	5,5	1
11	7	3	5	3	8	6	4	6	5,3	1
9	8	4	8	4	6	3	2	6	5,1	1
4	5	6	1	6	5	6	8	3	5,0	1
7	6	5	4	3	5	6	6	5	5,0	0
18	3	2	4	6	5	4	2	5	3,9	0
20	3	2	4	6	5	4	2	5	3,9	0
21	3	2	4	6	5	4	2	5	3,9	1
3	8	2	3	2	3	1	7	4	3,8	0
24	3	5	2	6	3	2	5	4	3,8	1
5	3	5	2	2	8	7	1	1	3,6	0

Таблиця 2

Залежність виконання військово-технічних нормативів курсантами від креативних здібностей

№	Вік	Творче мислення	Допитливість	Ризик у роботі	Середнє значення	Установка АКБ	Зняття АКБ
						Успішність тренування	
1	25	10	7	1	6,0	100	115
19	25	7	10	1	6,0	100	115
17	24	10	6	1	5,7	100	115
22	24	10	6	1	5,7	100	115
16	24	8	7	1	5,3	90	100
2	23	7	8	1	5,3	90	100
15	26	10	5	1	5,3	90	100
6	26	8	5	1	4,7	88	98
23	25	8	5	1	4,7	88	98
25	25	8	5	1	4,7	88	98
8	24	9	4	1	4,7	88	97
14	23	7	5	1	4,3	68	76
12	26	7	5	1	4,3	68	76
9	24	8	4	1	4,3	68	76
4	23	5	6	1	4,0	60	70
11	25	7	3	1	3,7	50	60
7	23	6	5	0	3,7	50	60
10	25	4	5	1	3,3	45	50
3	23	8	2	0	3,3	45	50
13	24	7	1	1	3,0	40	45
24	25	3	5	1	2,9	36	39
5	23	3	5	0	2,7	33	36
21	23	3	2	1	2,0	25	28
18	24	3	2	0	1,7	20	23
20	24	3	2	0	1,7	20	23

Таблиця 3

Залежність виконання військово-технічних нормативів курсантами від креативних здібностей

№	Творче мислення	Допитливість	Інтуїція	Творче відношення до роботи	Середнє значення	Контрольний огляд	
						Успішність тренування	
1	10	7	9	8	8,5	140	
1	10	7	9	8	8,5	140	
19	7	10	7	9	8,3	130	
16	8	7	8	6	7,3	110	
6	8	5	8	7	7,0	100	
23	8	5	8	7	7,0	100	
25	8	5	8	7	7,0	100	
8	9	4	6	9	7,0	100	

1	2	3	4	5	6	7
17	10	6	6	5	6,8	95
22	10	6	6	5	6,8	95
15	10	5	9	3	6,8	95
2	7	8	5	6	6,5	90
13	7	1	8	8	6,0	88
11	7	3	8	6	6,0	88
9	8	4	6	6	6,0	88
14	7	5	6	5	5,8	85
12	7	5	6	5	5,8	85
7	6	5	5	5	5,3	83
10	4	5	6	5	5,0	81
4	5	6	5	3	4,8	79
3	8	2	3	4	4,3	76
5	3	5	8	1	4,3	76
18	3	2	5	5	3,8	60
20	3	2	5	5	3,8	60
21	3	2	5	5	3,8	60
24	3	5	3	4	3,8	60

4. Результати досліджень доводять доцільність використання засобів та методів фізичної підготовки для цілеспрямованого формування професійно значимих фізичних, психічних, військово-професійних якостей у профільних фахівців.

5. Представляє інтерес з'ясувати виконання креативних здібностей на успішність тренувань з виконання курсантів військово-технічних нормативів.

Список літератури

1. Басенко О.В., Градусов В.А. Креативность и динамика её развития в автоспорте (картинг) // Слобожанський науково-спортивний вісник: Зб. наук. статей - Харків: ХДАФК, 2003 – Вип.6.-С.64-67.
2. Басенко О.В., Градусов В.А. Методические основы совершенствования показателей креативности в автоспорте (картинге). // Слобожанський науково-спортивний вісник: Зб. наук. статей-Харків: ХДАФК, 2003 – Вип.117. – С. 84-85.
3. Басенко О.В. Креативність особистості в автоспорті // Молода спортивна наука. Зб. наук. Праць з галузі ФКтас.-Львів. 2003 - Вип.7.-Т.3.- С.28-31.
4. Верхошанский Ю. В. Основы специальной физической подготовки спортсменов. — М.: Физкультура и спорт, 1988. — 331с.

5. Сальников В.А. Возрастное и индивидуальное в структуре спортивной деятельности :монография / СибАДИ. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2000 – 159 с.

6. Русанов, В. Я. Методы совершенствования специальной подготовки боксеров высокого класса в зависимости от многолетней динамики физических и психических качеств: дисс. канд. пед. наук : 13.00.04 / ВНИИ физ. культуры. - Москва, 1984 - 185 с.

7. Верхошанский Ю.В. Программирование и организация тренировочного процесса. - М.: ФиС, 1985. - 175 с.

8. Вишнякова Н.Ф. Психологические основы развития креативности в профессиональной акмеологии: дис. докт. психол. наук. — М., 1996. — 394 с.

9. Поляков В.А. Психология развития личности в системных отношениях. - М.,1999. - 182 с.

10. Богдавленська Д.Б. Психологія творчих здібностей: Учеб. Посібник для студентів вищ. Учеб. Заведеній. / Богдавленська Д.Б. — К: Академія, 2002 — 378 с.

11. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. – М.: Наука, 2007. – 708 с.

12. Выготский, Л.С. О психологических системах / Л.С.Выгодский – М.: Питер, 2001. – 467 с.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ КРЕАТИВНОСТИ В БОЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ КУРСАНТОВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВВУЗ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

О.А. Макогон, В.А. Гунченко

Статья посвящена актуальной теме физической и военно-технической подготовке курсантов, исходя из личных креативных способностей, а также за счет индивидуальных подходов к каждому. В контексте новой парадигмы образования авторы предлагают исследовать корреляционную связь между результатами выполнения военнотружущими военно-прикладных нормативов и нормативов по физической подготовке.

Ключевые слова: военно-физическая подготовка, военно-технические нормативы, результаты физической и боевой подготовки, креативные способности.

DETERMINATION OF DEPENDENCIES BETWEEN STUDENTS' FOREIGN LANGUAGE PROFICIENCY AND THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF THEIR GENERAL EDUCATIONAL SKILLS

H.A. Makogon, V.A. Gunchenko

The article is devoted to the actual theme of cadets' physical and military-technical training based on personal creative abilities as well as at the expense of individual approaches to each. In the context of the new educational paradigm the authors propose to investigate the correlation between the results of the implementation of military-applied standards and standards for physical training by military servicemen.

Keywords: military-physical training, military-technical normative, results of physical and combat training, creative abilities.

МОДЕЛЬ ЗАХИСТУ КАНАЛУ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Розглядаються принципи побудови комп'ютерної моделі для розрахунку параметрів оптимального спрямування мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою з метою підвищення завадозахищеності радіоканалу зв'язку підрозділів Національної гвардії України у міських умовах

Ключові слова: радіоелектронне придушення, радіозавада, канал радіозв'язку, діаграма спрямованості.

Постановка проблеми

У даний час широке розповсюдження в частинах і підрозділах Національної гвардії України отримали засоби радіозв'язку малої потужності УКВ діапазону, що мають достатньо широку номенклатуру, яка задовольняє потребам систем тактичного радіозв'язку, але не відповідає вимогам щодо завадостійкості в умовах роботи засобів радіопридушення (РЕП) [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [2, 3] 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 діаграма спрямованості (ДС) антенної системи захисту радіозв'язку з командним пунктом була змонтована зі штатних засобів активної оборони і вважалася двовимірною, тобто задавалася тільки у горизонтальній площині, що робить модель непридатною для роботи з засобів РЕП, розташованими на висоті.

При діях підрозділів НГУ у міських умовах, коли відстані становлять від десятків до декількох тисяч метрів, а розташування мобільних об'єктів по відношенню до пунктів управління та засобів РЕП обмежено будівлями, виникає необхідність в урахуванні факторів, що впливають на стійкість радіозв'язку:

- підсилення антени передавача радіосигналу у напрямку на приймач та приймальної антени у напрямку на радіопередавач за умов залежності характеристик засобів радіоелектронного зв'язку від координат розташування мобільних об'єктів на оперативному просторі;

- підсилення/послаблення екрануючих властивостей мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою залежно від висоти розташування засобів РЕП.

Таким чином, необхідно удосконалити модель захисту КРЗ при дії засобів радіоелектронного впливу, враховуючи залежність коефіцієнту придушення від характеристик засобів радіоелектронного захисту

від несанкціонованих завад і взаємного просторового розташування радіозасобів та джерел завад.

Метою статті є розробка математичної моделі для розрахунку параметрів оптимального спрямування мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою як по азимуту, так і по куту місця з метою підвищення завадозахищеності радіоканалу зв'язку підрозділів Національної гвардії України у міських умовах.

Виклад основного матеріалу

Для одиночного джерела завад (рис. 1) у роботі [2] одержаний коефіцієнт придушення для точки розташування ПБВ з використанням мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою

$$\hat{E}_i(\theta_0) = \frac{P_{i\delta\alpha\zeta} G(\theta_\zeta - \theta_0) R_\zeta^2}{P_{i\delta\alpha\eta} G(\theta_\eta - \theta_0) R_\zeta^2}, \quad (1)$$

де $P_{\text{прдз}}$ – потужність передавача завади; $P_{\text{прдс}}$ – потужність передавача сигналу з центру зв'язку; R_ζ – відстань траси розповсюдження завади, R_ζ – відстань траси розповсюдження радіосигналу; $G(\theta)$ – нормована ДС мобільного засобу захисту; θ_ζ – азимут на джерело завад; θ_ζ – азимут на центр зв'язку; θ_0 – власний азимут ДС засобу мобільного захисту.

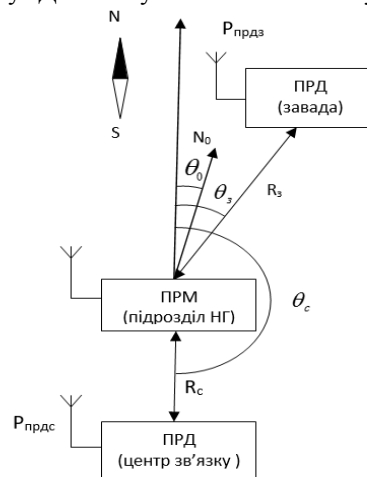


Рис. 1. Схема захисту КРЗ НГУ

Удосконалимо модель захисту КРЗ НГУ шляхом урахування висоти, на якій знаходиться засіб РЕП. Характеристики просторової діаграми спрямованості мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою за наявності відповідних креслень можна обчислити за технологією HFSS [4]. Приклад моделювання такої ДС з парабоциліндричною антеною, який використовувався у роботі [2] для підвищення заводостійкості роботи радіоелектронних засобів військових підрозділів в умовах радіопридушення, наведений на рис. 2.

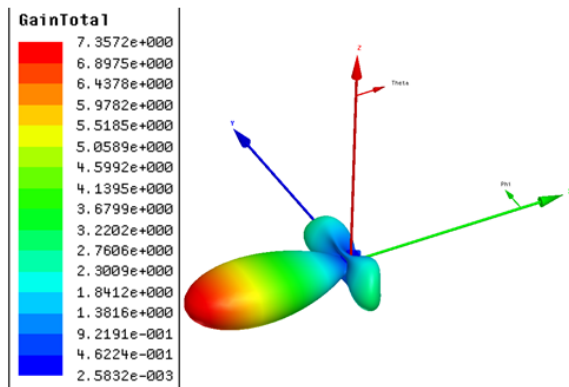


Рис. 2. Моделювання тривимірної ДС антенної системи у HFSS Ansoft

Просторову функцію коефіцієнту підсилення ДС антенного пристрою у полярних координатах позначимо як $G(\theta, \varphi)$, де θ - кут азимуту, а φ - кут місця цілі.

Припустимо, що центр зв'язку та підрозділ розташовані у точках з координатами $(x_{\bar{n}}, y_{\bar{n}})$ та $(x_{\bar{i}}, y_{\bar{i}})$ відповідно, а засіб РЕП - у точці з координатами (x_c, y_c, z_c) . Для тривимірної ДС антенного пристрою захисту РЕЗ підрозділу вираз (1) є таким:

$$\hat{E}_{\bar{i}}(\theta_0, \varphi_0) = \frac{P_{\bar{i} \text{ д\bar{a}c}} G(\theta_c - \theta_0, \varphi_c - \varphi_0) R_c^2}{P_{\bar{i} \text{ д\bar{a}n}} G(\theta_{\bar{n}} - \theta_0, \varphi_0) R_c^2}, \quad (2)$$

де $R_{\bar{n}} = \sqrt{(x_{\bar{n}} - x_{\bar{i}})^2 + (y_{\bar{n}} - y_{\bar{i}})^2}$ - відстань між центром зв'язку та підрозділом; $\theta_{\bar{n}} = \tan^{-1} \left[\frac{|x_{\bar{i}} - x_{\bar{n}}|}{|y_{\bar{i}} - y_{\bar{n}}|} \right]$ - кут азимуту з точки розташування підрозділу на центр зв'язку; $R_c = \sqrt{(x_c - x_{\bar{i}})^2 + (y_c - y_{\bar{i}})^2}$ - відстань між засобом РЕП та підрозділом; $\theta_c = \tan^{-1} \left[\frac{|x_{\bar{i}} - x_c|}{|y_{\bar{i}} - y_c|} \right]$ - кут азимуту з точки розташування підрозділу на засіб РЕП; $\varphi_c = \tan^{-1} \left[|z_c| / R_c \right]$ - кут місця з точки розташування підрозділу на точку розташування засобу РЕП; φ_0 - власний кут місця ДС антенного пристрою захисту РЕЗ підрозділу.

У загальному випадку для комплексу радіоелектронного придушення, який складається з N джерел завад, за принципом суперпозиції маємо

$$\hat{E}_{\bar{i}}(\theta_0, \varphi_0) = \frac{R_c^2}{P_{\bar{i} \text{ д\bar{a}n}} G(\theta_{\bar{n}} - \theta_0, \varphi_0)} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\bar{i} \text{ д\bar{a}c}_i} G(\theta_{c_i} - \theta_0, \varphi_{c_i} - \varphi_0)}{R_{c_i}^2}. \quad (3)$$

Задача ефективної боротьби з радіоелектронним придушенням розв'язується у одержаній моделі шляхом вибору оптимальних кутів азимуту θ_0^* , та місця φ_0^* , таких, що

$$\hat{E}_{\bar{i}}(\theta_0^*, \varphi_0^*) = \min \hat{E}_{\bar{i}}(\theta_0, \varphi_0). \quad (4)$$

На розв'язання (4) також суттєвий вплив має множина параметрів засобів радіоелектронного впливу (кількість джерел завад, їх потужність, розташування відносно передавача центра зв'язку тощо).

Висновки

Ефективним та економічним способом підвищення заводозахищеності КРЗ підрозділів Національної гвардії України у міських умовах є використання мобільного діаграмо-спрямовуючого пристрою, змонтованого зі штатних засобів активної оборони. Для ефективного застосування вищезазначеного засобу захисту розроблена математична модель захисту КРЗ підрозділів Національної гвардії України у міських умовах, яка враховує можливість розташування джерел навмисних завад на будинках, спорудах і т. ін.

Програмна реалізація розробленої моделі дозволить обчислити оптимальну орієнтацію засобу мобільного захисту як по азимуту, так і по куту місця, а також розв'язати задачу побудови зони досяжності, у межах якої забезпечується стійкий радіозв'язок між командним пунктом та підрозділом.

Список літератури

1. Основні аспекти радіоелектронного захисту системи радіозв'язку тактичної ланки управління ВВ МВС України під час виконання завдань за призначенням в умовах міста. [Текст] / О.Ю. Іохов, В.В. Антонець, О.М. Горбов, І.В. Кузьминич, В.В. Овчаренко // Честь і закон. - Х.: Акад. ВВ МВС України, 2012. - № 4. - С. 40-48.
2. Іохов, О.Ю. Комплексний метод підвищення заводостійкості радіоканалів мобільних об'єктів підрозділів Національної гвардії України [Текст] / О.Ю. Іохов, І.В. Кузьминич, С.А. Горелішев Системи озброєння і військова техніка. 2015, № 2(42). - С. 92-94.
3. Іохов О.Ю., Малюк В.Г., Горбов О.М. Імітаційне моделювання захищених радіоканалів військового призначення // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України, 2015, №1(18). - С. 92-96.
4. HFSS Ansoft. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>.

Надійшла до редколегії 25.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.П. Кондратенко, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ УКРАИНЫ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

А.Ю. Иохов, В.Г. Малюк, Г.Т. Ляшенко

Рассматриваются принципы построения компьютерной модели для расчета параметров оптимального направления мобильной диаграммы направленности устройства с целью повышения помехозащищенности радиоканала связи подразделений Национальной гвардии Украины в городских условиях.

Ключевые слова: радиоэлектронное подавление, радиопомеха, канал радиосвязи, диаграмма направленности.

PROTECTION MODEL OF THE RADIO CHANNEL OF UNITS OF THE NATIONAL GUARD IN CITY CONDITIONS

A.Ju. Iohov, V.H. Malyuk, G.T. Lyashenko

Principles of the construction of a computer model for calculating the parameters of the optimal direction of the mobile diagram-guiding device are considered in order to increase the interference protection of the radio communication channel of the units of the National Guard of Ukraine in urban conditions.

Keywords: radio suppression, radio interference, radio communication channel, directional diagram.

УДК 621.391

О.М. Іщенко¹, А.В. Шишацький²

¹ Центральний НДІ Збройних Сил України, Київ

² Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

АНАЛІЗ СТАНУ ТА НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ УПРАВЛІННЯ АРМІЙ США ТА РФ

У статті розглянутий сучасний стан та перспективи розвитку систем зв'язку збройних сил Російської Федерації та США. Розглянуто основні засоби радіо, радіорелейного, супутникового та проводового зв'язку. Визначено шляхи подальшого розвитку засобів зв'язку технічно розвинутих країн світу.

Ключові слова: засоби зв'язку, телекомунікаційні системи, супутниковий зв'язок, проводовий зв'язок.

Вступ

На сьогоднішній день відбувається стрімкий розвиток засобів зв'язку, телекомунікаційних технологій, створення єдиного інформаційного простору з висвітленням обстановки поля бою в режимі реального часу. Зазначені обставини утворили "прірву" між рівнем розвитку засобів зв'язку армій технічно розвинутих країн світу та Збройних Сил України.

Війська зв'язку Збройних Сил України на тактичному рівні укомплектовані сучасними засобами зв'язку на 70 % від штатної чисельності [1, 2], це в основному засоби зв'язку виробництва США, Туреччини, Великобританії, Канади та інших зарубіжних держав та їх кількість збільшується з кожним роком.

Проте наявна система зв'язку тактичного рівня не в повній мірі відповідає вимогам, що висуваються до системи управління. Для створення ефективної системи зв'язку тактичного рівня, з використанням сучасних засобів зв'язку, потрібне системне переозброєння підрозділів Збройних Сил України з урахуванням досвіду розвитку засобів зв'язку тактичного рівня в арміях технічно розвинутих країн світу [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день питанням аналізу стану та напрямками розвитку засобів зв'язку тактичного рівня

управління армій технічно розвинутих країн світу присвячено низку наукових досліджень і публікацій [3-7]. В [3] розглянуті системи зв'язку тактичного рівня управління армій Великобританії, США, Франції, Німеччини, Російської Федерації (далі РФ), та проведено їх поверхнєве порівняння. Більш детально розглянута система зв'язку армії США в [5], проте основна увага приділяється автоматизованим системам управління, їх програмному забезпеченню та перспективам удосконалення. Система зв'язку в цілому не розглядається, приводяться лише вимоги до певних засобів зв'язку.

При розгляді сучасних технологій зв'язку для використання під час проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей в [5] автор розглядає засоби зв'язку іноземного виробництва які надходили та продовжують надходити на заміну засобам зв'язку радянського виробництва, наведено аналіз їх переваг та недоліків. Система зв'язку розглядається як набір засобів зв'язку без врахування системного підходу. В [6] значна увага приділяється технологіям оперативного управління, програмам по розробці тактичних засобів зв'язку і лише частково засобам зв'язку. Зв'язок на тактичному рівні в арміях держав НАТО розглядається в [7], де автор концептуально розглядає пи-

тання забезпечення зв'язку тактичного рівня. Таким чином проведений аналіз джерел показав, що стан та напрямки розвитку системи зв'язку тактичного рівня армій технічно розвинутих країн світу висвітлені не в повному обсязі, без системного підходу. В зазначених джерелах основна увага приділена аналізу засобів радіозв'язку та майже не проведений аналіз засобів супутникового та проводового зв'язку. Тому *метою зазначеної статті* є проведення ана-

лізу стану та напрямків розвитку системи зв'язку тактичної ланки управління армій технічно розвинутих країн світу.

Виклад основного матеріалу дослідження

З метою повного висвітлення системи зв'язку механізованої бригади США розглянемо систему зв'язку ЗС США (рис. 1).

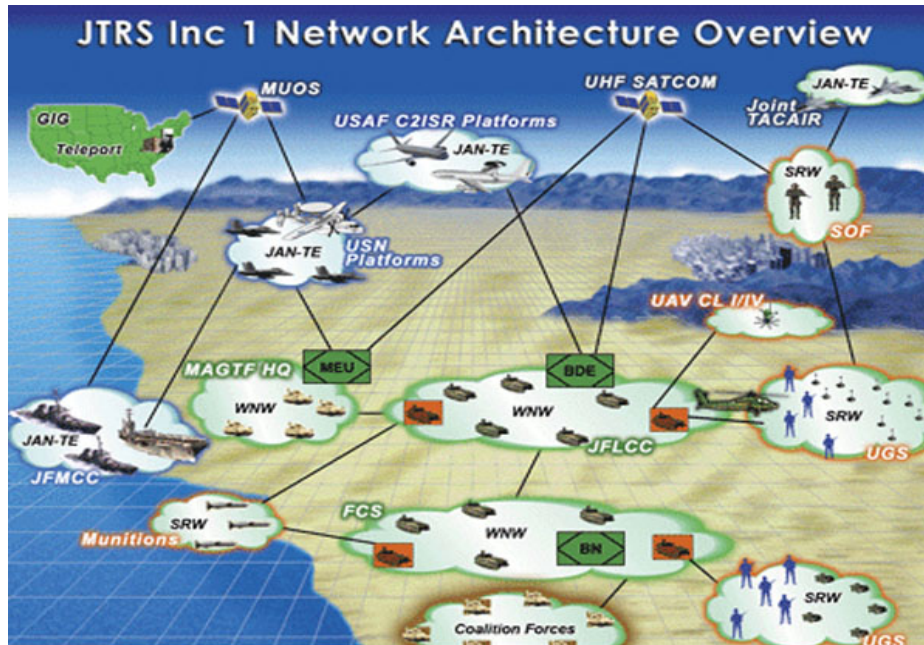


Рис. 1. Схема організації зв'язку ЗС США

Система зв'язку механізованої бригади США організовується з метою забезпечення командира та штабу всіма видами зв'язку, для вирішення інформаційних та розрахункових задач. До складу системи зв'язку механізованої бригади сухопутних військ збройних сил США входять наступні підсистеми:

- “тактичний Інтернет”;
- командний радіозв'язок поля бою;
- супутниковий зв'язок;
- зв'язок пунктів управління.

“Тактичний Інтернет” складає основу зв'язку бойових підрозділів бригади на рівні “взвод-рота-батальйон”. Функціонально дана мережа аналогічна глобальній комп'ютерній мережі “Інтернет” та побудована на її технологіях та протоколах. При передачі повідомлення абоненти мережі “Тактичний Інтернет” здійснюють адресацію повідомлення так само як при використанні послуг електронної пошти. Мережа розгортається на базі системи “EPLRS” (Enhanced Position Location Reporting – система визначення та оповіщення про розташування) та терміналів автоматизованої системи управління (АСУ) тактичної ланки “FBCB-2” (Force XXI Battle Command Brigade or Below – система управління бригадою та підпорядкованими підрозділами в бою двадцять першого століття) [8].

“EPLRS” призначена для вирішення задач автоматичного збору та представлення в реальному масштабі часу інформації про положення та бойові можливості своїх сил та засобів, положення противника, а також для передачі команд та цілевказання. Кожен термінал забезпечує абоненту можливість використання віртуального каналу для прийому/передачі інформації зі швидкістю від 1,2 до 58 кбіт/с, автоматичну ретрансляцію сигналів, а також навігаційного забезпечення. Терміналами системи “EPLRS” типу AN/VSQ-2(V)1 забезпечено більшість БТР та БМП, всі командні автомобілі, допоміжні транспортні засоби, а також бойові підрозділи із забезпечені з розрахунку чотири термінали на взвод. В смузі дії бригади може бути розгорнуто до двох мереж “EPLRS”. Термінали “EPLRS” взаємодіють з комп'ютерами АСУ “FBCB-2”, які відображають дані про свої сили і засоби, а також про виявлені сили противника в масштабі часу, близькому до реальності. Можливість динамічної реконфігурації та маршрутизації мережі “EPLRS” дозволяє кореспондентам обмінюватися даними про обстановку, навіть знаходячись поза зоною прямої радіовидимості та в ході бойових дій в складних природних умовах. Таким чином, за допомогою терміналів системи “EPLRS”, у взаємодії з комп'ю-

терами АСУ “FBCB-2”, досягається майже повне інформування всіх підрозділів бригади про обстановку на полі бою. При веденні бойових дій для передачі даних про обстановку та передачу команд управління бойовим машинам, підрозділам та окремим військовослужбовцям, не оснащених терміналами системи “EPLRS” та АСУ “FBCB-2”, використовуються канали командного радіозв'язку.

Командний радіозв'язок поля бою – це сукупність підсистем радіозв'язку різних рівнів, тактичного супутникового зв'язку підрозділів (відділень, груп, взводів, рот, батальйонів), пунктів управління та є доповненням до мережі “Тактичний Інтернет” бригади. Система будується на цифрових УКХ-радіостанціях власного виробництва компанії “HARRIS”. В табл. 1 наведено характеристики УКХ радіостанцій тактичного рівня. Засоби супутникового зв'язку використовується на пунктах управління бригади та батальйонів. В табл. 2 наведено характеристики засобів супутникового зв'язку.

Зв'язок між пунктами управління забезпечується радіорелейними та проводовими засобами

зв'язку. Радіорелейні засоби зв'язку використовуються для організації високошвидкісних каналів зв'язку (від 8,192 Мбіт/с) між ОКП бригади і КП батальйонів [9, 10].




В табл. 3 наведено характеристики радіорелейних засобів зв'язку.

Розвиток системи зв'язку тактичного рівня управління армії США вбачається в створенні засобів нового покоління, які забезпечать інтеграцію засобів зв'язку тактичного рівня в глобальну інформаційну інфраструктуру. Американські вчені Агентства перспективних досліджень Мініборони США (DARPA) розробляють систему, яка дозволить солдатам спілкуватися між собою в бою винятково силою думки. Солдат буде формулювати команду подумки виробляючи нейросигнали, які передаватимуться – по радіозв'язку [11].

Проводові засоби зв'язку використовуються для організації зв'язку між взводними, ротними та батальйонними опорними пунктами. В табл. 4 наведено характеристики основних проводових засобів зв'язку.




Таблиця 1

Радіостанції УКХ радіостанцій тактичного рівня збройних сил США

Назва засобу зв'язку, фірма та країна – виробник	RF-7800S-TR, HARRIS (США)	RF-7850S SPR (Secure Personal Radio), HARRIS (США)	RF-7850M-VS501 (50W) HARRIS (США)
Зовнішній вигляд радіостанції			
Ширина смуги пропускання або швидкість передачі даних	25 кГц, 500 кГц і 1,2 МГц, швидкість до 256 кбіт/с	25 кГц; 1,2 МГц, 5 МГц (до 1 Мбіт/с) – у широкосмуговому режимі	8,33 кГц (АМ), 12,5 кГц (АМ) і 25 кГц, 75 кГц
Діапазон робочих частот, МГц	350 – 450	225 МГц – 2,0 ГГц	30 до 108
Передача голосу	Повний дуплекс, до 6 одночасно розмовляючих абонентів, Пріоритет в розриві розмови, активація VOX або РТТ на вибір; режим Шепіт, необмежена кількість слухачів		
Підтримка протоколів передачі даних	IP до 256 кбіт/с, IP через USB, передача сигналів позиціонування, одночасна передача голосу та даних		
Види модуляції	FSK або GMSK	FSK, PSK	FSK/TCM, GMSK/QPSK
Потужність передавача	до 2 Вт	до 3,2 Вт	5, 20, 50 Вт
Дальність зв'язку	Відкрита місцевість: 2-3 км, Місто: up to 1 км, ліс/джунглі: до 800 м	Відкрита місцевість: 3-5 км	Відкрита місцевість: 5-70 км
Завадозахист, робота з ППРЧ	Захист від навмисних радіозавад (ECCM)		
Вбудований приймач GPS	так, з автоматичною передачею сигналів позиціонування		
Криптозахист	алгоритм шифрування 256-біт Citadel™, алгоритм AES (Advanced Encryption Standard) 256-біт		
Підтримка протоколів MANET/ AdHOC/MESH	ні. Підтримка режиму ретрансляції радіосигналів	так. Підтримка протоколів Mobile Ad-Hoc networking	так. Підтримка протоколів Mobile Ad-Hoc networking
Інтерфейси, що підтримуються	USB (для IP даних, конфігурування /управління, RNDIS), RS-232; РЧ: SMA	роз'єм GPS антени, аудіо роз'єм сумісний з 6-pin або 11-pin ADF для стерео аудіо), USB 2.0, RS-232, IP через USB	роз'єм GPS антени, аудіо роз'єм сумісний з 6-pin або 11-pin ADF для стерео аудіо), USB 2.0, RS-232, IP через USB



Таблиця 2

Основні характеристики засобів супутникового зв'язку

Назва радіостанції, фірма та країна – виробник	“СМАРТ-Т” (AN/TSC-154)	AN/PSC-5“SPITFIRE”	RF-7800B BGAN
Зовнішній вигляд радіостанції			
Супутники Землі з яких працює термінал	MILSTAR-1, MILSTAR-2, FER; UFO,	MILSTAR-2,	MILSTAR-2, Inmarsat
Діапазон частот	43,5-45,5 ГГц; 20,2-21,2 ГГц	- 30.000–87.995 MHz; - 108.000–129.995 MHz; - 130.000–148.995 MHz; - 156.000–173.995 MHz; - 225.000–399.995 MHz.	45,5-47,5 ГГц; 38,2-39,2 ГГц
Діаметр антени	1,37м	0,35м	0,45м
Режими роботи	(DAMA - Demand Assigned Multiple Access)	"SATCOM", "SINGARS", "HAVEQUICK II", "DAMA"	"SATCOM", "SINGARS", "HAVEQUICK II", "DAMA"
Швидкість передачі даних	256; 512; 1024; 4096 кбит/с; 1,544 Мбит/с	до 56 Кбит/с	2 Мбит/с.
Час розгортання	30хв	8хв	3хв




Таблиця 3

Основні характеристики радіорелейних засобів зв'язку тактичного рівня

Назва радіостанції, фірма та країна – виробник	AN/GRC-226(V) (США)	AN/GRC-245(V) (США)
Зовнішній вигляд		
Діапазон робочих частот, МГц	225-400; 1350-1850	225-400; 1350-1850
Швидкість передачі кбіт/с	256-2048	256-8192
Шаг сітки частот, кГц	125	125
Потужність передавача, Вт	0,5-10	1
Дальність зв'язку, км	25-30	25-40

Таблиця 4

Основні характеристики проводових засобів зв'язку тактичного рівня

Назва засобу зв'язку, фірма та країна – виробник	KG-275A маршрутизатор (Cisco, США)	TP-LMSW-10 OPT01-08- польовий комутатор	TSEC / KY-68 DSVT телефонний апарат
Зовнішній вигляд			
Живлення	від 21 до 56 В	від 12-32 В	від 21 до 56 В
Дальність зв'язку, км	до 30	UTP cable (10Base-T, 100Base-TX): 100 m MM optical cable, full duplex: 2 km, SM optical cable, full duplex: 10, 30, 50, 80 or 120 km	до 1,5
Швидкість передачі, Мбіт/с	100		16; 32 кбіт/с
Інтерфейси: вводу/виводу	IEEE 802.3 Ethernet, 10/100/1000 Base T (RJ-45).	IEEE 802.3 10Base-T, 802.3u 100Base-TX a 100Base-FX H323 (SIP1, Call Manager1)	
Розміри, см	8,9x43,8x39,4	576 x 305 x 335 mm (W x D x H), 795 x 518 x 393 mm including transporting box	
Вага, кг	13,6	7,4	4,3

Розглянемо порядок організації зв'язку в ЗС РФ (рис. 2), для опису системи зв'язку механізованої бригади РФ. Система зв'язку механізованої бри-

гади збройних сил РФ організовується для забезпечення командира та штабу всіма видами зв'язку, вирішенні інформаційних та розрахункових задач.

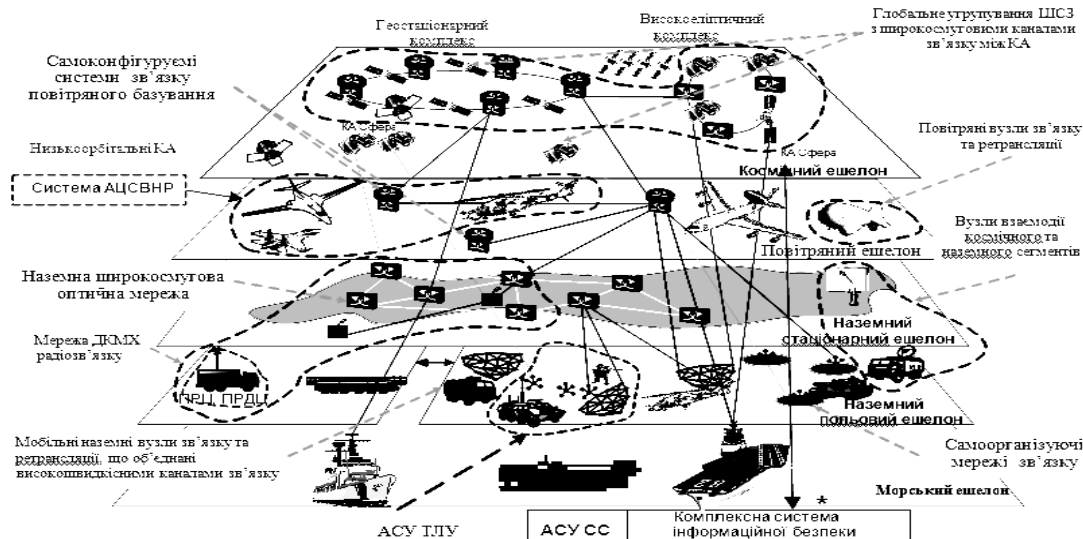


Рис. 2 Узагальнена схема організації зв'язку ЗС РФ

До складу зв'язку механізованої бригади сухопутних військ збройних сил РФ входять такі підсистеми [12-14]:

- підсистема радіо (супутникового) зв'язку;
- підсистема проводового зв'язку;
- підсистема радіорелейного зв'язку;
- підсистема фельд'єгерсько-поштового зв'язку.

Радіозв'язок організований від командира бригади до командира відділення в мережі командирів підрозділів та командира бригади зі швидкістю від 16 до 32 кбіт/с. У відділенні лише одна радіостанція у командира, решта військовослужбовців знаходяться на відстані візуального зв'язку та отримують ко-

манди за допомогою жестів та голосу командира відділення.

В табл. 5 наведено технічні характеристики УКХ радіостанцій збройних сил РФ.

Супутниковий зв'язок організований із командиром бригади та командним пунктом. В табл. 6 наведено технічні характеристики засобів супутникового зв'язку збройних сил РФ. Також в бригаді організований радіорелейний зв'язок між пунктами управління бригади та вищим штабом зі швидкістю від 2048 до 8192 кбіт/с. В табл. 7 наведено технічні характеристики радіорелейних засобів зв'язку збройних сил РФ.



Таблиця 5

Характеристики УКХ радіостанцій тактичного рівня

Назва радіостанції, фірма та країна – виробник	P-168-0.5Y(M)E Акведук-0.5Y(M) (РФ)	P-168-5UTE-2 Акведук-5UTE-2 (РФ)	P-168-100YE-2 (РФ)
Зовнішній вигляд радіостанції			
Ширина смуги пропускання або швидкість передачі даних	25 кГц	25 кГц до 16 кбіт/с	25 кГц до 16 кбіт/с
Діапазон робочих частот, МГц	30-88	30-107,975	30-107,975
Передача голосу	симплекс або двухчастотний симплекс		
Види модуляції	Частотна модуляція		
Потужність передавача	1 Вт	0,25, 2, 8 Вт	1, 8, 40, 120 Вт
Дальність зв'язку	Відкрита місцевість до 5 км	Відкрита місцевість: 1,5-12 км	Відкрита місцевість: 1,5-60 км
Завадозахист, робота з ППРЧ	відсутня	100 стр/с, до 256 частот	100 стр/с, до 256 частот
Вбудований приймач GPS	відсутній		
Криптозахист	Вбудований	Зовнішній пристрій	Зовнішній пристрій
Підтримка протоколів MANET/ AdHOC/MESH	Не підтримується		
Інтерфейси, що підтримуються	RS-232, Ethernet, USB 1.1	RS-232, Ethernet	RS-232, Ethernet



Таблиця 6

Основні характеристики засобів супутникового зв'язку тактичного рівня

Назва радіостанції, фірма та країна – виробник	P-438M (РФ)	P-439-П (РФ)
Зовнішній вигляд радіостанції		
Режими роботи	Дуплексний режим закритого телефонного зв'язку; симплексний прийому-передачі; двоканального прийому	Дуплексний режим закритого телефонного зв'язку
Супутники Землі з яким працює термінал	Глобус-1; Глобус - 1М; Ямал; Експрес	Глобус-1; Глобус - 1М; Ямал; Експрес
Стики	RS-232C, C1-ФЛ-БИ	RS-232C, C1-ФЛ-БИ
Діапазон частот, ГГц	5,86; 3,635	5,85-5,886; 5,760-5,770; 3,4725-3,5413; 3,4725-3,4825
Діаметр антени, м	0,49	1,2
Потужність, Вт	25	130
Швидкість передачі даних	1200 – 2400 біт/с	1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 48 кбіт/с
Час розгортання, хв	5	16хв
Вага, кг	17	132,5

Таблиця 7

Основні характеристики радіорелейних засобів зв'язку тактичного рівня

Назва радіостанції, фірма та країна – виробник	P-430Л-1 (РФ)	P-419Л1 (РФ)
Зовнішній вигляд		
Діапазон робочих частот	390-645 МГц; 1500-2100 МГц	390-645 МГц; 1550-1850 МГц
Швидкість передачі	2 x 2048 кбіт/с	до 150 Мбіт/с
Шаг сітки частот, кГц	125	100; 1000
Потужність передавача, Вт	2-8	5-16
Дальність зв'язку, км	до 40 (РРЛ до 400)	до 40 (РРЛ до 400)

Проводові засоби зв'язку використовуються для організації зв'язку між взводними, ротними та батальйонними опорними пунктами. В табл. 8 наведено характеристики проводових засобів зв'язку. Розвиток засобів зв'язку тактичної ланки управління РФ спрямований на створення єдиного інформаційного середовища на полі бою, інтеграцію всіх видів та родів зв'язку в єдине телекомунікаційне середовище.

Висновки




Проведений аналіз стану та напрямків розвитку системи зв'язку тактичного рівня управління армій технічно розвинутих країн світу показав, що найбільш сучасними засобами зв'язку та технологіями

організації та забезпечення зв'язку оснащені збройні сили США. Напрямок розвитку засобів зв'язку збройних сил США є найбільш сучасним, революційним та амбіційним. В подальшому результати проведеного аналізу можуть стати підґрунтям для обґрунтування напрямку розвитку засобів зв'язку тактичного рівня управління Збройних Сил України та сприяти обґрунтуванню раціонального складу сил і засобів зв'язку механізованої бригади.

Список літератури

1. Бовда Е. М. Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військового призначення [Текст] / Е.М. Бовда, Ю.А. Плугувий, В.А. Романюк // Зб. наук. пр. ВІПІ. – К., 2016. – № 1. – С. 6-18.

Основні характеристики проводових засобів зв'язку тактичного рівня

Назва засобу зв'язку, фірма та країна – виробник	NetXpert NXI-3030 комутатор (РФ)	K-205, мультимплекс (РФ)	FlexGain Access VoiceCom 81 (РФ)
Зовнішній вигляд			
Підтримка протоколів	GMP, TRUNK, Port Mirroring, QoS, VLAN, ACL	C1-ФЛ	802.1Q (VLAN Tagging), 802.1P (Priority Tag)
Інтерфейси: вводу/виводу	IEEE 802.3 Ethernet 2x1000BaseSFP, 2x100BaseFX до 8x100BaseTX (RJ-45).	IEEE 802.3 Ethernet(RJ-45), 10/100	1x10/100BaseTX RJ-45
Живлення с	24 В	12/24 В	12/220 В
Швидкість передачі в абонентських каналах		2,4; 4,8; 9,6; 16; 32 и 48 К бит/с	
Розміри, см	42,9x21,4x37,2	26,4x15,2x22,6	24,0x17,0x15,0
Вага, кг	16,2	7,4	1,3

2. Полторак С. Т. Головне завдання – підвищення обороноздатності держави [Текст]: здобутки та погляд у майбутнє / С.Т. Полторак // Наука і оборона: щокв. наук.-теорет. та наук.-практ. журн. МО України. – К., 2015. – № 2. – С. 3-8.

3. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року «Про Стратегічний оборонний бюлетень України» [Текст]: указ Президента України № 240/2016. – К., 2016. – 61 с.

4. Иванов А. Организация связи в бригадах Сухопутных войск США [Текст] / А. Иванов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2014. – № 12. – С. 13-15.

5. Косенко В. На передову – якісний зв'язок [Текст] / В.Косенко // Військо України. – 2015. – 12 грудня.

6. Климович О. К. Застосування сучасних систем і комплексів зв'язку та автоматизації для потреб Збройних Сил України під час антитерористичної операції [Текст] / О.К. Климович // Зб. наук. пр. ХУПС. – Х., 2015. – № 2. – С. 23-27.

7. Слюсар В. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий [Текст] / В. Слюсар // Зв'язок і телекомунікації. – 2008. – № 4. – С. 66–71.

8. Панов А. Организация управления и связи в боевых бригадах войск США [Текст] / А. Панов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2011. – № 6. – С. 33-43.

9. Загальні положення про зв'язок і автоматизацію управління військами Збройних Сил України (проект) / ГШ ЗСУ. – К.: Варта, 2004. – 139 с.

10. Радіо та зв'язок [Електронний ресурс]: щокв. електрон. журн. – 2016. – режим доступу: http://dolya.kiev.ua/m/news/tehnologiya_wave_v_vyskakh_ssha/ Технологія WAVE в військах США. Professional radio communications.

11. Інформаційні технології [Електронний ресурс]: щокв. наук. журн. / електрон. журн. – 2015. – режим доступу до журн.: https://nauka_it/ Телепатія стане основним засобом зв'язку армії США.

12. Мальярчук М.В. Підходи до побудови перспективної системи зв'язку та автоматизованого управління військами в збройних силах Російської Федерації [Текст] / М.В. Мальярчук, С.П. Колачов, Д.О. Люлін // Зб. наук. пр. ВІТІ. – К., 2009. – № 2. – С. 71-77.

13. Колупов А. Е. Цифровизация связи как перспективное направление информационно-телекоммуникационных услуг для органов военного управления [Текст] / А.Е. Колупов // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – 2015. – № 2. – С. 13-15.

14. Окунев В. К вопросу о формировании единого информационного пространства тактического звена [Текст] / В.Окунев // Армейский сборник. – 2016. – № 4. – С. 3-7.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ТАКТИЧЕСКОГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ АРМИЙ США И РФ

А.Н. Ищенко, А.В. Шишацкий

В статье рассмотрено современное состояние и перспективы развития систем связи вооруженных сил Российской Федерации и США. Рассмотрено основные средства радио, радиорелейного, космической и проводной связи. Определены пути последующего развития средств связи технически развитых стран мира.

Ключевые слова: средства связи, телекоммуникационные системы, спутниковая связь, проводная связь.

ANALYSIS OF THE STATE AND DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE COMMUNICATION SYSTEM OF THE TACTICAL LEVEL OF ARMY MANAGEMENT OF USA AND RF

O.M. Ischenko, A.V. Shyshatskiy

The article considers the current state and prospects of the development of communications systems of the armed forces of the Russian Federation and the USA. The basic means of radio, radio relay, satellite and wire communication are considered. The ways of further development of communication facilities of technically developed countries of the world are determined.

Keywords: means of communication, telecommunication systems, satellite communications, wire communication.

УДК 621.396

В.Н. Почерняев¹, В.С. Повхлеб², В.В. Зайченко²¹ Одесская национальная академия связи имени А.С. Попова, Одесса² Киевский колледж связи, Киев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ТРОПОСФЕРНО-РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СТАНЦИЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕШАЮЩИХ СИГНАЛОВ

В данной статье рассмотрено решение задачи по повышению устойчивости системы управления мобильной многоканальной станцией СВЧ диапазона нового типа путем использования ортогональных кусочно-непрерывных функций в качестве сигналов управления. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие полученные теоретические результаты с разработкой действующего экспериментального образца пульта управления с генератором функций Уолша-Пели. Результаты эксперимента позволяют рекомендовать разработанную систему управления мобильной многоканальной станцией СВЧ диапазона для практического использования.

Ключевые слова: мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция, устойчивость системы управления, ортогональные кусочно-непрерывные функции, генератор функций Уолша-Пели, преднамеренные и непреднамеренные помехи.

Вступительная часть

Постановка задачи. В районах стихийных бедствий, техногенных катастроф, нештатных ситуаций, возникающих на сети связи, а также в зоне проведения антитеррористической операции наряду с другими мобильными радиосистемами СВЧ диапазона становится актуальным использование комбинированных средств связи.

При построении полевых транспортных сетей связи, расположение пунктов ретрансляции в которых сильно зависит от географического положения и рельефа местности, становится необходимым одновременное использование мобильных станций как радиорелейного, так и тропосферного типов.

Перспективным направлением развития радиолокационных систем (РЛС) является многопозиционные радиолокационные системы. Современная территориально-распределенная РЛС разнесены два приемных узла и передающий узел с удалением друг от друга на расстоянии 100 ... 250 км. Такая радиолокационная система существенно повышает эффективность обнаружения летательных аппаратов, в том числе изготовленных по технологии "Stealth". Незаменимыми средствами связи для данной радиолокационной системы могут быть радиосистемы СВЧ диапазона комбинированного типа, способные решать задачи по передаче информации между приемными и передающим узлами с возможностью передачи каналов на пункты управления. Поэтому, создание комбинированной цифровой тропосферно-радиорелейной станции на единой мобильной платформе, как указано выше, вполне оправдано.

Анализ литературных источников. Сейчас широко исследуются новые системы связи, в которых несущая колебания имеет вид функций Уолша. Так в [1] показано преимущество сигналов Уолша в качестве несущих по сравнению с гармоническими несущими при построении помехозащищенных радиосистем. Последние применения функций Уолша: анализ геофизической информации, анализ данных подводного сейсмографии, биофизика и медицина, системы кодирования голоса и изображений, устройства распознавания образов, оптическая спектроскопия, радиолокация и голография [2, 3]. Так, перспективным направлением уменьшения сложности алгоритмов вычисления апостериорных вероятностей символов блоковых кодов, является использование высокопроизводительного алгоритма быстрого спектрального преобразования в базисе Уолша-Адамара [4]. Цифровые системы передачи могут работать в условиях сильных преднамеренных помех, что выдвигает серьезные требования к помехоустойчивости их систем управления. Распространения сигналов в городских условиях сопровождается многолучевостью и замираниями. Так, ортогональная система функций Уолша нашла применение в системах сотовой связи с кодовым разделением каналов CDMA по стандарту IS-95. В данной системе связи в качестве цифровых несущих используется 64-разрядная последовательность функций Уолша – Адамара [5]. Жесткие требования по устойчивости сигналов управления, которые должны отвечать надежности, помехоустойчивости и живучести определяют задачу применения несинусоидальных сигналов [6–8]. Такими сигналами, например, являются ортогональные кусочно-непре-

рывные функции Уолша, имеющие различные формы представления. Поэтому в данной работе предлагается в качестве сигналов управления применить функции Уолша-Пели [9].

Нерешенные вопросы. Особенностью мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станции является то, что для ее реализации могут быть использованы следующие схемы построения: единая система управления для тропосферной и радиорелейной компонент; единая система управления и частотообразования; единая система управления, частотообразования и единый передающий тракт обеих компонент [10]. Новизна разработки такого

решения подтверждена государственной научно-технической экспертизой [10]. Учитывая оставшийся научно-технический потенциал Украины, производство таких станций может быть освоено отечественной промышленностью при том в нескольких конструктивных вариантах, как показано на рис. 1 и рис. 2. Например, конструктив, показанный на рис. 1, может быть реализован на базе модернизированной радиорелейной станции Р-409 и разработанной мобильной малогабаритной цифровой тропосферной станции на базе двухосного полуприцепа. Конструктив, показанный на рис. 2, разработан на общей автомобильной платформе.



Рис. 1. Мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция (конструктивный вариант 1)



Рис. 2. Мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция (конструктивный вариант 2)

Однако для конструктива, представленного на рис. 2, существенной является оценка ЭМС радиоизлучающих средств, расположенных на единой мобильной платформе.

Особенностью является то, что среди этих радиоизлучающих средств расположен передатчик с $P_{\text{вых}} \geq 1$ кВт [11, 12]. Поэтому техническая реализация такого сложного телекоммуникационного ком-

плекса как мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция требует научной проработки целого ряда подсистем, входящих в данный комплекс.

Работа данного телекоммуникационного комплекса может происходить в сложной обстановке под влиянием непреднамеренных и преднамеренных помех. Отсюда предъявляются повышенные требо-

вания к устойчивости системы управления станцией. Работе в таких условиях наиболее соответствуют сигналы, которые описываются ортогональными кусочно-непрерывными функциями.

Следует отметить, что современные системы связи СВЧ диапазона развиваются путем комплексного формирования команд управления при функционировании в различных сетевых конфигурациях с применением несинусоидальных функций в различных форматах. Поэтому, разработка системы управления, основанной на сигналах, описываемых кусочно-непрерывными функциями определенного класса, такого сложного телекоммуникационного комплекса, как мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция, является актуальной темой исследования.

Для подтверждения предложенных теоретических результатов возникает необходимость разработки действующего экспериментального образца пульта управления с генератором функций Уолша-Пели, что позволит проверить правильность выдвинутых допущений.

Цель и задачи исследования. Целью работы является экспериментальное исследование устойчивости системы управления для нового типа мобильной телекоммуникационной системы СВЧ диапазона при воздействии различных мешающих сигналов.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- создание экспериментального образца пульта управления с генератором функций Уолша-Пели, который воспроизводит формирования управляющих сигналов системы управления МЦТрРРС и их устойчивость к воздействию мешающих сигналов;
- проведение экспериментального исследования по использованию сигналов управления, основанных на ортогональных кусочно-непрерывных функциях Уолша-Пели, и разработка соответствующих рекомендаций.

Основная часть

На рис. 3 представлена функциональная схема, иллюстрирующая организацию работы системы управления станцией МЦТрРРС.

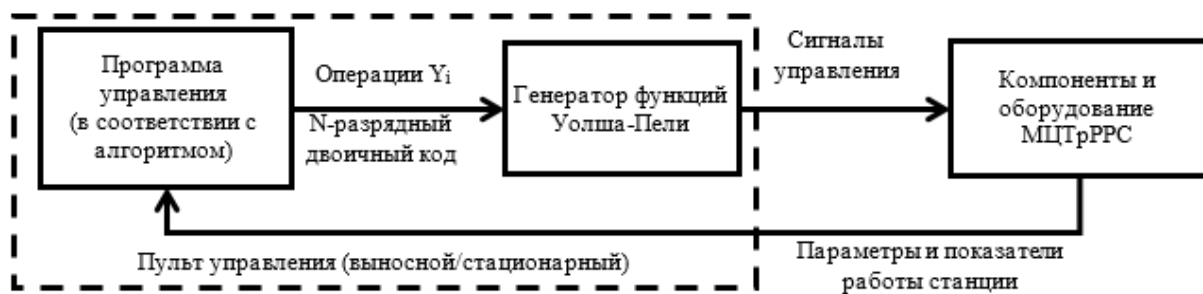


Рис. 3. Функциональная схема системы управления МЦТрРРС

Для исследования формирования функций Уолша-Пели генератором в их соответствии с двоичными кодами операций был создан демонстрационный макет, который реализует работу генератора функций Уолша-Пели внутри выносного/стационарного пульта как основного элемента системы управления. В программе системы управления, разработанной в среде LabView, которая является интерфейсом для взаимодействия оператора со станцией, в соответствии с алгоритмом функционирования [13], выдаются операции Y_i , которые должны далее формировать сигналы управления для всех компонентов МЦТрРРС [14]. Как было обосновано в [9], наиболее оптимальными, в данном случае, являются сигналы, соответствующие ансамблю функций Уолша-Пели. Для их формирования необходимо в пульт управления включить генератор функций Уолша-Пели. Варианты построения таких генераторов рассмотрены в [15]. Ключевым моментом взаимодействия программы системы управления и генератора функций Уолша-Пели является то, что каждой операции из алгоритма управления, которая представ-

лена в двоичном позиционном коде, соответствует «свой» номер функции из ансамбля системы Уолша-Пели.

Структурная схема разработанного образца пульта управления с генератором функций Уолша-Пели представлена на рис. 4. Он состоит из трех основных модулей:

- панели управления, содержащей набор необходимых регуляторов, которые позволяют имитировать приём сигналов, формируемых выносным/стационарным пультом под руководством программы управления в соответствии с алгоритмом функционирования станцией;
- генератора функций Уолша-Пели в виде микропроцессорного модуля;
- панели индикации, содержащей набор светодиодных индикаторов, которые позволяют отобразить форму функции Уолша-Пели формируемой генератором.

Основным компонентом является микропроцессорный модуль, построенный на базе микросхемы МК ATMEGA328 (Arduino Nano V.3).

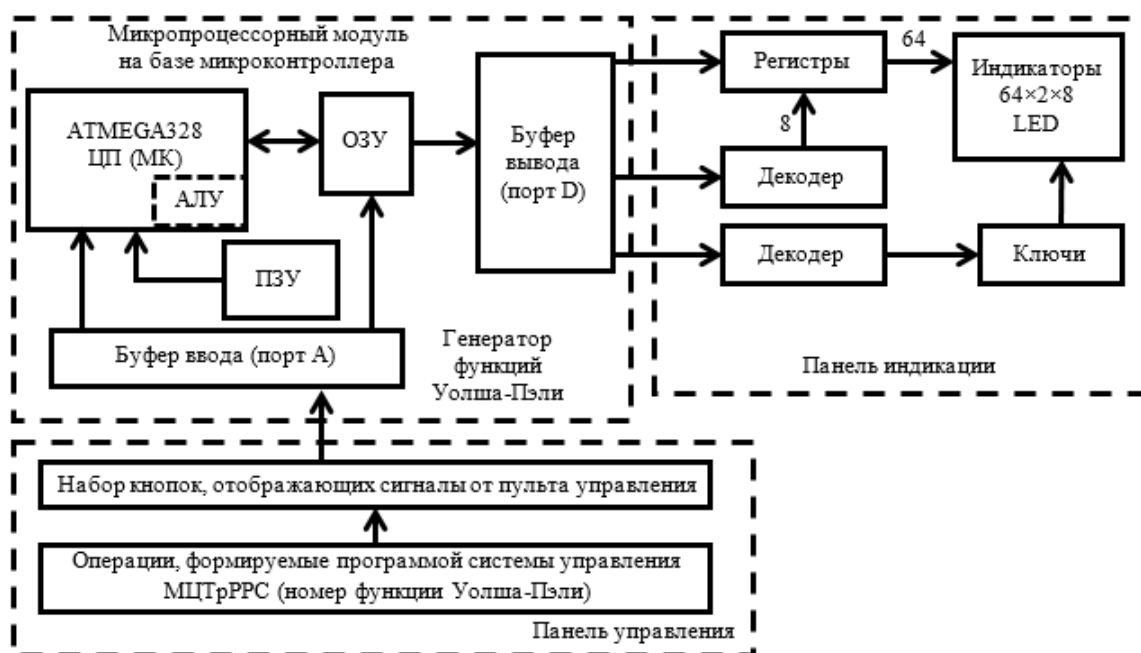


Рис. 4. Структурная схема экспериментального образца с генератором функций Уолша-Пели

Данный модуль поддерживает 2048 байт оперативной памяти и 32 кбайт памяти программ. Для управления светодиодными индикаторами разработана схема динамической индикации с помощью 8-ми разрядных параллельных регистров, так как модуль Arduino имеет 14 цифровых и 8 аналоговых входов-выходов. Каждый вывод данного микропроцессорного комплекта (МПК) может программироваться как на вход, так и на выход двоичного сигнала. Программа микроконтроллера рассчитана на индикацию кода логических единиц верхним рядом светодиодов, и на индикацию кода логических нулей нижним рядом светодиодами созданного экспериментального образца. Индикация соответствует той функции Уолша-Пели, которая в данный момент генерируется. Поэтому, в панели управления экспериментальным образцом на 16 строк предусмотрен 64-х разрядный регистр. В каждой строке имеется 64 светодиода. В данном случае более приемлемым является использование динамической индикации. Этому способствуют следующие факторы: небольшое количество выводов порта ввода/вывода МПК и уменьшенное потребление электропитания.

Внешний вид экспериментального образца пульта управления с генератором функций Уолша-Пели показан на рис. 5.



Рис. 5. Внешний вид

Результаты исследования были проверены экспериментально.

В ходе экспериментального исследования была смоделирована ситуация, когда на синусоидальный сигнал и сигнал на основе функций Уолша-Пели, влияли гармонических, импульсная с постоянными параметрами, импульсная случайного характера, хаотичная последовательность (рис. 6).

Гармоническая помеха может возникать в результате сложной электромагнитной обстановки на самом объекте.

Импульсная с постоянными параметрами и импульсная случайного характера могут возникать как непреднамеренные помехи природного или техногенного характера. Хаотическая последовательность моделирует преднамеренную помеху прицельного характера.

Отметим, что гармоническая и вышеназванные импульсные помехи также могут иметь преднамеренный характер. Формирование типовой электромагнитной обстановки осуществлялось в соответствии с рекомендациями МСЭ Р.372 «Радиопомехи» [16].

Для подтверждения теоретических расчетов проведено компьютерное моделирование в программной среде Electronics Workbench при различных воздействиях помех на полезные сигналы.

Полученные экспериментальные данные подтверждают необходимости применения ортогональных кусочно-непрерывных функций в качестве базовых управляющих сигналов для системы управления МЦТрРРС.

Для экспериментальных исследований разработана структурная схема, представленная на рис. 7.



Рис. 6. Схема воздействия мешающих сигналов на полезный сигнал при проведении эксперимента

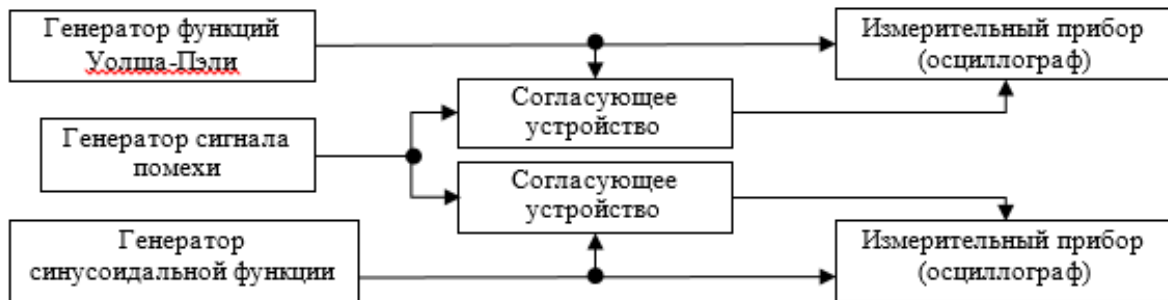


Рис. 7. Схема для исследования воздействия помех на синусоидальные сигналы и сигналы функций Уолша-Пели

Данная схема включает:
 генератор функций Уолша-Пели;
 генератор синусоидальных сигналов;
 генератор сигнала помехи;
 схему согласования исследуемых сигналов и помехи;
 измерительные приборы для анализа полученных результатов.

В программной среде Electronics Workbench генератор функций Уолша-Пели был получен на базе генератора Радемахера (рис. 8).

В качестве формирователя функции Радемахера использовался 5-ти разрядный счетчик, на вход которого подавался тактовый сигнал. Далее с помощью элементов ИЛИ-НЕ сформированы функции по системе Уолша-Пели.

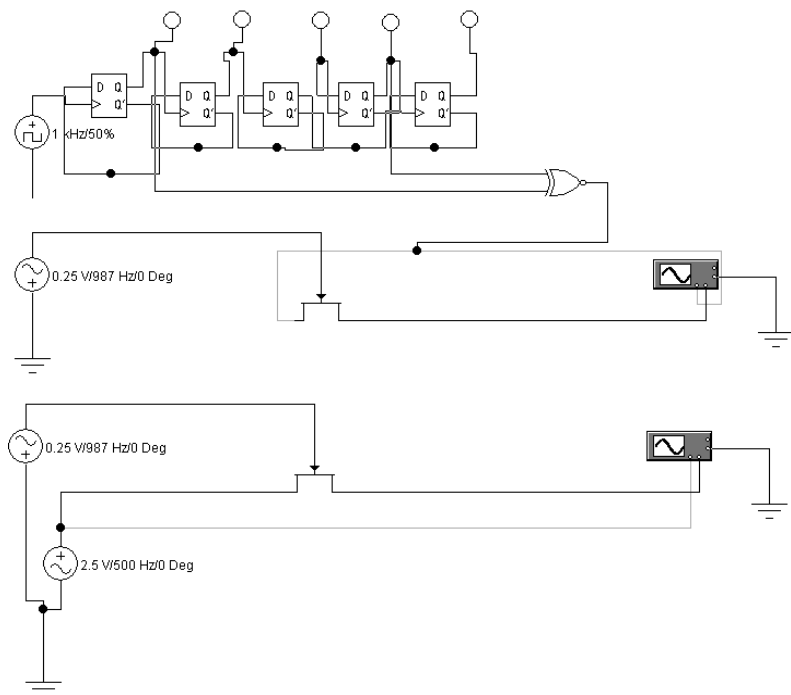


Рис. 8. Схема для проведения эксперимента

В полученных временных диаграммах для удобства представлены не все функции ансамбля, а отдельные: $pal(5, \theta)$, $pal(9, \theta)$ и $pal(16, \theta)$.

При этом результаты моделирования других функций Уолша-Пели являются аналогичными.

В качестве виртуальных измерительных приборов использовались два устройства:

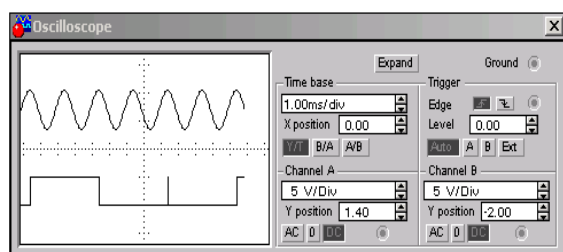
- двухлучевой осциллограф (рис. 9), который позволяет фиксировать изменения как в синусоидальных функциях, так и функциях Уолша-Пели;

- логический анализатор (рис. 10), на котором отображаются формы цифровые сигналов – исход-

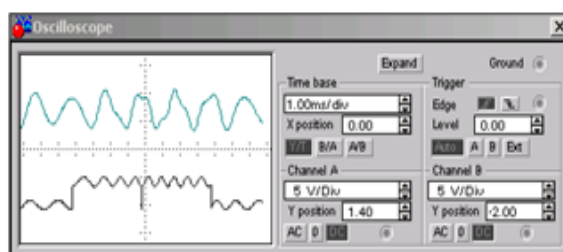
ных, искаженных и восстановленных. Экспериментальное исследование проводилось с использованием генераторов, формирующих воздействие, как синусоидальных составляющих, так и импульсных помех.

Результаты эксперимента по исследованию воздействия разнообразных помех на синусоидальные сигналы и сигналы функций Уолша-Пели приведены в табл. 1.

На их основе были определены коэффициенты искажения ($K_{И}$) для обоих видов сигналов, приведенные в табл. 2.



а



б

Рис. 9. Отображение синусоидальной функции и функции Уолша-Пели $pal(5, \theta)$ над двухлучевым осциллографом в Electronics Workbench:
а – без воздействия помехи; б – при воздействии помехи

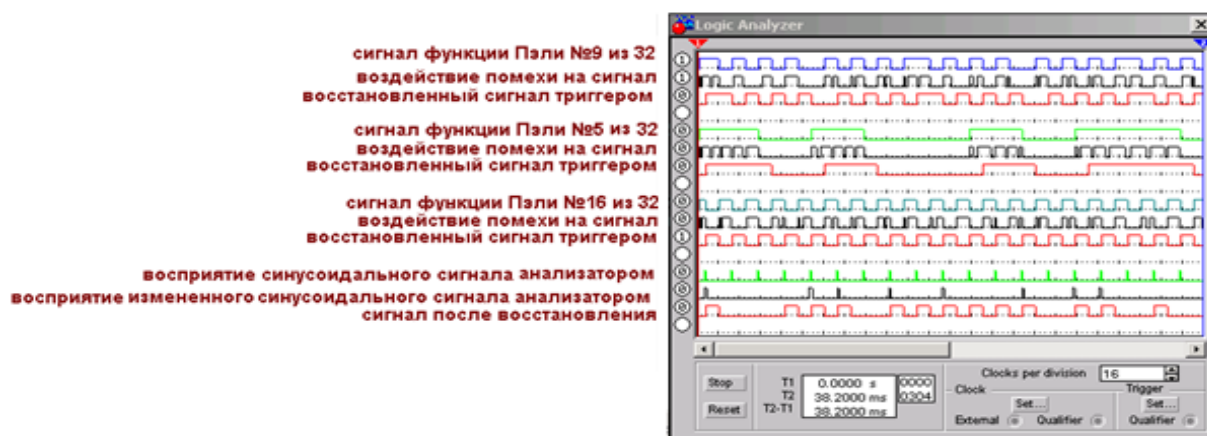


Рис. 10. Логический анализатор в программной среде Electronics Workbench

Таблица 1

Результаты экспериментов при воздействии помех на полезный сигнал

Параметры сигналов помехи/полезных	Форма сигналов Уолша-Пели	Форма синусоидального сигнала
1. Помеха гармоническая (непреднамеренная, преднамеренная)		
$A_{П} = 0,25B$ $A_{sin} = 2,5B$ $A_{sin/П} = 2,34B$ $A_{pal} = 2,5B$ $A_{pal/П} = 2,35B$		

Параметры сигналов помехи/полезных	Форма сигналов Уолша-Пели	Форма синусоидального сигнала
2. Импульсная помеха периодического характера с постоянными параметрами (непреднамеренная)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $S_{\Pi}=3,23$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		
3. Импульсная помеха с переменными параметрами случайного характера (непреднамеренная)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $S_{\Pi}=1,28$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		
4. Хаотическая импульсная последовательность взаимно моделированных сигналов помех с разными характеристиками (преднамеренная)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		

Таблица 2

Коэффициенты искажения сигналов по результатам эксперимента

Тип помехи	Сигнал на базе функций Уолша-Пели	Гармонический сигнал
1. Гармоническая помеха	0,915	0,813
2. Импульсная помеха с постоянными параметрами	0,953	0,655
3 Импульсная помеха случайного характера	0,965	0,615
4. Хаотическая импульсная последовательность	0,877	0,453

Выводы

В работе экспериментально исследовано влияние мешающих сигналов на сигналы управления МЦТрРРС, построенные на базе функций Уолша-Пели. Для сравнения эти же мешающие сигналы воздействовали на гармонические сигналы управления. Результаты сравнительного анализа показали, что предложенный сигнал управления на базе функций Уолша-Пели устойчивый к внешним влияниям в сравнении с синусоидальными сигналами того же

уровня и при тех же уровнях внешнего воздействия. Это свидетельствует в пользу правильного выбора сигналов управления для МЦТрРРС, обладающих высокой устойчивостью к внешним воздействиям, как преднамеренного, так и непреднамеренного характера.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в применении таких сигналов управления, основанных на функциях Уолша-Пели для радиолокационных систем наземного, воздушного и морского базирования.

Список литературы

1. Тузов Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
2. Хармут Х. Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи: Пер. с англ. / Х. Ф. Хармут – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
3. Зимин В. В. Система цифровой связи на базе функций Уолша / В. В. Зимин // Электросвязь. – 2009. – №2. – С. 20-24.
4. Назаров Л.Е. Применение преобразования Уолша-Адамара для итеративного и оптимального посимвольного приема сигналов, соответствующих кодам-произведениям / Л.Е. Назаров // Радиотехника и электроника. – 2002. – №12. – С.1474-1483.
5. Никитин Г.И. Применение функций Уолша в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов / Г.И. Никитин – СПб.: СПбГУАП, 2003. – 86 с.
6. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин – М.: Советское радио, 1978. – 304 с.
7. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы / В.Я. Аверьянов – Минск: Техника, 1978. – 148 с.
8. Почерняев В.Н. Экспертиза технологической части проекта как путь оценки устойчивости сети связи / В.Н. Почерняев // Вестник Ундиза. – 2009. – №3. – С. 66 – 68.
9. Почерняев В.Н. Функции Уолша-Пели для системы управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2016. – №2. – С. 107-113.
10. Патент 112217 Україна, С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняев В.М., Повхлеб В.С. Заявник і патентовласник Почерняев В.М., Повхлеб В.С.; заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016 // Бюл. № 15.
11. Почерняев В.Н. Оценка электромагнитной совместимости радиоизлучающих средств мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станции / В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Современные проблемы и достижения в области радиотехники, телекоммуникаций и информационных технологий: VIII Межд. научно-практическая конференции, Запорожье, 21-23 сентября 2016 г.: тезисы докладов. – Запорожье: ЗНТУ, 2016. – С. 16-22.
12. Почерняев В.Н. Мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция: Оценка ЭМС и устойчивость системы управления / В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Цифрові технології. – 2016. – № 19. – С. 110-116.
13. Повхлеб В.С. Алгоритм функционирования системы управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В.С. Повхлеб // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології» №4(53) – Київ: Державний університет телекомунікацій, 2016. – С. 83-91.
14. Повхлеб В.С. Моделирование системы управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В.С. Повхлеб // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології» №1(54) – Київ: Державний університет телекомунікацій, 2017. – С. 94-103.
15. Почерняев В.Н., Повхлеб В.С. Управление мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Научно-производственный сборник “Научные записки Украинского научно-исследовательского института связи” №6 (34). – 2014. – С. 27-32.
16. P.372-11. Радиосумы: Рекомендация МСЭ-R. – [Действует с 2013-09]. – Женева: ITU, 2014. – 78 с.

Надійшла до редколегії 11.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЇ ЦИФРОВОЇ ТРОПОСФЕРНО-РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ ДІЇ РІЗНИХ СИГНАЛІВ ЗАВАД

В.М. Почерняев, В.С. Повхлеб, В.В. Зайченко

У даній статті розглянуто вирішення завдання з підвищення стійкості системи управління мобільної багатоканальної станції НВЧ діапазону нового типу шляхом використання ортогональних кусково-неперервних функцій в якості сигналів управління. Об'єктом дослідження є процес управління мобільною цифровою тропосферно-радиорелейною станцією як складною телекомунікаційною системою. Предмет дослідження становить експериментальна перевірка системи управління при впливі сигналів завад. Розроблено програмно-апаратний комплекс для експериментального дослідження системи управління мобільною цифровою тропосферно-радиорелейною станцією при впливі різних сигналів завад. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують отримані теоретичні результати з розробкою діючого експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі. Результати експерименту дозволяють рекомендувати розроблену систему управління мобільної багатоканальної станції НВЧ діапазону для практичного використання.

Ключові слова: мобільна цифрова тропосферно-радиорелейна станція, стійкість система управління, ортогональні кусково-неперервні функції, генератор функцій Уолша-Пелі, ненавмисні та навмисні завади.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STABILITY OF CONTROL SYSTEM OF MOBILE DIGITAL TROPOSCATTER-RADIORELAY STATION UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS INTERFERENCE SIGNALS

V.N. Pochernyaev, V.S. Povhleb, V.V. Zaichenko

In this article solved the problem to improve the stability of control system for a new type of microwave multi-channel mobile station through the usage of orthogonal piecewise continuous functions as a control signals The object of research is the process of management of digital mobile troposcatter-radiorelay station as a complex telecommunications system. The subject of research is an experimental verification of the control system under the influence of interfering signals. The software and hardware complex for experimental research for the control system of a mobile digital troposcatter-radiorelay station under the influence of various interfering signals was developed. Experimental researches, which confirming obtained theoretical results, are carried. An experimental sample of control panell with generator Walsh-Paley functions is developed. The experimental results allow recommending the developed control system of mobile multichannel microwave station for practical use.

Keywords: mobile digital troposcatter-radiorelay station, the stability of control system, the orthogonal piecewise continuous functions, the generator of the Walsh-Paley functions, unintentional and intentional interference.

ОПТИМАЛЬНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ СТОХАСТИЧНОГО ІОНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА НАВКОЛО КОСМІЧНОГО АПАРАТА

У статті розглянуто конструкцію пристрою та розроблені рекомендації по утворенню оптимальних умов взаємодії низькотемпературної плазми з іонізованим середовищем навколо корпусу КА. У результаті створення слабоаномальних умов та додавання системи елементарних розрядів, об'єм плазми загального від'ємного випромінювання збільшується в 6 разів, має квазінейтральні та еквіпотенціальні характеристики, що утворює оптимальні умови для зменшення щільності середовища радіопоглинання, з метою безперешкодного проходження сигналів супутникового радіозв'язку.

Ключові слова: стохастичне іоносферне середовище, низькотемпературна плазма, від'ємне випромінювання, щільність плазми, слабоаномальні умови, космічний апарат, радіосигнал.

Вступ

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження взаємодії електромагнітних хвиль з іоносферним середовищем [1] показали, що зменшення щільності високотемпературної плазми, котра утворюється навколо корпусу космічного апарата (КА), цілком можливе та доцільне.

Сучасним методом зменшення щільності іонізованої оболонки, як зазначено у [2], є застосування джерела від'ємного випромінювання – низькотемпературної плазми, котра взаємодіє з плазмовою плівкою, локально зменшуючи її щільність.

Утворення «просвітлених» вікон сприяє безперешкодному проходженню сигналів радіозв'язку із космічним апаратом.

Однак забезпечення оптимальних умов утворення низькотемпературної плазми достатньо складна проблема, котра пов'язана із стохастичною поведінкою властивостей іоносферного середовища [2, 3].

Нестабільність властивостей високо-температурної плазмової плівки пов'язана, насамперед, зі зміною швидкості руху КА та зміною концентрації заряджених частинок іоносфери, залежно від висоти [4].

Розв'язання зазначеної проблеми можливе шляхом дослідження умов утворення низькотемпературної плазми та розроблення пристрою для генерації від'ємного випромінювання із оптимальними параметрами.

Мета роботи – розроблення пристрою та дослідження умов взаємодії низькотемпературної плазми зі стохастичним іонізованим середовищем навколо КА, для безперешкодного проходження сигналів супутникового радіозв'язку.

Виклад основного матеріалу

Геометрія розрядного проміжку складається із довжини стрижневих анодів та катодів, розташованих рівномірно по твірній циліндра вздовж внутрішньої циліндричної поверхні розрядної камери.

За такого розташування анод та катод чергуються між собою так, що будь-яка пара сусідніх стрижневих електродів являє собою анод та катод, та утворює окремий елементарний розрядний проміжок. При цьому кожен анод (та катод) знаходиться між двома катодами (анодами).

Така геометрія розташування електродів зв'язує окремі розрядні проміжки в один загальний розрядний проміжок.

Діаметр стрижневих електродів підбирається так, щоб він суттєво не зменшував прозорість розрядного проміжку. Найбільш оптимальний діаметр електродів знаходиться в межах 0,8 – 3 мм. Довжина електродів l вибиралась так, щоб діаметр розрядного проміжку D був значно меншим $l \cdot (D \ll l)$. Це необхідно для зменшення впливу торцевих неоднорідностей у процесі розряду. В цілому розрядний проміжок являє собою прозорий циліндр, із чіткими межами, як наслідок, розряд у подальшому називається локалізованим.

Для розташування електродів по колу в конструкцію розрядного пристрою введені анодотримачі та катодотримачі. Кожен із цих елементів складається із металевого кільця з отворами для стрижневих анодів (або катодів) та двох циліндричних обойм із діелектрика, котрі повністю ізолюють кінці електродів із кільцем від розрядного процесу (рис. 1).

В анодотримачі всі аноди з'єднані металевим кільцем та мають один вивід через діелектрик у скляну камеру. Аналогічний вивід є від катодотримача.

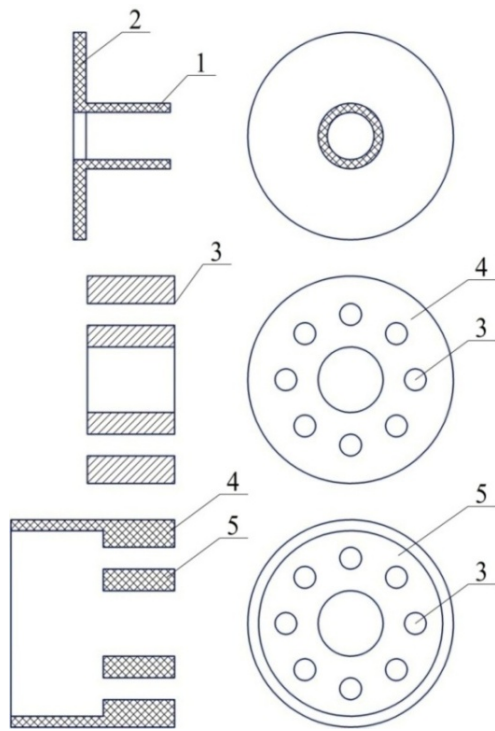


Рис. 1. Конструкція розрядного пристрою:
1 – ізоляція електродотримача; 2 – торцева ізоляція;
3 – напрямна стрижневих електродів; 4 – металевий електродотримач; 5 – ізолятор електродів

Оскільки плазма локалізованого розряду утворюється в просторі, створеному системою електродів, її поверхня для взаємодії із швидкими електронами значно більша, ніж аналогічна поверхня плазми від'ємного випромінювання звичайного розряду, що жевріє.

За умов достатньо великої протяжності плазми, коли довжина локалізованого розряду L значно більша за його діаметр $L \gg D$, поверхня плазми, котра взаємодіє зі швидкими електронами, є основою. Як наслідок, емісія плазми є єдиним процесом безпосередньої взаємодії із навколишніми тілами, оскільки амбіполярна дифузія зарядоносіїв на внутрішні стінки вакуумної камери малоімовірна. Характерно, що в даному розряді емісія плазми є не двосторонньою, як це має місце в класичній плазмі від'ємного випромінювання, а односторонньою, оскільки стрижневі анод та катод розташовані на дуже малій відстані один від одного.

У результаті використання ν - процесів із усієї площі плазми, призведе до більш інтенсивного переносу електричного заряду між анодами та катодами, що повинно вплинути на збільшення електропровідності всього розряду.

У газорозрядному локалізованому пристрої плазма випромінювання утворюється не між електродами, а в центрі електродної системи циліндричного стовпа. Це відбувається в результаті того, що між сусідніми стрижневими електродами встановлюється така відстань l , за умови вибраного тиску

газу p , що нормальний розряд не вміщається, тобто має місце умова

$$l_p > l_0 p_0 \quad (1)$$

де p_0 – тиск газу при 133,3 Па, l_0 – відстань між електродами, котра необхідна для розміщення нормального короткого розряду, що жевріє, коли тиск p_0 .

За цієї умови розрядні зони будуть зміщуватись у тому напрямку, де вони мають вільний простір. Оскільки кожна пара стрижневих електродів створює короткий розряд, більше всього зміщується від'ємне випромінювання. Так як центральна область розрядного проміжку вільна від електродів, в неї і зміщуються розрядні зони катодної області.

В розглянутому локалізованому пристрої створюються неповні ускладнені умовами розряду, їх можна назвати односторонні ускладнені умови.

Із експериментальних досліджень компланарного розряду встановлено, що за ускладнених умов анод та катод можна наблизити до дуже малої відстані між ними та поєднувати їх в одній площині. На основі цього в локалізованому пристрої стрижневі аноди та катода розміщені на одній циліндричній поверхні на відстані $0,25l_0$, тобто:

$$l_p = 0,25l_0 p_0 \quad (2)$$

Близьке розташування стрижневих анодів та катодів під час створення ускладнених умов відображається на характері сумарного електричного поля локалізованого розрядного проміжку. За допомогою електролітичної ванни було проведено дослідження форми розрядного проміжку, котре показало, що в центральній області цього проміжку локалізується еквіпотенціальний простір без електростатичного поля (рис. 2).

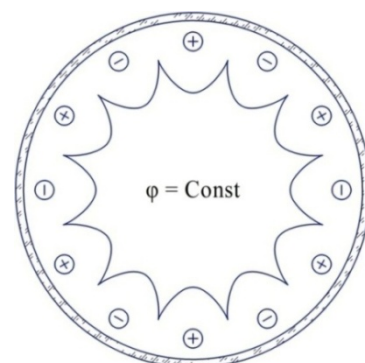


Рис. 2. Геометрія електростатичного поля локалізованого розрядного проміжку:
+ стрижневі аноди; – стрижневі катода

Ця обставина має суттєвий вплив на плазму локалізованого розряду.

Під час запалювання розряду в локалізованому пристрої між кожною парою стрижневих електродів встановлюється по всій їх довжині короткий розряд,

що жевріє, в котрому внаслідок односторонніх ускладнених умов всі від'ємні випромінювання витісняються в центральну область електродної системи. Оскільки всі від'ємні випромінювання ідентичні, стикаються один із одним та зливаються, вони утворюють одне загальне від'ємне випромінювання, котре має форму яскравого стовпа та розміщується точно по осі всього розрядного проміжку. За вказаних умов радіус плазми загального випромінювання r визначається як різниця R та d :

$$r = R - d \quad (3)$$

де d – товщина темного крукового простору, котра є функцією тиску газу та аномальності розряду.

За умови усталеного розряду плазму загального випромінювання добре видно у вигляді суцільного циліндра, котрий випромінюється по всій довжині розрядного проміжку. В поперечному випромінюванні форма розряду має вигляд випромінюючого суцільного кола.

Для нормального розряду, що жевріє, виконується рівність $dr = d_0p_0$, причому d_0p_0 – приведена товщина темного крукового простору 133,3 Па. Аналогічно можна записати співвідношення і для нормального короткого розряду, що жевріє, де $l_0p_0 = d_0p_0 + Lp_0$, тоді

$$lp = l_0p_0. \quad (4)$$

З урахуванням (2) відстань між стрижневими електродами дорівнює:

$$l = \frac{d_0p_0}{4p}. \quad (5)$$

Коли задані радіус розрядного пристрою R та кількість електродів N , відстань між електродами дорівнює:

$$l = \frac{2\pi R}{N}. \quad (6)$$

Прирівнявши (4) та (5), отримано, що загальне число стрижневих електродів, необхідних для утворення газорозрядної плазми в пристрої, визначається радіусом R та тиском газу, котрим наповнений об'єм $-p$, матеріалом катода та родом газу d_0p_0 :

$$N = 2\pi \frac{R_p}{d_0p_0}. \quad (7)$$

Між N, R та p встановлюється взаємна залежність. Якщо задані N, R та p , радіус розрядного проміжку визначається співвідношенням:

$$R = \frac{Nd_0p_0}{8\pi p}. \quad (8)$$

Для будь-якого варіанта конструкції пристрою (R та N), матеріалу катода та роду газу, тиск газу, котрим наповнений об'єм, буде визначатися виразом

$$p = \frac{Nd_0p_0}{8\pi R}. \quad (9)$$

Приведена довжина нормального короткого розряду d_0p_0 визначається із експерименту за мінімальним значенням величини катодного падіння потенціалу U_k .

Слід зазначити, що за умови постійного діаметру розрядного пристрою за співвідношенням (7) число електродів зростає зі збільшенням тиску газу. В свою чергу тиск p газу зростає зі зменшенням R і збільшенням N та d_0p_0 .

Отже, для дослідження локалізованої плазми, коли тиск газу незначний, геометрія розрядного пристрою повинна мати великий діаметр D та мінімальне число електродів N , а за великих тисків – малий D та великий N .

Радіус плазми r повинен визначатися як різниця R та d – ширини темного крукового простору.

$$rp = \frac{Nd_0p_0}{8\pi} - dp \quad (10)$$

Однією із характерних властивостей локалізованої плазми, в даному газорозрядному пристрої, є збільшення об'єму за рахунок ефекту, котрий утворюється умовами слабоаномального розряду та додавання великого числа елементарних розрядів. В результаті цього ефекту об'єм плазми загального випромінювання $V_{\text{с\`a}}$ перевищує сумарний об'єм від'ємного випромінювання всіх елементарних об'ємів, тобто

$$V_{\text{с\`a}} > \sum_{i=1}^n V_i, \quad (11)$$

де V_i – об'єм окремого від'ємного випромінювання.

Перевищення $V_{\text{с\`a}}$ відносно $\sum_{i=1}^n V_i$ можна визначити порівнявши даний розряд із розрядом плоскопаралельного проміжку, в якого площа катода еквівалентна площі всіх катодів багатоелектродного проміжку. В цьому випадку порівняння відношення вказаних об'ємів повинно бути рівним:

$$\gamma = \frac{V_{\text{с\`a}}}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (12)$$

де $V_{\text{с\`a}} = \pi r^2 l_c$;

l_c – довжина розрядного проміжку, довжина стрижневих катодів;

r – радіус плазми загального випромінювання, котра за експериментальними вимірами, коли тиск аргону $p = 66,67$ Па, дорівнює 65% радіуса розрядного проміжку.

Оскільки в електродному проміжку, із $N = 16$, площа восьми катодів рівна $S = 8\pi d l_c$, то сумарний об'єм від'ємних випромінювань буде дорівнювати

$$\sum_{i=1}^n V_i = 8\pi d l_c L_{\text{с\`a}}, \quad (13)$$

де d – діаметр катодів; $L_{\text{с\`a}}$ – довжина від'ємного випромінювання, котра, згідно з [5], коли $p = 66,67$ Па

аргону та відповідному слабоаномальному режимі розряду, рівна 10^{-2} м. Із урахуванням рівності (13) співвідношення об'ємів має вигляд

$$\gamma = \frac{r^2}{8dL_{ca}}. \quad (14)$$

За відповідних однакових умов у вказаних розрядах плазми загального випромінювання більше ніж у 6 раз перевищує сумарний об'єм від'ємного випромінювання ($\gamma = 6,25$). Оскільки в плоскопаралельному проміжку $L \sim \frac{1}{P}$, а в багатоелектродному $r \sim P$, то зі зростанням тиску газу значення γ стає ще більшим.

Як наслідок, у даному пристрої коли створюються слабоаномальні умови та додаються системи елементарних розрядів, можна значно збільшити об'єм плазми від'ємного випромінювання, окрім того бічна поверхня цієї плазми збільшується ще більше.

Висновки

У рамках статті розроблено конструкцію пристрою для генерації штучної низькотемпературної плазми. У даному локалізованому пристрої плазма утворюється не між електродами, а в центрі електродної системи циліндричного стовпа. Близьке розташування стрижневих анодів та катодів під час створення ускладнених умов відображається на характері сумарного електричного поля локалізованого розрядного проміжку.

У розробленому пристрої під час створення слабоаномальних умов та додавання системи елементарних розрядів, значно збільшується об'єм плазми від'ємного випромінювання.

В результаті цього ефекту об'єм плазми загального випромінювання перевищує сумарний об'єм від'ємного випромінювання всіх елементарних об'ємів у 6 разів. Окрім того бічна поверхня цієї плазми збільшується в кілька разів.

Низькотемпературна плазма від'ємного випромінювання має еквіпотенціальні та квазінейтральні характеристики.

Зазначені характеристики утворюють оптимальні умови для взаємодії з плазмовою високотемпературною плівкою, з метою локального зменшення її щільності. Як наслідок, утворюються стабільні «просвітлені» вікна, що сприяє безперешкодному проходженню радіосигналів зв'язку із КА.

Список літератури

1. Гавриленко, В.Г. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме / В.Г. Гавриленко, В.А. Яшинов // Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 101 с.
2. Шефер, О.В. Формування завадостійкого каналу зв'язку із космічним апаратом шляхом зниження щільності плазми ударної хвилі / О.В. Шефер // Науково-технічний журнал «Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України». – Харків: ХНУПС ім. Івана Кожедуба. – 2017. – №. 2 (27). – С. 131-134.
3. Курнаев, В.А. Плазма- XXI век / В.А. Курнаев. – М.: МИФИ, 2008. – 90 с.
4. Куницын, В.Е, Радиотомография ионосферы / В.Е. Куницын, Е.Д. Терещенко, Е.С. Андреева. – М.: Физматлит, 2007. – 345 с.
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 15.07.2017

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

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИОНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ ВОКРУГ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.В. Шефер

В статье рассмотрена конструкция устройства и разработаны рекомендации по созданию оптимальных условий взаимодействия низкотемпературной плазмы с ионизированной средой вокруг корпуса КА. В результате создания слабоаномальных условий и добавления системы элементарных разрядов, объем плазмы общего отрицательного излучения увеличивается в 6 раз, имеет квазинейтральные и эквипотенциальные характеристики, образует оптимальные условия для уменьшения плотности среды радиопоглощения, с целью беспрепятственного прохождения сигналов спутниковой радиосвязи.

Ключевые слова: стохастическая ионосферная среда, низкотемпературная плазма, отрицательное излучение, плотность плазмы, слабоаномальные условия, космический аппарат, радиосигнал.

OPTIMAL LOW-TEMPERATURE PLASMA CONDITIONS CREATION FOR THE REDUCTION OF STOCHASTIC IONIZED ENVIRONMENT DENSITY AROUND THE SPACE CRAFT

O.V. Shefer

In this article the construction of device is considered and the recommendations for the optimal conditions of low-temperature plasma interaction with the ionized environment around the SC's corps are developed. As a result of weakly-complicated conditions creation and systems of elementary discharges summation, the volume of plasma with general negative radiation increases in 6 times, has quasi-neutral and equipotential characteristics that creates optimal conditions for density of radio-absorption environment reduction, with the purpose of unimpeded satellite telecommunication signals' passage.

Keywords: stochastic ionosphere environment, low-temperature plasma, negative radiation, plasma density, weakly-complicated condition, space craft, radio signal.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Антонова-Рафі Ю.В.	12	Князев В.В.	95	Повхліб В.С.	150
Артеменко А.М.	18	Коваленко О.В.	66	Почерняев В.М.	150
Артюх Р.В.	72	Косенко В.В.	72	Рева С.М.	22
Ахмед Ібрахим		Косенко Н.В.	80	Свид І.В.	35
Джабер Альзубайді	3	Кравченко В.І.	95	Семенов С.Г.	100
Бабенко Ю.В.	38	Кропачек О.Ю.	56	Сергієнко С.А.	128
Белоцький О.О.	72	Кучук Н.Г.	83	Серков О.А.	95
Боряк Б.Р.	6	Левченко Л.О.	9	Сільвестров А.М.	6
Верещак К.К.	119	Леві Л.І.	47	Стервоєдов М.Г.	22
Гатило В.П.	124	Ліпчанська О.В.	100	Стрельницький О.О.	105
Глива В.А.	9	Лисенко І.В.	133	Струцінський О.В.	18
Гонтар М.М.	51	Ляшенко Г.Т.	141	Сукач С.В.	128
Гунченко В.О.	137	Макогон О.А.	137	Темніков В.О.	108
Гусинін А.В.	12	Малахова М.О.	22	Удовенко С.Г.	111
Данова М.О.	119	Малюк В.Г.	141	Федорончак Т.В.	111
Дорогобід В.П.	3	Миронова Н.О.	111	Філатова Л.Д.	42
Дубницький В.Ю.	42	Нелюба Д.М.	51	Ходирев О.І.	42
Зайченко В.В.	150	Нечипоренко А.С.	88	Чорний О.П.	128
Зачепа Н.В.	128	Ніколаєв К.Д.	9	Шефер О.В.	158
Зачепа Ю.В.	128	Нурієв Р.Ш.	27	Шипова Т.М.	60
Іохов О.Ю.	141	Паржин Ю.В.	95	Шишацький А.В.	143
Іщенко О.М.	143	Пермінов А.І.	22	Шостак І.В.	38, 119
Капітан Р.Б.	119	Персіянова О.Ю.	72	Шульга О.В.	51
Карлов В.Д.	18	Петровський О.М.	47	Яровий А.В.	12
Кассем Халіфе	60	Пічугін І.М.	18		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 5 (45)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Львіна*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 20,25. Тираж 150 прим. Зам. 928-17

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. Широнінів, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua