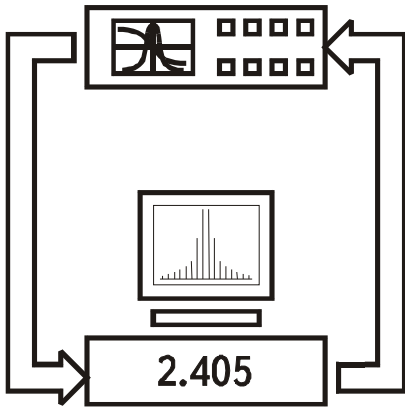


ISSN 2219-9365



*МІЖНАРОДНИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ*

**ВИМІРЮВАЛЬНА
ТА
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА
В
ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСАХ**



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Міжнародний науково-технічний журнал

ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Заснований в травні 1997 р.

Виходить 4 рази на рік

Хмельницький, 2015, №3 (52)

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету, протокол № 3 від 28.10.2015 р.**

Засновники: Хмельницький національний університет
Українська технологічна академія (м. Київ)
Видавець: Хмельницький національний університет

Затверджене як фахове видання постановою президії ВАК України від 10.02.2010 № 1-05/1
Включено у РИНЦ (дог. № 212-04/2013) http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37653
Index Copernicus <http://jmi2012.indexcopernicus.com/+++++,p24781565,3.html>
Google Scholar http://scholar.google.com.ua/citations?user=nwN_nusAAAAJ&hl=uk

Головний редактор д.т.н., проф. І.В. Троцишин
**Заступник головного редактора та
голова редакційної колегії** д.т.н., проф. В.Т. Кондратов
Відповідальний секретар к.т.н., доц. К.Л. Горященко

Редакційна колегія:

Бубулис Алгимантас, д.т.н., проф. (Литва); Вільям Кей Джі, д.т.н., проф., (Республіка Корея);
Водотовка В.І., д.т.н., проф.; Дивак М.П., д.т.н., проф.; Дудикевич В.Б., д.т.н., проф.;
Жултовський Богдан, д.т.н., проф. (Польща); Зленко С.М., д.т.н., проф.; Каплун В.Г., д.т.н., проф.;
Кичак В.М., д.т.н., проф.; Кожемяко В.П., д.т.н., проф.; Коробко Є.В., д.т.н., проф. (Білорусія);
Косенков В.Д., к.т.н., проф.; Кузьмін І.В., д.т.н., проф.; Лепіх Я.І., д.ф.-м.н., проф.;
Мансуров Тофік Магомедович, д.т.н., проф. (Азербайджан); Мельник А.О., д.т.н., проф.;
Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., проф. (Грузія); Павленко Ю.Ф., д.т.н., проф.; Павлов С.В., д.т.н.,
проф.; Підченко С.К., д.т.н., проф. ; Попов Валентин, д. природничих н., проф. (Німеччина);
Проценко М.Б., д.т.н., проф.; Пунчеко О.П., д.філ.н., проф.; Ройзман В.П., д.т.н., проф.; Романюк В.В.,
д.т.н., доцент; Романюк О.Н., д.т.н., проф.; Ротштейн Олександр Петрович, д.т.н., проф. (Ізраїль);
Сопрунюк П.М., д.т.н., проф.; Стахов Олексій Петрович, д.т.н., проф. (Канада), Стенцель Й.І., д.т.н.,
проф.; Сурду М.М., д.т.н., проф.; Філінюк М.А., д.т.н., проф.; Шарпан О.Б., д.т.н., проф.

Технічний редактор К.Л. Горященко

Адреса редакції: редакція журналу "Вимірювальна та обчислювальна техніка в
технологічних процесах", (кімн. 4-402), Хмельницький національний
університет, вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

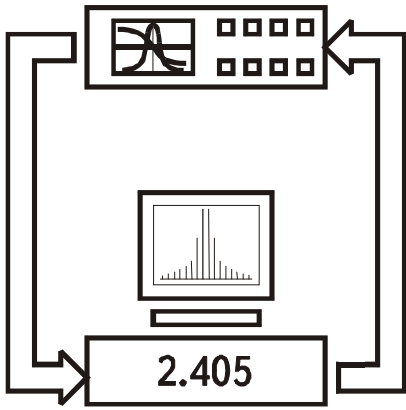
Тел: (+38) 097-684-34-29. **E-mail:** vottp.tiv@gmail.com

web: <http://fetronics.ho.com.ua>
<http://journals.khnu.km.ua/vottp/>

Зареєстровано Міністерством юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №16040-4512ПР від 16 грудня 2009 року.

© Хмельницький національний університет, 2015
© Редакція "Вимірювальна та обчислювальна
техніка в технологічних процесах", 2015

ISSN 2219-9365



*INTERNATIONAL
SCIENTIFIC-TECHNICAL
MAGAZINE*

**MEASURING
AND
COMPUTING
DEVICES
IN
TECHNOLOGICAL
PROCESSES**



KHMELNITSKY

International scientific-technical magazine

**MEASURING AND COMPUTING DEVICES
IN TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Founded in 1997 May

Published 4 times in a year

Khmelnytsky, 2015, №3 (52)

Advised for printing by solution of scientific council of
Khmelnytsky national university, protocol № 3 from 28.10.2015

Founders Khmelnytsky national university, Khmelnytsky, Ukraine
Ukrainian Technological Academy, Kyiv, Ukraine

Publisher Khmelnytsky national university, Khmelnytsky, Ukraine

Approved as a professional publication the decision
of Higher Attestation Commission
at 10.02.2010, № 1-05/1

http://vak.org.ua/docs/prof_journals/journal_list/whole.pdf

Included in Russian Index
of Scientific Citations
according to the contract № 212-04/2013
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37653

Approved as a professional publication
Included in Russian Index of Scientific
Citations (№ 212-04/2013)
Index Copernicus
Google Scholar

The decision of Higher Attestation Commission, 10.02.2010, № 1-05/1
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37653
<http://jml2012.indexcopernicus.com/+++++,p24781565,3.html>
http://scholar.google.com.ua/citations?user=nwN_nusAAAAJ&hl=uk

Chief Editor

Ivan V. Trotsishin, prof., doctor of science

Deputy Editor and Chairman of Editorial Board

V.T. Kondratov, prof., doctor of science

Executive Secretary

K.L. Horiashchenko, associate prof.

Editorial board:

Algimantas Bubulis, prof. (Lithuania); **Vilyam Kay Dzhi**, prof., (Republic of Korea); **Vodotovka V.I.**, Prof. ;
Divak M.P., prof. ; **Dudikevich V.B.**, prof. ; **Zhultovsky Bogdan**, prof. (Poland); **Zlepko S.M.**, prof. ;
Kaplun V.G., prof. ; **Kychak V.M.**, prof. ; **Kozhemyako V.P.**, prof. ; **Korobko E.V.**, prof. (Belarus);
Kosenkov V.D., Prof. ; **Kuzmin I.V.**, Prof. ; **Lepih YA.I.**, prof. ; **Mansurov Tofik Magomedovich**, prof.
(Azerbaijan); **Melnik S.A.**, prof. ; **Natriashvili Tamaz Mamievich**, prof. (Georgia); **Pavlenko Yu.F.**, prof. ;
Pavlov S.V., prof. ; **Pidchenko S.K.**, prof. ; **Valentin Popov**, prof. (Germany); **Protsenko M.B.**, prof. ;
Puncheko O.P., prof. ; **Roizman V.P.**, prof. ; **Romaniuk V.V.**, associate professor; **Romanyuk O.N.**, prof. ;
Rothstein Oleksandr Petrovich, prof. (Israel); **Soprunyuk P.M.**, prof. ; **Stakhov Olexiy Petrovic**, prof.
(Canada), **Stenzel Y.I.**, prof. ; **Surdu M.M.**, prof. ; **Filinyuk M.A.**, prof. ; **Sharpan O.B.**, prof. .

Technical editor **K.L. Horiashchenko**

Address of editorial office: *editorial office of magazine "Measuring and Computing Devices in
Technological Processes", Khmelnytsky national university, Ukraine,
29016, Khmelnytsky, 11 Institutaska str., (4-402 room),*

phone: (+38) 097-684-34-29 (Russian and Ukrainian only) **E-mail:** vottp.tiv@gmail.com

web: <http://fetronics.ho.com.ua>
<http://journals.khnu.km.ua/vottp/>

Subscribed by Ministry of Justice of Ukraine
Certificate about governmental registration of publishing means of mass information
Series "KV" №16040-4512PR, December ,16, 2009.

© Khmelnytsky national university, 2015
© Magazine "Measuring and Computing
Devices in Technological Processes", 2015

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ	
V.F. TIMKOV, S.V. TIMKOV, V.A. ZHUKOV. PLANCK UNIVERSAL PROPORTIONS. GRAVITATIONAL - ELECTROMAGNETIC RESONANCE	7
В.А. ВЫШИНСКИЙ. СКАЛЯРНАЯ И ВЕКТОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ...	12
М.Ф. БОГОМОЛОВ, В.В. МАЛИШЕВ, А.А. ТРОЦ. ПЕРСПЕКТИВИ УТВОРЕННЯ НОВИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	22
В.А. ТОЛБАТОВ, О.А. ДОБРОРОДНОВ, А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО, С.В. ТОЛБАТОВ. ОЦІНКА ПОВНОТИ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ВІДМОВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ	30
В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ НА ИЗНОС РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	34
ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ	
В.Ю. КУЧЕРУК, П.І. КУЛАКОВ, Т.В. ГНЕСЬ, С.А. ПАЛАМАРЧУК. ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ МАСОВОЇ ЧАСТКИ МОЛОКА У ВОДНО-МОЛОЧНОМУ РОЗЧИНІ	38
Л. А. МИХЕЕНКО, М. С. МАМУТА. СИСТЕМА ОПТИЧЕСКИ-СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ. ЧАСТЬ 2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, МЕТРОЛОГИЯ	44
А.А. РОГАТЮК. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИБОРУ РОЗМІРІВ КОНТРОЛЬНИХ ЗРАЗКІВ ВІД ВІДСОТКА ДЕТЕКТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДЕО	52
Р.В. КРИНОЧКІН, О.М. ЖАГЛОВСЬКА, Л.А. РОГОЗІНА. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ В КРЕМНІЄВИХ ПЛАСТИНАХ p-n ПЕРЕХОДІВ ТА ПРИХОВАНИХ ШАРІВ ПРИ ДІЇ УЗ КОЛИВАНЬ І МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ	58
О.О. ГОЛЕМБОВСЬКИЙ. АНАЛІЗ ПОРОГОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ОБСЯГУ ПСЕВДОАКОМОДАЦІЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКА	64
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ	
А.О. ТУРОВСЬКИЙ, Ю.Ф. ЗІНЬКОВСЬКИЙ, Ю.К. СИДОРУК. МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО ОПРОМІНЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ	69
О. М. ВАСІЛЕВСЬКИЙ. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КРУТНОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ НЕПЕВНОСТІ	75
А.М. ЛУПЕНКО. ВИСОКОЧАСТОТНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОЇ ЛАМПИ	80
М.В. ЗИНЧЕНКО, Ю.Ф. АДАМЕНКО, Ю.Ф. ЗІНЬКОВСКИЙ. ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕМАСКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РАССЕЙВАТЕЛЕЙ	86
О.В. ОСАДЧУК, О.О. СЕЛЕЦЬКА, В.В. МАРТИНЮК. ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ МАГНІТОТРАНЗИСТОРА ТА АКТИВНО – ІНДУКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТА	91
Г.Г. БОРТНИК, О.Г. БОРТНИК, Н.О. ПУНЧЕНКО. ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ	95
І.В. ГУЛА, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.В. МШАН. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ	100
О.Р. ОСОЛІНСЬКИЙ. ВДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ	104
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ	
С.М. БАБЧУК. АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИБОРУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	109
Е.М. РУДОЙ, М.М. ГАДЖИЕВ, МУСТАФАЗАДЕ Н.Х. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ "INTERFEYS" ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	114
А.А. СТОПАКЕВИЧ, К.Ю. КОМАРОВ. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ WEB-СЕРВЕРА	118
І.П. СТРУБИЦЬКА. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ ОБЧИСЛЕНЬ НА GPU З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ АРХІТЕКТУР	123
БІОМЕДИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ	
Н.І.ПАДЛЕЦЬКА, М.П.ДИВАК, А.В.ПУКАС, Ю.А.ГОРДІЄВИЧ, С.П.ВАЛЬЧИШИН. ПРОГРАМНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА	131

М.Ф. БОГОМОЛОВ, Г.П. КАНЬШИНА, І.О. КАНЬШИН. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ФОРМЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КРОВІ ЛЮДИНИ.....	138
Д.В. ЗАЙЦЕВ, С.В. КЛИМОВ, Н.Ф. БОГОМОЛОВ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОГО ПНЕВМОПРЕССИНГА	145
С.И. ВЯТКИН, С.В. ПАВЛОВ, С.А РОМАНИЮК. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ	150
Я.В. САВЕНКО. ІННОВАЦІЙНІ ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МЕДИКО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ.....	153
Ю.М. ЧАЙКІВСЬКА, Р.М. ПАСІЧНИК. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ДОБОВОЇ ДИНАМІКИ ГЛКЕМІЇ ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ.....	156

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ

А.О. ШЕРОК. ON BASIC FEATURES OF EM SIGNAL TRANSPORTING ALONG LINEAR WAVEGUIDES COMPOSED OF NOBEL METAL NANOSPHERES	161
V.F. ТІМКОВ, G.D. ВРАТЧЕНКО, V.A. ЗНУКОВ. IMPROVING THE QUALITY OF DECISION MAKING, IN THE STATISTICAL RECOGNITION SYSTEM BASED ON A COMPREHENSIVE CONSIDERATION IN THEIR DECISIVE RULES, ALL THE INFORMATION FROM THE MATRIX OF THE PROBABILITY OF RECOGNIZING THE OBJECT'S CLASS AND THE DEGREE OF INFORMATIVITY OF SIGNS.....	166
В.П. КВАСНИКОВ, Т.І. ГАНЄВА. НОВА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦІЙ.....	169
М.Ф. БОГОМОЛОВ, А.А. ТРОЦ, В.Л. ГОНЧАРУК. РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	174
Г.М. КЛЕЩОВ, І.В. ПОЛІТУЧИЙ. РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НАВЕДЕНОЇ ПОХИБКИ ВІД НЕЛІНЕЙНОСТІ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЛАЗЕРНИХ ПРИЛАДІВ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ШТАМПІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАБУДУВАННЯ.....	179
Е. В. ОШАРОВСКАЯ. АДАПТИВНОЕ СЕТОЧНОЕ СЖАТИЕ 3D ТВ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОМАСШТАБНЫХ МНОГООБРАЗИЙ.....	183
М.П. ДИВАК, С.Я. КРЕПИЧ, Т.М. ДИВАК, В.І. МАНЖУЛА. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПО ВИГОТОВЛЕННЮ ГІПСОКАРТОНУ В УМОВАХ ЗМІННИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИРОВИНИ	186
О.Н. РОМАНИЮК, О.О. ДУДНИК, С.І. ВЯТКІН. МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ.....	193
Т.О. САВЧУК, Н.В. ПРИЙМАК. ПОШУК АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В МАРКЕТИНГОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	196

ПРЕЦИЗІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

V.F. ТІМКОВ, S.V. ТІМКОВ. ROTATING SPASE OF THE UNIVERSE, AS A SOURCE OF DARK ENERGY AND DARK MATTER.....	200
Ю.С. ГОРОХОВ, Н.В. ЗАХАРЧЕНКО, В.В. КОРЧИНСКИЙ, Б.К. РАДЗИМОВСКИЙ. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	204
І.В. МАЛЕЦЬКА. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАНЯТТЯХ З ІНОЗЕМНОЇ МОВИ У ВНЗ	208
Н.В. ЗАХАРЧЕНКО, М.М. ГАДЖИЕВ, Д.Н. БЕКТУРСУНОВ, Е.А. ОСАДЧУК. УВЕЛИЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ НАЙКВИСТОВОГО ЭЛЕМЕНТА В БИНАРНОМ КАНАЛЕ ПРИ ТАЙМЕРНЫХ КОДАХ	214
Кондратову Владиславу Тимофеевичу – 70 лет	218

УДК 001.5:53.02:53.05

V.F. TIMKOV
The Office of National Security and Defense Council of Ukraine
S.V. TIMKOV, V.A. ZHUKOV
Research and Production Enterprise «TZHK»PLANCK UNIVERSAL PROPORTIONS.
GRAVITATIONAL - ELECTROMAGNETIC RESONANCE

For every object of the Universe, which is endowed with a mass ratio of Planck's constant – mass, length and time equal to the corresponding ratio of the mass of the object and its characteristic spatial and temporal parameters – the length of a gravitational wave and the delay time.

Keywords: proportion of Planck's constant, the gravitational potential, gravitational-electromagnetic resonance.

В.Ф. ТИМКОВ
Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины
С.В. ТИМКОВ, В.А. ЖУКОВ
Научно-производственное предприятие «ТЖК»

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРОПОРЦИИ ПЛАНКА. ГРАВИТАЦИОННО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Для любого наделенного массой объекта Вселенной отношения констант массы, длины и времени Планка равны соответствующим отношениям массы этого объекта и его характеристических пространственных и временных параметров – длины гравитационной волны и времени задержки.

Ключевые слова: пропорции констант Планка, гравитационный потенциал, гравитационно-электромагнитный резонанс.

1. Introduction

The proportions of the Planck constant – mass, length and time sets universal limits of space, energy and temporal parameters of all objects in the Universe that are endowed with mass.

The maximum possible transmission rate of physical interaction in the Universe – the speed of light depends only on the spatial and energy parameters of the Universe and is independent of its temporal characteristics. Gravitational and electromagnetic waves can enter into resonance.

2. Planck restrictions

Module of gravitational potential $|j|$ of spherical body with mass m is equal to [1]:

$$|j| = \frac{Gm}{R}, \quad (1)$$

where R – is the distance from the body, G – is the gravitational constant.

It is known that the gravitational potential has the dimension of square of the velocity. Then, if c – is the speed of light, then for the limiting case and some value of $R = S$ is true:

$$c^2 = \frac{Gm}{S}, \quad (2)$$

or

$$\frac{c^2}{G} = \frac{m}{S},$$

or

$$\frac{m_p}{l_p} = \frac{m}{S}, \quad (3)$$

where m_p and l_p – is the mass and length of the Planck.

From (3) follows:

$$S = \frac{l_p}{m_p} m, \quad (4)$$

and

$$m = \frac{m_p}{l_p} S. \quad (5)$$

This means, that if $F_p = m_p a_p$ – is the Planck power, where a_p – is the Planck acceleration:

$$a_p = \frac{l_p}{t_p^2},$$

where t_p – is the Planck time, then the total energy of the body E with mass m is equal to:

$$E = mc^2 = \frac{m_p}{l_p} Sc^2 = F_p S, \quad (6)$$

where $F_p S$ – is the work, which is performed by the gravitational field of the body with mass m on the deformation of space, what is more, S – the radius of curvature of the deformed space by the gravitational field of the body with mass m , or actually – it is the length of a gravitational wave of the body's gravitational field with mass m . The length of a gravitational wave is half the Schwarzschild radius [1].

If the observable Universe has a radius R_0 and mass M , based on its model of a mathematical pendulum, the following is true:

$$c^2 = G \frac{M}{R_0} \quad (7)$$

or

$$\frac{m_p}{l_p} = \frac{M}{R_0}. \quad (8)$$

This means that the observable Universe is limited, and R_0 – is the length its gravitational waves.

From (2, 3, 7, 8) follows, that the maximum possible transmission speed of physical interaction – is the speed of light, which clearly depends only on its own spatial and energy characteristics of the observable Universe, and is independent of its temporal characteristics.

In the conditionally limited space, where there is no mass (energy), the time factor does not exist. At occurrence of mass (energy) in the space, the time factor appears, as its integral characteristic of spatial and energy parameters. In this case, time parameter, which uniquely characterizes both observable Universe and its separate object with mass m , will be assumed as the delay t_d in distributing the light signal at a distance equal to the length of a gravitational wave, respectively, of the Universe:

$$t_{dU} = \frac{R_0}{c} = \frac{t_p}{l_p} R_0, \quad (9)$$

and body with mass m with a length of the gravitational wave S , that is equal:

$$t_{dm} = \frac{S}{c} = \frac{t_p}{l_p} S \quad (10)$$

or

$$S = \frac{l_p}{t_p} t_{dm}. \quad (11)$$

Taking into account (4, 5), the equation (10, 11) has the following form:

$$t_{dm} = \frac{t_p}{m_p} m \quad (12)$$

and

$$m = \frac{m_p}{t_p} t_{dm}. \quad (13)$$

If $E_p = m_p c^2$ – is Planck energy, and $h_e = \frac{E_p}{t_p}$ – is the Planck energy quantum, then taking into account

(6, 10-13), the total energy of the body E with mass m is equal to:

$$E = mc^2 = F_p S = h_e t_{dm}. \quad (14)$$

From (14) follows that each separate characteristic of the body - mass, the length of a gravitational wave, and the time delay, clearly determine its total energy.

Let's call expressions (4, 5), (10, 11) and (12, 13) as the Planck proportions. They are universal mutual restrictions for all bodies of the observable Universe, which have mass m , gravity wave length S and time delay t_{dm} .

For two bodies with mass m_1 and m_2 , the gravitational wave length S_1 and S_2 , time delay t_{d1} and t_{d2} , at a distance R from each other, the law of Universal gravitation is:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} = F_p \frac{S_1 S_2}{R^2} = F_p c^2 \frac{t_{d1} t_{d2}}{R^2}. \quad (15)$$

Conclusion: universal proportions – Planck restrictions clearly define the main spatial and energy parameters of any object of the Universe, which have mass.

3. Gravitational - electromagnetic resonance

On the basis of data on mass of objects [2] and the formulas (4, 5), (10, 11) and (12, 13) it is made calculations of the gravitational wave length and frequency, respectively:

Name	Mass, kg	Gravitational wave length, m	Frequency, GHz
Earth	5.9722×10^{24}	0.00443474	67.6
Moon	7.3477×10^{22}	0.000054547302	5495.94
Venus	4.8673×10^{24}	0.0036143131	82.95
Mars	6.4169×10^{23}	0.00047451718	631.78
Jupiter	1.8981×10^{27}	1.40948454472	0.2127
Saturn	5.6832×10^{26}	0.42201429314	0.7104
Sun	1.989×10^{30}	1477.036	$2,0297 \times 10^{-4}$

The presence of gravitational-electromagnetic resonance of the Earth was tested by practical consideration on the experimental measuring system on the base of Ukrainian State Enterprise “Research Institute ”Orion”. Experimental conditions: air temperature 25 ° C, relative humidity 35%, atmospheric pressure 755 mm Hg. Art., the height of the measuring system is 15 m above ground level. These conditions do not require the introduction of amendments to the measure.

Experimental measuring system consists of:

- MS signal generator in the frequency range 57 GHz - 77 GHz and output power up to 10 mW;
- Measurement channel consisting of: a waveguide; calibrated cylindrical cavity with a graduated movable rod stimulated by wave H011; attenuator;
- Oscilloscope in the frequency range 57 GHz - 77 GHz, for visual display and control of signals from the output of the generator and the output of the measuring channel;
- Power meter of signal K M3-75v with frequency range 57 GHz - 77 GHz.

A block diagram of the measurement setup is shown in Figure 1.

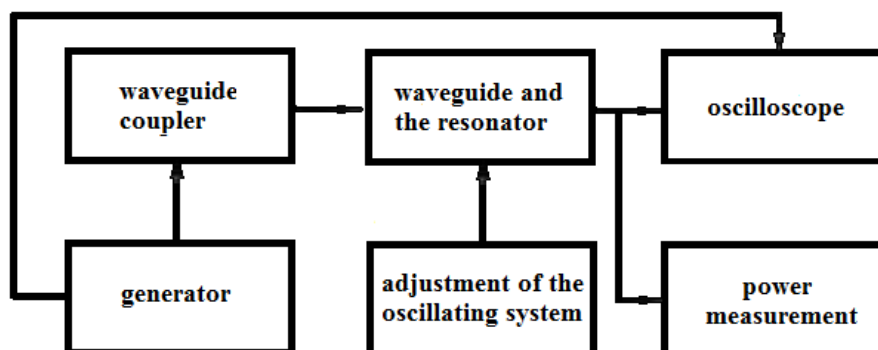


Figure 1 – Flow diagram of the measurement setup

It functions as a resonant wave meter [3, 4] with the setting of the resonance frequency at a minimum output power of the measuring channel.

The experiment algorithm is the following: measurements were carried out in the frequency range of 65.2 GHz to 68.8 GHz with a step of 0.6 GHz, 0.1 GHz, 0.01 GHz at several fixed values of the power levels of the output signal from the signal generator MS, namely: 3.62 mW; 4.73 mW; 4.5 mW, 5.04 mW, 6.1 mW. Signal with strictly defined power and frequency from output of the frequency generator MS is supplied to a measuring channel (waveguide cavity). At the same time for the visual control of the presence of a resonance, signal from the output of the generator and the measuring channel is supplied to a multi-channel oscilloscope. With the help of the graduated movable rod in the resonator with a waveguide measuring channel resonance is established. Presence of resonance is registered with an oscilloscope and power meter at a minimum power of the output signal of the measuring channel. Further by the previously set fixed value of the power at a predetermined pitch the frequency of the signal changed at the output of the generator frequency, and in the resonator with the waveguide via a graduated rod resonance was mounted and the measurements were repeated. At the end of measurements in a given frequency range signal power level at the output of the generator frequency changes and re-measurement of minimums signal power is carried out at the moment of resonance in the resonator with the waveguide at the output of the measuring channel. To prevent accidental emissions of experimental data, measurements were carried out repeatedly, and the data was then averaged.

The graphs were made according to experimental data: Figure 2 – Figure 6.

Analysis of the graphs shows the presence of minimum-minimum power of signals at the output of measuring channel at the frequency 67.6 GHz for all fixed power levels of the signal generator MS, which confirm the presence of gravitational-electromagnetic resonance.

On the basis of expressions (4, 5), (10, 11) and (12, 13), it can be argued that the emission spectrum of any astronomical object will contain a component, due to its gravitational-wave modulation. Since the mass of an object and its gravitational wave are connected by unique dependence, then by allocating this component, it can be clearly determined the mass of the object. This means that in astronomy, it can appear an accurate tool for determining the mass of distant objects of the Universe. Spectra of signals from objects, that reflect this signal (but not emit), for example planets, - will contain two modulating gravitational waves. For the solar system - it is gravitational wave of the Sun and the gravitational wave of own planet.

Gravitational-electromagnetic resonance confirms the possibility of levitation. Gravitational-electromagnetic resonance allows you to create new sources of energy.

Conclusion: open the law of nature - Planck universal proportions. On the basis of this law opened a new property of matter - gravitational-electromagnetic resonance.

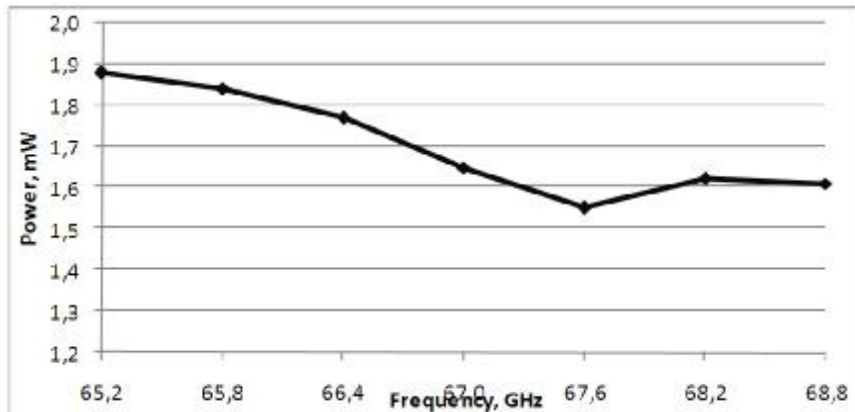


Figure 2 – Graph of dependency of signal power on frequency in the frequency range from 65.2 GHz to 68.8 GHz with a step of 0.6 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 3,62 mW.

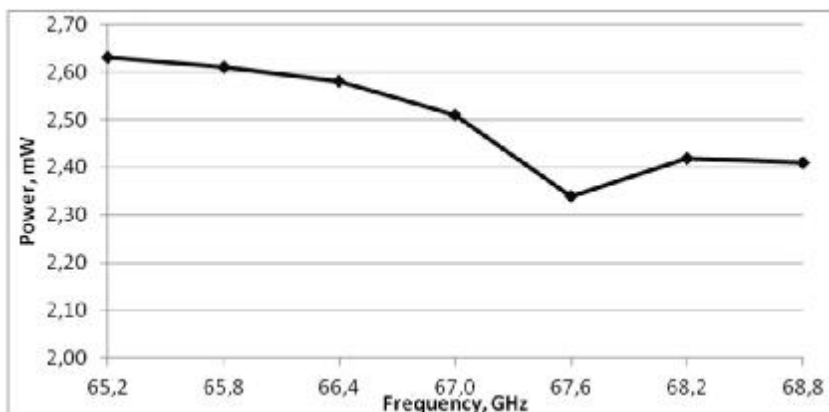


Figure 3 – Graph of dependency of signal power on frequency in the frequency range from 65.2 GHz to 68.8 GHz with a step of 0.6 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 4,73 mW.

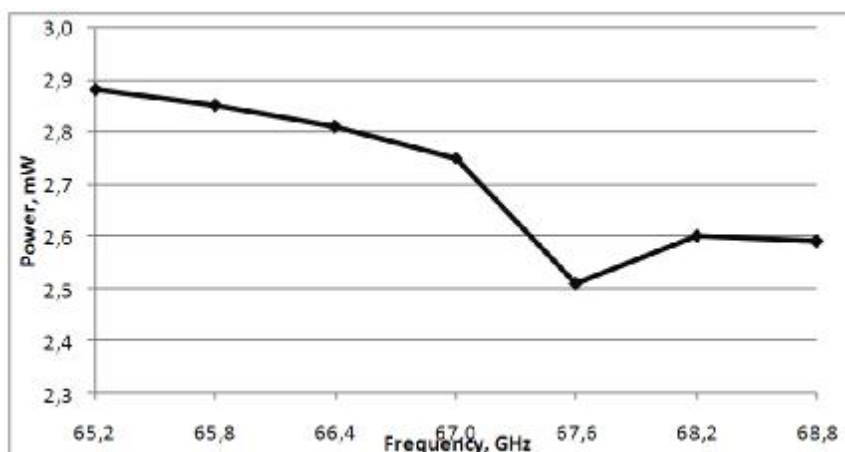


Figure 4 – Graph of dependency of signal power on frequency in the frequency range from 65.2 GHz to 68.8 GHz with a step of 0.6 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 5,04 mW.

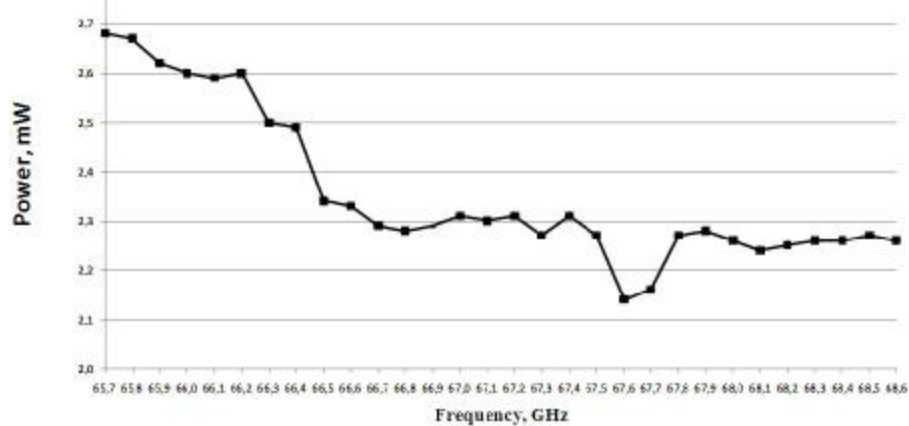


Figure 5 – Graph of dependency of signal power on frequency in the frequency range from 65.7 GHz to 68.6 GHz with 0.1 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 4,5 mW.

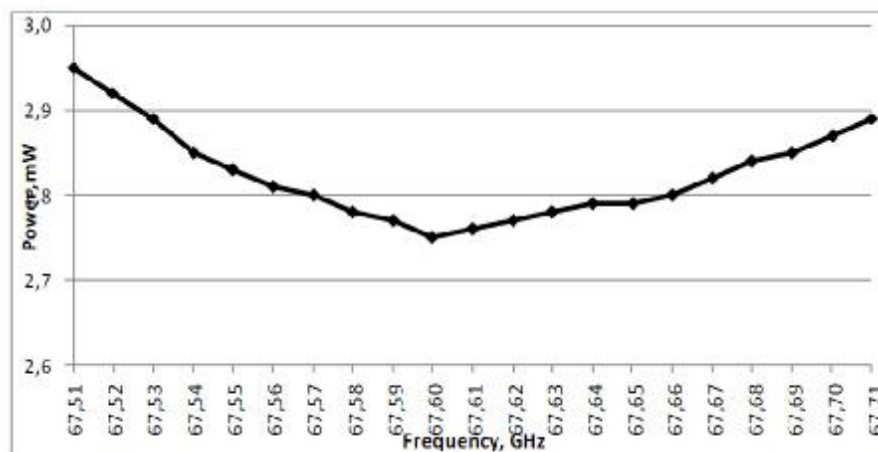


Figure 6 – Graph of dependency of signal power on frequency in the frequency range from 67.71 GHz to 67.51 GHz with a step of 0.01 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 6,1 mW.

References

1. Weinberg S., "Gravitation and Cosmology", translated from English, Dubovik V. M. and Tagirov E. A., ed. Smorodinsky J. A., "Platon", 2000, ISBN 5-80100-306-1, in Russian.
2. Planetary Fact Sheet – Metric. – <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
3. Valitov R. A., Sretenskiy V.N., "Radio measurements at microwave frequencies," Military Publishing House of the USSR, Moscow, 1951, pp. 196 – 240, in Russian.
4. Burdun G. D., Valitov R. A., Bryansky L. N., Kukush V.D., Pronenko V.I., "Radio measurements at millimeter wavelengths", Kharkov State University, 1958, in Russian.

Література

1. Вейнберг Стивен. Гравитация и космология / Стивен Вейнберг // Пер. с англ. Дубовик В. М. и Тагиров Е. А., под ред. Смородинского Я. А., изд. "Платон", 2000, ISBN 5-80100-306-1.
2. Планетарный бюллетень. Метрика. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
3. Валитов Р. А. Радиоизмерения на сверхвысоких частотах / Р.А. Валитов, В.Н. Сретенский, Военное издательство СССР, Москва, 1951, с. 196 – 240.
4. Бурдун Г. Д. Радиоизмерения на миллиметровых волнах / Г. Д. Бурдун, Р. А. Валитов, Л. Н. Брянский, В. Д. Кукуш, В. И. Проненко // Харьковский государственный университет, 1958.

Рецензія/Peer review : 8.9.2015 р. Надрукована/Printed : 14.10.2015 р.

СКАЛЯРНАЯ И ВЕКТОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

В работе исследуется природа движения материи, а также его последствие энергия и сила. Предложен новый подход в использовании математики при изучении физических явлений, позволивший вывести формулу Эйнштейна, в которой масса и скорость имеют совершенно иное содержание. Кроме того, формула уточнена – в ней появилось еще одно слагаемое. Предложенный подход позволил, по-новому (ближе к истине), построить физическую и математическую модели силовых линий поля, в частности, построить более эффективную модель исследования Всемирного тяготения.

Ключевые слова: энергия, сила, математика, физика, гравитация, Всемирный закон гравитации, формула Эйнштейна, энергия фотона

V.A. VYSHINSKIY

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

SCALAR AND VEKTOR CHARACTERISTICS OF THE MOTION OF MATNER

We investigate the nature of the motion of matter, as well as its aftermath energy and strength .A new approach in the use of mathematics in the study of physical phenomena, will bring Einstein's formula, in which the mass and speed have completely different content. In addition, the formula is refined - it had one more term. The proposed approach will allow, in a new way (closer to the truth), to build physical and mathematical models of the field lines , in particular , to build a more effective model for the study of gravity .

Keywords : energy, force , mathematics, physics , gravity, Global Law of Gravity , Einstein's formula , the energy of the photon

1. Введение

В предыдущих наших публикациях [1-4] отмечалось, что существование материи в форме вещества является следствием нарушения однородности вакуума, которое затем вызывает движение сгустков его материальной субстанции. Таким образом, и вещество и его движение являются «заложниками» одного и того же состояния в природе – неоднородности распределения материи в вакууме. В результате, познание вещества, в конечном счете, сводится к исследованию движения материальной субстанции, под действием силовых линий Фарадея в вакууме. В зависимости от того, вдоль какой оси Декартовой системы координат сгустка возникают эти силовые линии, вещество реагирует на них, указывая, тем самым, на появившуюся таким движением напряженность одного из четырех рассмотренных в [3] полей. Неоднородности (поля), имеют тенденцию к недолговременному своему существованию. То есть, природа стремится «успокоить» вакуум – привести его к однородной структуре (штилю). Для изучения этого процесса, человечество выработало термины – понятия, содержание которых, на современном его этапе развития, имеют различную трактовку, не позволяющую адекватно природе раскрыть «вечную» динамику изменений в окружающей среде. Например, опираясь только на «успокоение» – ликвидацию силовых линий электрического и магнитного поля вакуума, характеризующих только вещество, научная общественность остановилась на таком понятии как энтропия и отдала ему на откуп раскрытие любой динамики материи в природе. При этом опускается из виду то, что тоже вещество характеризуется и другими полями (гравитационным и кинетическим). Среди фундаментальных терминов, используемых физиками, есть такие понятия, которые весьма далеки от их соответствия природе. К ним следует отнести – энергию и силу. Не маловажную роль в выяснении их смысла (содержания) играет математический аппарат в исследованиях, и любая некорректность его использования может привести к ложному результату. В настоящей работе попытаемся проникнуть в глубь понимания содержания энергии и силы, которое, до сих пор, является одной из неразгаданных тайн в науке.

2. Движение материи в вещественной форме

В наших исследованиях рассматривалось существование материи в трехмерном пространстве, ориентированном на определенную Декартову систему координат, т.е. систему, которая относится к одному фрагменту изучаемого нами вакуума. Окружающий нас вакуум содержит в себе бесконечное множество таких узко ориентированных систем, которое и обеспечивает существование вещества в трехмерном объеме и во времени. Эта совокупность вакуумов органически «завязана» на координату времени, объяснение которой еще предстоит нам выполнить в отдельной работе, а пока существование ее примем в качестве физтеоремы. Таким образом, в дальнейшем изложении будем исходить из того, что все свойства вещества, которые нами определены для узконаправленного варианта вакуума (частного случая вакуума), справедливы и для «полноценного» вакуума, в котором мы находимся.

Интересующие нас понятия энергии и силы, которые, отражают основные свойства вещества, по нашему утверждению, являются следствием его движения. И, прежде чем исследовать их, необходимо ответить на вопрос: «Откуда в вещественном существовании материи появляется движение?» Напомним, это не праздный вопрос. Дело в том, что современная аргументация движения вещества не доказательна – существует постулирование, согласно которому движение вещества является внутренним его свойством. Придавая таким способом это свойство веществу, мы невольно приходим к присвоению веществу

возможностей, которыми земляне в свое время наделили бога, т.е., налицо, обожествление вещества, а это противоречит диалектико-материалистическому его исследованию, и, в конечном итоге, истинному его пониманию.

Напомним, согласно предлагаемой нами модели существования материи, вещество это результат нарушения однородности распределения материи в вакууме, которое нами фиксируется путем обнаружения силовых линий (по Фарадею) электрического, магнитного, гравитационного и кинетического поля. Между источниками этих искажений вакуума, вдоль указанных силовых линий, как результат приведения (устранения) этих искажений природой, возникают взаимодействия, которые вызывают их перемещение в пространстве. Вот они нами регистрируются как движение вещества. Таким образом, уместно дать следующее определение.

Определение 1

Под движением вещества следует понимать перемещение в пространстве и во времени участков вакуума под действием силовых линий Фарадея: электрического, магнитного, гравитационного, либо кинетического полей. Усложнение движения вещества возникает при наложении силовых линий этих полей

Итак, вначале, рассмотрим простейшие формы движения, которые являются следствием взаимодействия в однородном поле – например, двух источников электрического поля. Если эти источники находятся в области достижимого для них электрического влияния друг на друга, то они будут либо приближаться друг к другу, либо удаляться, в зависимости от знаков источников (зарядов). Совмещение этих источников в пространстве вызывает действие закона Черенкова-Вавилова, в результате чего генерируются фотоны, и поступательное их движение преобразуется в новую волновую форму движения вещества, отражающую взаимодействие электрического и магнитного поля – электромагнитные колебания. В случае если в пространстве достижимого электрического взаимодействия источников имеются препятствия для их продвижения друг к другу, либо отталкивания, то тогда между ними возникнет напряженность, которая при устранении отмеченных препятствий позволит этим источникам двигаться. Иными словами, разделенные таким препятствием источники электрического поля *потенциально* предрасположены к движению

Аналогичное поведение имеет место и для источников магнитного поля, за исключением того, что их совмещение в пространстве вакуума исключено, поскольку каждый из источников рассматриваемого поля представляет собой диполь магнитной массы, состоящей из элементарных магнитных масс разной полярности, и находящихся в разных двумерных пространствах. В данном случае после притяжения двух источников магнитного поля происходит объединении их в более мощный один магнит.

Как уже отмечалось, движение вещества является результатом взаимодействия не только в однородном поле, но также во взаимодействии двух полей – электрического и магнитного. Это движение нами определено как волновое состояние вакуума, которое устанавливается в нем (распространяется) со скоростью света. «Родившееся» таким способом движение в вакууме мы назвали фотоном, и задержать его в определенном месте пространства, без особых условий и усилий, не представляется возможным. В отдельной работе будет показано, каким способом природа решает эту задачу задержки фотона.

Кроме электрического и магнитного поля, вещество представляется также и гравитационным и кинетическим полем. Если в электрическом и магнитном поле движение может быть автономным независимым друг от друга, то изменение положения источника гравитационного поля сразу же вызывает изменение и в кинетическом поле, которое постоянно «ходит» с гравитацией. Эти два поля тесно связаны друг с другом, поскольку они являются «частным случаем» одного поля, т.е. продолжением магнитного поля. Напомним, силовая линия магнитного поля имеет две ветви – одна из них отталкивает от себя сгустки материальной субстанции в вакууме, а другая – притягивает. Та часть силовой линии магнитного поля, которая отвечает за отталкивание сгустков, в кинетическом поле приобретает содержание его силовой линии, а часть силовой линии магнитного поля, отвечающая за притяжение – в гравитационном поле тоже приобретает содержание силовой линии, но уже гравитации. Таким образом, притяжение вдоль силовых линий гравитационного поля, вызывающее поступательное движение в пространстве, сопровождается еще и реакцией кинетического поля. В частности, если происходит ускорение, либо торможение тела, то кинетическое поле вызывает инерцию, вектор направления которой и совпадает с силовой линией кинетического поля.

Взаимодействие гравитационного и кинетического поля, в отличие от аналогичного взаимодействия электрического и магнитного, происходит в фиксированном месте пространства, т.е. не покидает то место, где оно началось. Например, если в качестве источников гравитационного поля выступают Земля и Луна, то в своем сближении они «гасят» напряженность гравитационных силовых линий Луны, со стороны расположения Земли, и усиливают их с противоположной стороны. Тогда Луна приходит в неустойчивое состояние, проявляющееся в том, что в элементарных массах (гравитационных диполях), из которых она состоит, становятся неуравновешенными гравитационные силовые линии в элементарных источниках гравитационного поля, составляющих диполи. Те их силовые линии, которые находятся со стороны Земли, будут ослаблены, а с противоположной стороны – усилены. Источник силовых линий, в котором имеет место их ослабление придет в движение. Таким образом, диполь будет двигаться перпендикулярно оси соединяющей центры гравитационных источников наших космических тел. В результате масса Луны будет двигаться также как и ее содержимое, т.е. перпендикулярно оси, соединяющей центры гравитационных источников Земли и Луны.

Кроме того, Луна, двигаясь в указанном перпендикулярном направлении, удаляется от Земли вдоль гипотенузы прямоугольного треугольника, построенного на катетах, длина одного из которых совпадает с изначальным расстоянием между Землей и Луной. Таким образом, естественный спутник Земли, двигаясь в указанном перпендикулярном направлении, с одной стороны, «вырабатывает» дополнительные силовые линии для компенсации ослабленных, и, с другой, удаляется от Земли, тем самым, уменьшает ее воздействие на силовые линии Луны. Такое новое положение нашего естественного спутника восстанавливает лунные силовые линии, и это приводит его к движению в направлении Земли, т.е. система Земля-Луна приходит в похожее состояние тому, с которого началось ослабление силовых линий Луны. Отличие в этом случае сводится к тому, что ось, соединяющая два космических тела, повернется на небольшой угол. И снова Луна будет двигаться перпендикулярно оси, соединяющей гравитационные центры Земли и Луны. Таким образом, дальнейшая траектория движения Луны будет совпадать с окружностью. Из этого следует, что вращение естественного спутника нашей планеты следует не по инерции, и не «так исторически сложилось» [5], как утверждает современная физика, а согласно взаимодействию напряженности двух полей – гравитационного и кинетического, сосредоточенного в гравитационном диполе – содержанием массы Луны.

Итак, мы рассмотрели движение вещества в пространстве вакуума в условиях действия напряженности однородного поля, а также взаимодействия напряженностей двух полей. В природе имеют место движения, результатом которых являются взаимодействия всех четырех полей: электрического, магнитного, гравитационного и кинетического. Однако эти движения относятся к более сложным структурам вещества, строение которых будут рассмотрены в отдельной публикации.

3. Скалярная характеристика движения вещества

В познании основных свойств вещества важнейшую роль занимают исследования скалярной и векторной характеристик его движения. Напомним, современная физика относит энергию к скалярной ее характеристике материи, а силу – к векторной. Использование математических моделей при любом исследовании материального мира, в том числе и рассматриваемых нами характеристик, всегда было приоритетным. Методы поиска таких моделей в истории науки были разнообразны. Весьма часто физик-теоретик придумывал математическое выражение, считая, что именно оно отражает изучаемое им состояние природы. Действительно, в подавляющем большинстве это выражение, эта формула, в какой-то мере, отображает действительность. Например, еще Лейбниц в середине 18-о века заметил связь массы тела и его «живой силы» – он так называл энергию. Согласно этой связи энергия E является произведением массы m тела и квадрата его скорости v (в современной терминологии – кинетическая энергия, только удвоенная). Это откровение Лейбница было в его трактатах 1686 и 1695 годов. Так появилось

$$E = mv^2 \quad (1),$$

Со временем это математическое выражение научной элитой преобразовалось в известную формулу

$$E = mc^2 \quad (2),$$

где вместо обычной скорости тела используется c – скорость света. Напомним, эта формула стала предметом докторской диссертации Н.А. Умова в 1874 году. Среди известных ученых, серьезно, заинтересовавшихся ею, были Томсон (1881г.), Хевисайд (1890г.), Пуанкаре (1900г.) и Газенерль (1904г.). Стояла проблема: «Почему энергия, в этой формуле, эквивалентна, а по сути своей, тождественно равна массе?» Ведь постоянная скорость света (константа), возведенная в квадрат, тоже является константой. Кроме того, неясно: «А причем здесь скорость света?» В научной литературе считается, что эти проблемы разрешил, уже после «трудов» указанных выше ученых, Эйнштейн, и, в результате чего, она и получила его имя.

Эту формулу Эйнштейн пытался вывести в терминологии специальной теории относительности, взяв из нее основной принцип относительного движения по отношению к наблюдателю. Как во всей теории относительности, так и в рассматриваемом случае, этот принцип, связывающий происходящие процессы в природе с субъектом, невольно выводят нас на позицию идеологического субъективизма, когда явления в природе становятся зависимыми от субъекта-наблюдателя, т.е. материя не может существовать вне нас – вне наших чувств. В работах популяризаторов теории относительности, для вывода этой формулы, используется тот же принцип относительности. Рассматривается модель, в которой движется наблюдатель по отношению к телу, излучаемому фотоны в противоположных направлениях этого движения. Возникают вопросы: «Каким образом тело излучает фотоны? Чем обеспечивается это излучение? И вообще, может ли излучать фотоны тело?» Если оно и излучает то: «Почему в качестве вещества мы берем массу тела, а не, например, электрический заряд?» Ведь, если вместо массы использовать электрический заряд, то в формуле (2) мы получим вместо массы тела величину электрического заряда. Связывая вывод этой формулы с наблюдателем, мы привязываем энергию и массу тела с ним, но ведь эти физические понятия существуют, как материя в наших ощущениях независимо от нас, т.е. наблюдателей. Иными словами, с такими рассуждениями в физике мы невольно приходим к физическому идеализму, который весьма далек от материалистического понимания природы. Поэтому использование специальной теории относительности, отслеживающей отмеченный выше идеализм, для доказательства справедливости формулы (2), весьма сомнительно.

Исследуем формулу (2) с позиций модели существования материи, предлагаемой в цикле работ

[1,2,3,4]. Для чего воспользуемся известным трудно оспариваемым утверждением, что энергия является скалярной характеристикой материи, определяющей меру ее движения. Тогда, исходя из такого понимания энергии, вначале, определим функцию движения, энергетическая сторона которого нас интересует и, затем уже исследуем ее на предмет поиска свойств, которые могут быть использованы при построении абстрактной математической модели энергии, заключенной в это движение.

Рассмотрим под этим углом форму движения элементарной массы вещества, которая нами представлена в виде гравитационного диполя. Как уже отмечалось, диполь состоит из двух элементарных источников гравитационного поля, которые, до возникновения на их основе диполя, двигались в противоположных направлениях. Поскольку, одновременно с этим у них возникает силовые линии притяжения по одну из сторон вектора этого движения, то они притягиваются друг к другу, и в своем движении останавливаются. Так появляется гравитационный диполь – элементарная масса вещества. В нем возникает напряженность между «желанием» источников гравитации, во-первых, продолжить свои движения, и, с другой стороны, притягиваться друг к другу. Это состояние материальных субстанций представляет собой упругую материальную систему, и, безусловно, содержит в себе энергию, которая тесно связана с гравитационным свойством притягивания к себе подобных материальных образований. Это образование, притягивающее к себе подобные образования, отражает те свойства, которые, в нашем представлении совпадают с пониманием массы тела.

Итак, определим функции движения элементарных источников гравитационного поля до того, как они были остановлены притяжением друг с другом, и, создав, тем самым, напряженность (упругость) в диполе. Движение этих источников прямолинейное и оно описывается функцией количества движения, т.е. для одного источника эта функция будет

$$f_1(v) = m_1(+v) \quad (3),$$

где $f_1(v)$ – функция движения, зависящая от его скорости v , m_1 – содержимое материальной субстанции в первом сгустке вакуума, знак «плюс» при скорости v обозначает, что движение элементарного рассматриваемого источника гравитации принято с этим знаком. Что относится ко второму источнику гравитационного поля, то его функция движения будет

$$f_2(v) = m_2(-v) \quad (4).$$

Здесь $f_2(v)$ – функция движения второго источника, m_2 – содержимое материальной субстанции во втором сгустке вакуума, а знак «минус» при скорости v свидетельствует о том, что второй элементарный источник гравитационного поля движется в противоположную сторону первому. При этом считается, что модуль движения источников одинаков.

Предположим, что интегралы выражений (3), (4) совпадают с функциями, характеризующими энергии, которые содержатся в наших источниках гравитационного поля, т.е.

$$\int f_1(v) = \frac{m_1 v^2}{2} + C_1 \quad \text{и} \quad \int f_2(v) = \frac{m_2 v^2}{2} + C_2 \quad (5).$$

Действительно, из этих выражений (5) следует, что наше предположение верно – результат интегрирования этих функций отражает энергетическое состояние первого и второго сгустка. Таким образом, правомерно следующее определение.

Определение 2

Под энергией следует понимать интеграл функции движения материи, аргументом которой выступает скорость изменения напряженности потенциалов полей, вызывающих это движение.

В рассматриваемом случае используется неопределенный интеграл каждой функций, поскольку границы, в которых исследуется их энергия – не определены. Кроме того, поскольку содержимое материальной субстанции первого и второго элементарного источника гравитационного поля в диполе одинаковое и равно материальному содержимому m произвольного сгустка вакуума, то в формулах (5) следует заменить m_1 и m_2 на m . Понятно, что энергия рассматриваемого нами диполя E равна сумме энергий, представленных в (5), т.е.

$$\int f_1(v) + \int f_2(v) = E = mv^2 + C \quad (6),$$

где C – общая константа интегрирования.

Итак, мы получили формулу, которая, в какой то мере, напоминает формулу Эйнштейна (2). Исследуем в чем их различие. Прежде всего, в правой стороне формулы (6) в произведении, в отличие от формулы Эйнштейна, стоит не скорость света, а другая величина, соответствующая скорости движения элементарного источника гравитационного поля. Она, далеко не совпадает со скоростью света, а значительно больше ее. Эта скорость характеризует движение вещества в магнитном поле, которое в нашем случае выродилось в движение кинетического поля. О существенном отличии величины этой скорости от скорости света указывает то, что она своим мгновенным проявлением не позволяет зафиксировать в природе, как моно полюсы Норд и Зюйд, так и, находящиеся в движении элементарные частицы гравитационного поля. Наши исследования показали, что такого рода движение материи, имеет место в одномерном пространстве без учета существования вещества в координате времени. Проявление движения в материи и, в частном случае вещества, неразрывно связано с координатой времени. Чем большие размеры материальных сгустков, тем большие масштабы отрезков времени в существовании материи, что,

несомненно, отражается на скорости движения материи в сторону ее уменьшения. По этому, если в вещественной форме существования материи величина скорости движения такова, что ее мы можем обнаруживать, то в более измельченном ее существовании (в одномерном пространстве) регистрация ее пока затруднена. Эти утверждения требуют своего подтверждения, которые мы приведем в отдельной работе.

Второй множитель правой стороны (6), как уже отмечалось выше, представляет собой источник гравитационного поля. Он представляет собой материальное содержимое элементарного сгустка вакуума, приведенного в состояние, когда он притягивает к себе такой же сгусток с двух противоположных сторон и такое притягивание содержит в себе свойства гравитации.

Следующее отличие формулы Эйнштейна от, полученной нами (6), состоит в том, что в последней присутствует еще одно слагаемое. Это слагаемое константа интегрирования C , которая обязательно должна присутствовать при нахождении неопределенного интеграла нашей функции движения $f(v)$. Следует заметить, что эта константа имеет еще и естественный смысл – физическое содержание. Дело в том, что при исследовании энергетического содержимого элементарной частицы вещества m необходимо учитывать не только энергию внутренней напряженности взаимодействия полей, содержащихся в этой частице, но и энергию, которая генерируется внешними полями Мироздания. То есть, учитывать воздействие на нашу частицу полей, исходящих от других материальных образований, окружающего мира.

Кроме того, из приведенного нами нового вывода формулы (6) следует, что количество массы вещества в диполе и, заключенная в нем энергия, являются постоянными величинами, характеризующими окружающий нас вакуум. Поскольку, как будет показано в специальной работе, свойства вакуума изменяются в пространстве Вселенной, то и рассматриваемые постоянные параметры вещества под их влиянием тоже изменяются. Присутствующая в формуле (6) скорость π движения элементарного источника гравитации зависит от условий, при которых происходил Большой взрыв во Вселенной. Из этого следует, что другой Большой взрыв, и в другом месте пространства Вселенной, может дать и другую скорость π . Тогда, и параметры, рассматриваемого вещества будут другие.

Мы рассмотрели энергетическое содержимое движущейся материи (вещества) поступательно и прямолинейно (движение в двумерном пространстве элементарного сгустка гравитационного поля вдоль оси абсцисс). Движение материи в вакууме, соответствующее его волновому состоянию и, названного нами фотоном, несколько иное, однако, и оно в себе содержит энергию. Рассмотрим, какие изменения с материей в вакууме происходят во время движения фотона. Когда движется фотон, то по ходу его движения в вакууме наблюдаются изменения напряженности электрического и магнитного полей его сгустков материальной субстанции в определенных пределах. Их абсолютные значения не превышают – для электрического поля величины E_m , а магнитного – M_m . То есть эти величины показывают максимальное участие сгустка материальной субстанции в искривлении вакуума, соответственно, вдоль оси ординат и оси аппликат вокруг него в его же системе координат. (В современной физике под величиной E_m совпадает с зарядом электрического поля, а под M_m – с минимальной магнитной массой). Поскольку изменение скорости искривления вакуума подчинено движению сгустка материальной субстанции по окружности, то функция искривления вдоль оси ординат (электрическая составляющая) будет соответствовать

$$V_E = \text{Sina} \quad (7),$$

где a – угол поворота спутниковой части сгустка материальной субстанции вакуума, который является постоянной величиной и зависит от плотности вакуума. А функция скорости изменения магнитного поля будет

$$V_M = -\text{Cosa} \quad (8),$$

Исходя из того, что функции (7) и (8) отражают одно и тоже явление в вакууме, то скорости V_E и V_M одинаковы. Они синхронизованы во времени, только проявляются вдоль разных координат декартовой системы сгустка материальной субстанции. Скорость V_E – вдоль оси ординат, а скорость V_M – вдоль оси аппликат. Тогда функция движения материи в электрическом поле примет вид

$$f(V_E) = E_m V_E, \quad (9),$$

а функция движения материи в магнитном поле будет

$$f(V_M) = M_m V_M \quad (10).$$

Рассмотрим значения энергии, которые имеют место в каждом из случаев изменения напряженности электрического и магнитного полей. На основании *Определения 2* запишем для функций (9) и (10) следующие неопределенные интегралы

$$\int f(V_E) dV_E = \frac{E_m (V_E)^2}{2} + C, \quad (11)$$

$$\int f(V_M) dV_M = \frac{M_m (V_M)^2}{2} + C. \quad (12)$$

Их сумма будет

$$\int f(V_E)dV_E + \int f(V_M)dV_M = \frac{E_m(V_E)^2}{2} + C + \frac{M_m(V_M)^2}{2} + C \quad (13)$$

Поскольку E_m и M_m вокруг сгустка в вакууме имеют одно и тоже значение, только E_m проявляется вдоль оси ординат, а M_m – вдоль оси абсцисс, то их можно приравнять к одной величине W (количеству материальной субстанции в одном сгустке) и вынести за скобки, а константы C объединить в одну, тогда (13) примет вид

$$\int f(V_E)dV_E + \int f(V_M)dV_M = \frac{W}{2}((V_E)^2 + (V_M)^2) + C,$$

затем, подставив значения (V_E) и (V_M) из выражений (7) и (8), получим

$$\int f(V_E)dV_E + \int f(V_M)dV_M = \frac{W}{2}(\sin^2 a + \cos^2 a) + C = \frac{W}{2} + C \quad (14).$$

Из выражения (14) следует очень важное заключение – энергия фотона напрямую не зависит от присущей ему частоты электромагнитной волны. Здесь мы употребили слово напрямую. Дело в том, что во время продвижения фотона, кроме изменений, связанных с потенциалами напряженности электрического и магнитного полей, в фотоне присутствует изменение гравитационного и кинетического полей, которые и обеспечивают ему свойства частицы (дуализм фотона). В посылке фотона содержащей волновые и частичные свойства вещества, имеется также составляющая, которая в функции движения фотона имеет вид

$$nW \bullet c \quad (15),$$

где n – количество сгустков материальной субстанции вакуума, которые помещаются в одном периоде электромагнитной волны фотона и зависящем от частоты электромагнитных колебаний в фотоне, c – скорость его распространения, равная скорости света, W – степень искажения вакуума вокруг сгустка материальной субстанции, формирующей силовую линию гравитационного поля. (В современной физике под величиной W понимают массу тела, частицы). Интеграл функции (15), т.е. энергия, заключенная в этом случае в фотоне, будет

$$\frac{nW \bullet c^2}{2} + C \quad (16).$$

Следует также заметить, что каждая субстанция материального сгустка вакуума, участвующая в продвижении фотона, кроме своего поступательного движения, участвует и в электромагнитных колебательных процессах. Другими словами, энергия, представленная в выражении (15) присутствует в фотоне, будучи умноженная на количество n сгустков вакуума. Таким образом, к функции энергии (16) следует прибавить

$$\frac{nW}{2} + C.$$

Итак, общая величина, характеризующая энергию, несущуюся в фотоне, будет

$$\frac{nW}{2} + \frac{nW \times c^2}{2} + C, \quad (17)$$

где C – обобщенная постоянная интегрирования, которая отвечает за энергию, генерируемую в фотоне внешними полями Мироздания.

Следует заметить, что в фотоне имеет место два вида электромагнитных колебаний. Один из них непосредственно связан с вращением спутниковой части сгустка материальной субстанции вакуума, а второй с поступательным продвижением фотона в вакууме. Этот последний имеет свой период колебаний. Он, как правило, больше периода вращения спутниковой части сгустка вакуума, и он определяет длину волны фотона.

Исследуя функцию энергии (17), можно сделать следующее заключение. Чем выше частота электромагнитной волны фотона, тем меньше в ней сосредоточено энергии. Дело в том, что количество n сгустков субстанции увеличивается с уменьшением частоты электромагнитных колебаний фотона, за счет чего и происходит увеличение энергии в нем.

Из этого следует важная корректировка известного утверждения Планка, что чем выше частота фотона, тем больше в нем энергии. Наши исследования получили обратное утверждение – чем выше частота фотона, тем меньше в нем энергии. Самое интересное в этом заключении является то, что оно находит свое подтверждение в природе. Например, во время захода его диск приобретает красный цвет. Из этого следует, что солнечные лучи (фотоны) более слабые (голубого цвета), т.е. коротковолновые, не в состоянии пробить земную атмосферу, протяженность которой на горизонте Земли большая, нежели, когда Солнце находится в зените.

4. Потенциальная энергия

Исследуя энергию, необходимо особо уделить внимание условиям, которые приводят к ее проявлению. В рассмотренной выше массе вещества энергия как бы «заморожена» внутри ее. Гравитационный диполь, в котором она помещена, представляет собой упругое состояние двух источников

гравитационного поля. Если изменить напряженность кинетического, либо гравитационного поля одного из них, как диполь придет в движение, которое мы можем регистрировать либо в виде инерции, либо увеличение притяжения его к другому такому же диполю. Аналогичное «замораживание» движения и, в конечном итоге, энергии имеет место и в вакууме во взаимодействии сгустка материальной субстанции с окружающими его сгустками. Это «замораживание» движения обеспечивает вакууму упругость, с помощью которой он может «войти» в волновое состояние, названное нами фотоном.

В природе имеются более простые примеры, исследуемого нами «замораживания» энергии. Для этих случаев физики придумали понятие потенциальной энергии, которая обычно присутствует вокруг источника электрического, либо магнитного, либо гравитационного, либо кинетического поля. В рамках предложенной в настоящей работе модели существования материи понятие потенциала конкретного поля и его напряженности существенно отличается от широко известного понимания. Например, потенциал электрического поля, расположенный в произвольной точке пространства, в нашей модели характеризуется, прежде всего, количеством силовых линий Фарадея, которые сосредоточены в нем. Напомним, каждая такая линия находится в своем вакууме со своей координатной системой, который и обеспечивает только ее существование. (Так называемый урезанный вариант вакуума, из совокупности которых состоит окружающий нас вакуум). Заметим, поскольку такая силовая линия существует в своем пространстве, то внешнее воздействие на нее возможно только в этом пространстве, а это значительно ограничивает ее затухание. Тогда уровень потенциала генерируемого поля практически не зависит от особенностей этой силовой линии – искажения вакуума. В таком случае величина потенциала поля в любой точке, окружающего источник его определяется количеством силовых линий.

Попытаемся определить функцию изменения количества силовых линий Фарадея в точках этого пространства по мере удаления от источника поля. То есть определить потенциальную энергию, заключенную в этих силовых линиях. Потенциальная энергия всегда обусловлена силовыми линиями, которые воздействуют на окружающую среду и в результате приводят ее часть в движение, выделяя, при этом, энергию. Понятие силы в современной физике вот уже на протяжении веков является загадочным явлением в природе. В следующем подразделе настоящей работы попытаемся ответить на вопрос – что такое сила.

В настоящем подразделе построим физическую модель отмеченных ранее изменений в области действия электрического поля. Рассмотрим идеальный случай, когда от его источника силовые линии распространяются в трехмерном пространстве во все стороны равномерно, т.е. равномерно по площади шара, центр которого помещен в месте расположения этого источника. Тогда характер этого распространения будет такой же, как и в вдоль окружности плоского сечения проведенного через его центр. Этот подход упрощения исследований, приводит нас к рассмотрению силовых линий Фарадея только в плоскости прямоугольного треугольника, один из острых углов которого расположен в месте нашего источника поля. Обратим внимание на то, что, по мере удаления от источника поля, т.е. по мере увеличения катета, формирующего этот угол, второй катет, на который он опирается, будет уменьшаться. Из этого следует, что и количество силовых линий, упирающихся в этот второй катет, тоже будет уменьшаться. Итак, напряженность поля в рассматриваемой области пространства находится в прямой зависимости от функции изменения количества силовых линий в ней по мере удаления от источника напряженности поля. Заметим, что размеры участка, в котором мы определяем напряженность, являются постоянными, а изменяется лишь удаленность его от источника поля, и, как следствие, количество силовых линий, пронизывающих интересующий нас участок, по мере удаления от их источника поля, тоже уменьшается.

Следует также обратить внимание на то, что в вырожденном случае с, прямоугольным треугольником, когда катет, исходящий из источника поля, равен нулю, то количество силовых линий Фарадея будет максимальным и равным количеству силовых линий, генерируемых электрическим зарядом исследуемого источника. Затем с увеличением этого катета количество силовых линий входящих в исследуемый участок потенциала начинает уменьшаться. То есть, кривая, описывающая распределение напряженности электрического поля, генерируемого электрическим зарядом, по мере увеличения катета, рассматриваемого треугольника, будет «снижаться», приближаясь к оси абсцисс, вдоль которой откладывается значение этого катета. Следует заметить, что, с бесконечным увеличением катета (удаления от источника поля), количество силовых линий Фарадея, помещаемых в исследуемый участок пространства, будет постепенно уменьшаться, и при значительной удаленности, когда размеры второго катета, рассматриваемого треугольника, станут меньше пространственных размеров области действия одной силовой линии – напряженность исследуемого поля примет нулевое значение. Таким образом, можно отметить, что около начала координат напряженность поля приближается к максимальной величине соответствующей исследуемому электрическому заряду, а на достаточно большом удалении, но конечном, – падает до нуля.

Из нашей модели существования материи видно, что силовая линия электрического заряда имеет две ветви, одна из которых притягивает к себе сгустки материальной субстанции вакуума, а вторая от них отталкивается. Если взять притяжение за положительное значение напряженности электрического поля, то рассмотренная выше картина ее распределения в плоской Декартовой системе координат может быть помещена в первую квадранту этой системы. В случае отталкивания, исследуемая картина распределения напряженности находится в третьей квадранте, где значение напряженности приобретает отрицательные значения ординаты, а расстояния от источника поля вдоль отрицательных значений абсциссы.

Исходя из приведенных исследований, приходим к выводу, что количество силовых линий Фарадея, интересующих нас, с позиций измерения напряженности поля, соизмеримо с размером створа угла, который опирается на фиксированное место пространства (длину катета в нашем случае). В рассматриваемой модели распределения напряженности поля, этот угол изменяется от 90° до 0° в первой квадранте Декартовой системы и от -90° до 0° – в третьей квадранте этой же системы координат. При максимальном значении этого угла в первой квадранте количество силовых линий будет максимальным, которое соответствует исследуемому конечному источнику заряда. Это же количество силовых линий будет и в третьей квадранте, когда рассматриваемый угол будет равен -90° . Следует заметить, что данные гипотетические измерения количества силовых линий должны проводиться в нулевой точке координат со стороны положительных значений абсциссы (первая квадранта) – положительное значение напряженности, а если находится в той же нулевой точке со стороны отрицательных значений абсциссы (третья квадранта), то значение напряженности будет отрицательное. Напомним, положительное и отрицательное значение напряженности возникает в одной силовой линии электрического поля, расположенного в своем двумерном пространстве, в котором возможно взаимодействие только с таким же источником, который находится в том же пространстве. Таким образом, в природе значение напряженности электрического поля резко меняется в начале координат, т.е. в месте расположения его источника.

Характер рассмотренного выше распределение напряженности вокруг источника электрического поля подчинено закономерности, которая в математике описывается следующей функцией

$$y = \operatorname{arctg} \frac{a}{x} \quad (18),$$

где y – напряженность электрического поля в рассматриваемом месте пространства, a – фиксированное место пространства, обычно принимаемого за единицу (в нашем случае длина катета) в области которого происходит измерение напряженности поля, x – расстояние от источника электрического поля до точки измерения его напряженности.

Заметим, что значение функции (18), при x , стремящемся к бесконечности, приближается к нулю (см. графическое изображение функции на рисунке 1). Однако в природе такого явления не существует. Нулевое значение напряженности поля становится конечным при фиксированном положении исследуемого участка пространства (в математике фиксированного значения x), хотя это значение (удаленное от источника поля) и очень велико.

Обратим внимание еще и на то, что разрыв функции (18) первого рода, которым она характеризуется, в природе имеет свое физическое содержание. Его смысл состоит в том, что напряженность электрического поля по одну сторону от начала координат вдоль оси абсцисс имеет один знак, а с противоположной стороны – ему противоположный.

Мы рассмотрели распределение напряженности источника электрического поля в области пространства его действия. Аналогичное распределение имеет место и для гравитационного поля, хотя, распределение напряженности в третьем квадранте системы координат у него нет, в силу того, что силовая линия гравитационного поля имеет одну ветвь, обеспечивающую только притяжение таких же источников поля. Что касается магнитного поля, то в нем имеются две ветви силовых линий, однако, в противоположность электрическому полю в нем силовые линии распространяются не по прямым лучам, а представляют собой замкнутые (криволинейные) линии, соединяющие полюса Норда и Зюйда. Более подробное исследование особенностей распределения напряженностей вокруг источников электрического, гравитационного и магнитного полей требует отдельной работы. Особенно это должно касаться гравитационного поля, поскольку приведенная модель требует существенной коррекции Всемирного закона гравитации и его математической модели. Ведь размещая два источника гравитации (две массы), мы можем оказаться в таком месте напряженности их полей, которые далеко не обеспечат справедливость известной формулы

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (19),$$

т.е. наши источники гравитации будут расположены согласно функции (18), где напряженность либо слишком большая, либо слишком малая, и тогда две массы притягиваются совершенно не по правилам выражения (19). Такие расстояния между указанными источниками гравитации могут иметь место на нано уровне существования материи, т.е. на уровне размеров атомов, молекул. Следует также заметить, что в качестве поля могут выступать любое из исследуемых нами четырех полей. Тогда напрашивается вывод, что

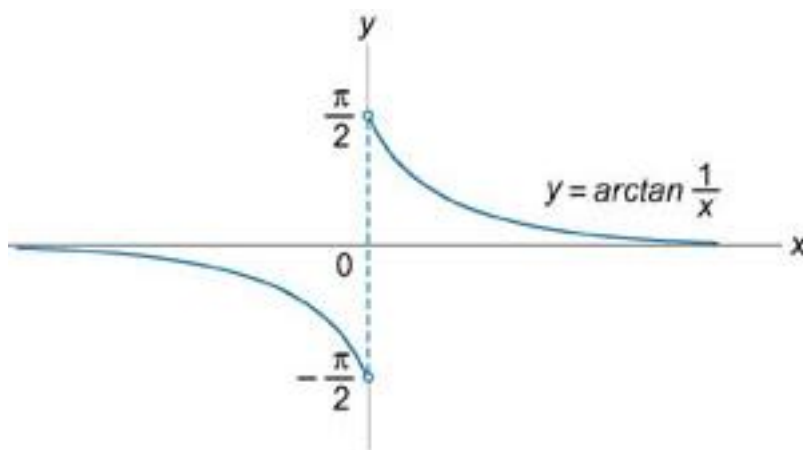


Рис. 1. Значение функции (18) при x , стремящемся к бесконечности

на этом измельченном уровне могут оказаться такие незначительные расстояния между источниками полей, при которых возникают так называемые сильные взаимодействия, и такие расстояния, когда напряженности полей очень слабые – так называемые слабые взаимодействия. Из этого становятся объяснимыми понятия сильных и слабых взаимодействий, которые сегодня в физике подменяют силовое взаимодействие полей.

Весьма «интересная» ситуация возникает, когда мы начнем применять эту формулу Ньютона на мега уровне существования материи. Например, попытаемся с ее помощью определить силу притяжения между Землей и Луной, а также между Луной и Солнцем. Для чего подставим в (19) значения: массы Луны – $7,3477 \cdot 10^{22}$, массы Солнца – $1,9891 \cdot 10^{30}$, массы Земли – $5,9737 \cdot 10^{24}$, расстояние между Землей и Луной равно $38 \cdot 10^7$ м, и между Луной и Солнцем соответственно $14,9 \cdot 10^{10}$ м. Известно, что гравитационная постоянная, примерно, равна $6,6725 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг}\cdot\text{с}^2)$. После вычислений получим, что сила притяжения Луны к Солнцу равна $4,39 \cdot 10^{20}$ Н, а притяжения Луны к Земле – $2,028 \cdot 10^{20}$ Н, т.е. Солнце притягивает Луну к себе более чем в два раза сильнее, нежели Луна притягивается к Земле. Возникает парадокс – почему Луна летает вокруг Земли, а не вокруг Солнца? Согласно формуле «всемирного тяготения» для данной системы из трёх тел, как только Луна окажется между Землей и Солнцем, она должна уйти с круговой орбиты вокруг Земли, превратившись в самостоятельную планету с параметрами орбиты, близкими к земной. Однако, Луна упорно «не замечает» Солнце, как будто его не существует вообще. Оказывается, закон всемирного тяготения выполняется не по формуле (19), а согласно распределению напряженности гравитационных полей космических тел участвующих в совместном существовании во Вселенной, которое было показано выше на примере распределения напряженности электрического поля (18).

5. Векторная характеристика движения вещества

Мы уже отмечали, что источником движения вещества является нарушение однородности распределения материи в вакууме, т.е. в результате простейшего искажения вакуума появляется одно из четырех рассмотренных ранее полей, регистрация которых сводится к обнаружению их силовых линий Фарадея. В зависимости от того, в какой координате Декартовой системы материального сгустка обнаружена силовая линия, от этого и зависит разновидность поля. Рассматриваемые силовые линии это место в пространстве вакуума, в котором происходит взаимодействие сгустка материальной субстанции, с аналогичными такими же сгустками. Обычный «спокойный» вакуум находится в состоянии, когда в нем уравновешены взаимодействия между сгустками, напомним, до его образования они вращались, каждый вокруг своего центра. Совместная остановка вращательного движения сгустков вакуума придала ему свойство упругости, которое стало основой любых движений вещества. Напомним, искажение однородности вакуума путем наложения одного сгустка вакуума на другой вызывает волновое движение. Такое искажение представляет один его вид. В природе имеет место еще и другой вид искажения вакуума, когда происходит сдвиг сгустков обычного их расположения. Такой сдвиг и представляет собой силовую линию Фарадея. Реакция вакуума, посредством своей упругости, направлена на устранение любого его искажения, т.е. «старается» остаться в состоянии покоя. Если в результате наложение двух сгустков в пространстве генерируется фотон, то вакуум от него избавляется, хотя бы в этом конкретном месте пространства, т.е. он удаляет его с места «рождения» со скоростью света. В случае если в пространстве вакуума, путем его искажения, появляется неоднородность, которую мы идентифицируем с электрическим зарядом, то два таких противоположных заряда, с помощью своих силовых линий Фарадея, движутся навстречу друг к другу. Причем это движение, согласно изменяющейся их напряженности в соответствии с функцией (18), будет ускоряться, и в конце этого движения произойдет наложение двух источников заряда, т.е. наложение сгустков материальной субстанции в пространстве вакуума, что, незамедлительно, вызовет генерацию фотона, который тоже удалится с рассматриваемого места со скоростью света. Как отмечалось выше, скорость движения зарядов друг к другу будет изменяться (ускоряться). Это явление в природе происходит не всегда «спокойно». Обычно оно «задевает» среду, в которой находится, меняя ее структуру. Эти изменения обычно связывают с результатом действия силы между двумя материальными системами. Аналогичная ситуация может сложиться и в магнитном поле. Отличие лишь в том, что два источника этого поля являются диполями и в результате их сближения наложение сгустков материальной субстанции не произойдет, в результате чего появление фотона не возникнет – просто магнитные источники сложатся в один более мощный магнит. Тоже произойдет и в гравитационном поле. Однако во всех случаях с движением в поле под действием силовых линий Фарадея мы будем наблюдать одно и то же явление – это ускорение источников напряженности поля.

Если, изучая движение материи, мы обнаружили, что его энергия в математике описывается интегралом функции этого движения, то понятие силы следует связывать с изменением ее значений, которое удобно исследовать с помощью математической операции дифференцирования. Оказалось, что функция, описывающая производную функции движения материи, весьма хорошо отражает основные свойства явления в природе, которые присутствуют при действии силы. Таким образом, уместно сформулировать следующее определение.

Определение 3

Сила, как векторная характеристика движения материи, в математической модели представляет собой первую производную функции этого движения (по скорости).

Если движущееся тело встречает на своем пути преграду, которая уменьшает его скорость до нуля, то в такой ситуации его сложная материальная структура «пытается» проникнуть (соединиться) в эту преграду. Причем это соединение в своем пределе должно произойти на очень измельченном уровне, что незамедлительно приводит тело к разрушению. Чем больше была скорость движения тела, и короче путь ее погашения преградой, тем на более мелкие детали это тело раздробится. Сравнивая результаты разрушения, тела в этом случае, мы можем судить о той энергии, которую в себе несло рассматриваемое движение, производная которого указывает на такую величину характеристики материи, данном случае вещества, как сила. Характерный пример появления силы можно найти в таком виде спорта как бокс. Чем быстрее боксер «разовьет» скорость боксерской перчатки, и чем быстрее он, затем, ее остановит, тем большая сила возникает при встрече ее с телом противника.

Мы уже отмечали, что в природе имеют случаи, когда она «консервирует» свои движения. Это упругость вакуума, которая обеспечивается совместным взаимодействием сгустков, приведшим к остановке их вращения вокруг своего центра. На каждый такой сгусток воздействуют соседние сгустки, и при этом происходит остановка вращательного движения, т.е. имеет место изменение скорости движения материи, «рождается» таким способом явление силы. Эти силы в вакуумной среде уравниваются, и в случае нарушения этого равновесия сгусток материальной субстанции, имеющий свое отношение к рассматриваемому процессу, начинает двигаться. Точно такой же процесс происходит и в магнитном, либо гравитационном диполе. Вообще, природа располагает, на мельчайшем уровне своего существования двумя видами организации упругих материальных систем. Это, когда используются взаимодействия всех сгустков вакуума одновременно – его штиль вакуума, и когда уравниваются движения двух движущихся сгустков материальной субстанции в нем. В данном случае мы имеем дело с магнитным и гравитационным диполями.

6. Выводы

Итак, мы рассмотрели неотъемлемую сторону материи – ее движение. В противовес известному утверждению, согласно которому движение есть внутреннее ее свойство, причем загадочное чуть ли не божественное, в настоящей работе приведены результаты исследований вещественной ее формы существования, раскрывающие это явление природы несколько с другой стороны. Движение вещества является следствием устранения неоднородности распределения материальной субстанции в вакууме. На примерах показана перспективность в исследованиях физики материи метода, когда вначале строится физическая модель изучаемого материала, а затем уже ее математический образ. Причем, используя математику, в изучении энергетических и силовых свойств вещества, следует вначале выяснить функцию движения, а затем уже к ней применить математический багаж. Такой подход позволил весьма убедительно показать, что интеграл функции движения в природе соответствует энергии, а ее первая производная – силе. Эта изящная особенность математической модели движения оттенена на примере принципиально нового вывода и анализа формулы Эйнштейна и определения энергетического содержимого фотона. Этот же корректный подход в использовании математики, при изучении явлений позволил существенно продвинуться в понимании физического поля. В результате предложена математическая модель распределения напряженности поля, которая, в частности, корректирует наши знания о Всемирном законе гравитации, приближая их к истине.

Литература

1. Вышинский В.А. Трудности развития вычислительной техники в условиях кризиса физики / В.А.Вышинский // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. №2 –С.121-126
2. Вышинский В.А. Всеобщие законы природы и новая система постулатов физики /В.А.Вышинский // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. №4 –С.24-32
3. Вышинский В.А. Физическое поле в вакууме// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015.№1 –С.21-28
4. Вышинский В.А. О возникновении элементарных частиц вещества. Инерция// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. №2 –С.18-24
5. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории / С. Вайнберг //Издательство «Едиториал УРСС», 117312. – М, 2004. –253с.

References

1. V.A. Vyshinskiy Trudnosti razvitiya vyshislitelnoy teshniki v usloviyah krizisa phiziki / V.A. Vyshinskiy// Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2014. №2 – P. 121-126
2. V.A. Vyshinskiy Vseobshie zakoni prirodi i novaiy sistema postulatov phiziki/ V.A. Vyshinskiy// Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2014. №4 – P. 24-32
3. V.A. Vyshinskiy Phizishskoe pole v vakuume/ V.A. Vyshinskiy// Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2015. №1 – P.21-28
4. V.A. Vyshinskiy O vosniknovenii elementarnish shastic veshstva . Inerchi / V.A. Vyshinskiy// Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2015. №2 – P.18-24
5. S. Weinberg Meshti ob okonshatelnoy teorii / S. Weinberg//Izdatelstvo «Editorial URCC» 117312. –M, 2004. – 253c.

ПЕРСПЕКТИВИ УТВОРЕННЯ НОВИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Теорія енергоактивної матеріальної надлишковості дає можливість по-новому пояснити природу утворення хімічних елементів, їх властивості і показує перспективи утворення або синтезу подальших нових хімічних елементів в періодичній таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва.

Висновком, що випливає з теорії енергетично активної матеріальної надлишковості, є твердження – на певному етапі розпаду даного Реаліума в залежності між співвідношенням рівнів енергії простору ядра атома і енергії простору електронної оболонки ядро стає нестійким і розпадається на два або декілька елементів з умовами енергетично стійкого ядра. Такий розпад ядра атома буде половинним або близьким до половинного.

Ключові слова: Реаліум, Дірак, хімічний елемент, ядро, електронна орбіталь, половинний розпад.

M.F. BOGOMOLOV

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

V.V. MALISHEV, A.A. TROTS

Open International University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine

PROSPECTS OF FORMATION OF NEW CHEMICAL ELEMENTS

The theory of energy active material redundancy enables a new way to explain the nature of the formation of chemical elements and their properties and show prospects for further education or synthesis of new chemical elements in the periodic table of chemical elements DI Mendeleev.

The conclusion that follows from the theory energetically active material redundancy, is the claim - at some stage of decay Realiuma depending on the ratio between the energy levels of the atom's nucleus space and space energy electron shell of the nucleus becomes unstable and breaks up into two or more elements of a sustainable energy conditions nucleus. This nucleus will decay half or close to half.

Keywords: Realium, Dirac, a chemical element, core electronic orbital decay half.

Вступ

Динаміка енергетичних станів Дірака і Реаліума, згідно теорії Дірака-Реаліума (Д-Р-теорії), структурно є сталою і утворює в своєму розвитку прогресуючий простір своїх енергетичних станів [1].

Взаємодіючи, окремі Діраки і Реаліуми між собою, існують в загальному випадку взаємно в одному евклідовому просторі, мікроструктура якого (міра) залежить від мікроструктур Прогресуючих просторів, що взаємодіють або ж між собою, або ж з зазначеним евклідовим простором [2].

Вихідні передумови

Мікроструктура Прогресуючого і евклідового простору, що взаємодіють, залежить від значень змінних (координат) двох просторів при умові виконання оператора переходу прогресуючого простору в евклідів і навпаки [2,3]. Таким чином, умовою формування міри просторів є умова виконання оператора переходу

$$e^{x,y,z,\dots} = exyz\dots \quad (1)$$

для Реаліума і

$$\dots u^n m e = \dots unme \quad (2)$$

для Дірака.

Поєднавши (1) і (2) отримуємо повний експоненційний ряд оператора переходу. Прогресуючого простору Дірака-Реаліума в евклідів, для якого завжди виконується умова

$$\dots u^n m e^{x,y,z,\dots} = \dots unmexyz\dots \quad (3)$$

де $\dots u^n m e^{x,y,z,\dots}$ – повний експоненційний ряд, центром якого є значення $const e$ – межі Дірака і Реаліума.

На основі комп'ютерних розрахунків отримано значення змінних експоненційного ряду Дірака по залежності оператора переходу прогресуючого простору в евклідів [1,5].

$$\begin{aligned}
 1. m^e &= me \Rightarrow m^{e-1} = e \Rightarrow n = m^{e-1} \sqrt[e]{me} \\
 & m = 1,7895724... \\
 2. n^{m^e} &= nme \Rightarrow n^{m^e-1} = me \Rightarrow n = m^{e-1} \sqrt[e]{me} \\
 & n = 1,5058458...
 \end{aligned}$$

і т.д.

В кінцевому вигляді експоненційний ряд Дірака округлено має вигляд

$$\begin{array}{c}
 e \\
 1,79 \\
 1,57 \\
 1,37 \\
 1,29 \\
 1,24 \\
 1 \dots
 \end{array}
 \quad (4)$$

Аналогічно дослідимо оператор переходу прогресуючого простору Реаліума в евклідів для отримання експоненційного ряду прогресуючого простору Реаліума. Так, для одномірного Реаліума маємо [2,5]:

$$e^x = ex \Rightarrow e^{x-1} = x \Rightarrow e = \frac{x-1}{x} \sqrt{x} \quad (5)$$

Розкладемо в числовий ряд e^{x-1}

$$e^{x-1} = 1 + \frac{x-1}{1} + \frac{(x-1)^2}{2!} + \dots + \frac{(x-1)^n}{n!} + \dots$$

Але $e^{x-1} = x$ з (2.297). Тоді

$$x - 1 = 1 + \frac{x-1}{1} + \frac{(x-1)^2}{2!} + \dots + \frac{(x-1)^n}{n!} + \dots \quad (6)$$

Скоротивши (6) на $x-1$, маємо

$$1 = 1 + \frac{x-1}{2!} + \frac{(x-1)^2}{3!} + \dots + \frac{(x-1)^{n-1}}{n!} + \dots \quad (7)$$

Звідки $x=1$.

Для двовимірного простору

$$e^{x^y} = e^{xy} \quad (8)$$

Отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases}
 e^{x^y-1} = xy \\
 x^y = 1
 \end{cases}
 \quad \begin{cases}
 e = \frac{x^y-1}{x^y} \sqrt{x^y} \\
 y \ln x = \ln 1
 \end{cases}$$

Очевидно із другого рівняння системи рівнянь, що розв'язків два

1. x – довільне і $y = 0$

2. $x = 1$ і y – довільне

Або

1. $y \rightarrow 0$; $0 \rightarrow x \rightarrow \infty$

2. $x \rightarrow 1$; $0 \rightarrow y \rightarrow \infty$

На основі умови 2 із (6), а також (8), повний експоненційний ряд приймає вигляд

$$\begin{array}{c}
 e \\
 \dots \\
 0 \dots 1 \dots e \\
 \dots 0 \dots 1 \dots e \\
 \dots 0 \dots 1 \dots e \\
 \dots 0 \dots 1 \dots e \\
 \dots 0 \dots 1 \dots e \\
 \dots 0 \dots 1 \dots e
 \end{array}
 = e
 \quad (9)$$

Мета

Дослідження умов взаємодії енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища із зовнішнім середовищем в прогресуючому просторі з метою створення оптимальної структури хімічного елемента та визначення перспективи утворення нових хімічних елементів.

Вирішення поставленої задачі

Таким чином, характерними числами певного експоненційного ряду є $e, 1, 0$, що в загальному випадку утворюють міру прогресуючого простору, що задовільняє умові оператору переходу. Якщо повний експоненційний ряд записати в числах, що відповідають мірі такого прогресуючого простору, яка відповідає умові оператору переходу, то отримуємо закінчений вигляд повного експоненційного ряду [1]

$$e^{10^1} e^{10^1} = e \tag{10}$$

Ряд із (10) утворює одну із координатних осей прогресуючого простору, що є адекватним своєму евклідовому просторові (при умові виконання оператора переходу). Тоді, координатна сітка такого евклідового простору на площині має вигляд

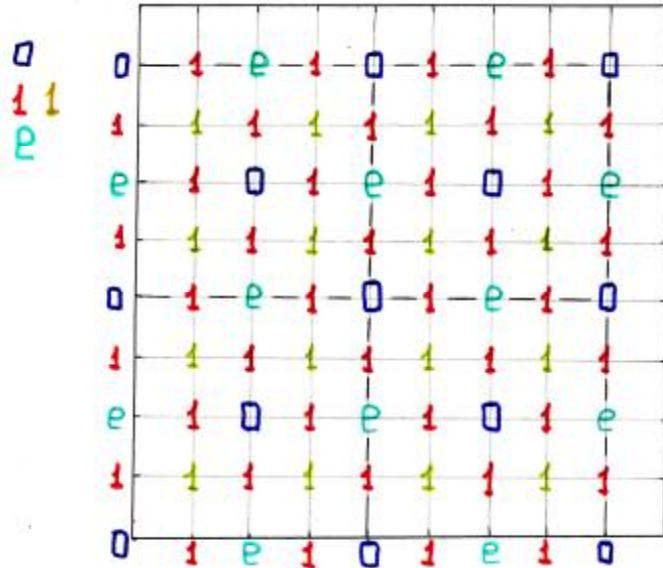


Рис. 1. Координатна сітка прогресуючого простору на площині свого евклідового простору

В залежності від стану прогресуючого простору може існувати три основні види координатних сіток такого простору в одному і тому же евклідовому об'ємі. (Рис. 2).

Крім трьох основних, існує три додаткових і вісімнадцять можливих комбінацій координатних Сіток, що різняться.

Таким чином, в залежності від стану прогресуючого простору, на одній евклідовій осі можливі дві метрики і їх відсутність 0. Метрика прогресуючого простору на відповідній евклідовій площині має шість своїх видів. Метрика прогресуючого простору у відповідному цьому просторові евклідовому об'ємі (просторі) утворює 24 своїх видів. Ця закономірність однозначно відповідає теоремі розпаду елементарної частинки і, як її наслідку повному розпаданому ряду (2, 6, 24, 120 і т.д.) [2].

Аналізуючи координатну сітку прогресуючого простору на площині відповідного евклідового простору, зазначимо повне відображення напіврозпаданого ряду 2, 8, 18, 32 і т.д. по кількості однотипних координатних вузлів. 1 – 8 шт., двотипних 1.0 – 18 шт, і трьохтипних $e, 1, 0$ – 32 шт (Рис.1).

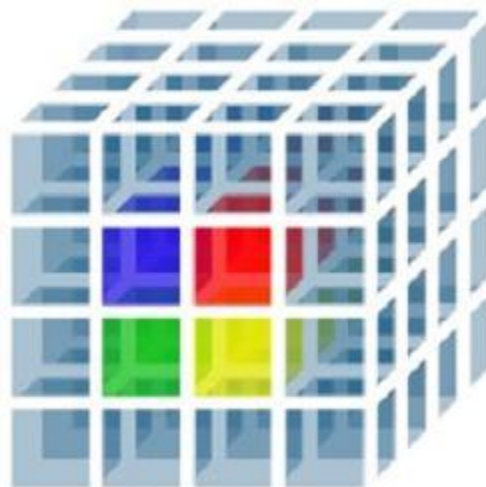


Рис. 2. Три основні види координатних сіток прогресуючого Простору в об'ємі свого евклідового простору.

Четвертому повному розпаду відповідає поєднання евклідових 24 координатних об'ємів і утворених на прогресуючих осях $e101e101e$, з експоненційною віссю на інтервалі $e101e$. Або, іншими словами, переміщення 24 типових евклідових просторів з прогресуючими осями на елементарній експоненційній осі $e101e$ утворює 120 типових енергетичних станів.

І дійсно, 24 енергетичні стани евклідового простору при переміщенні по 5-х метриках експоненційної осі дають однозначно 120 нових енергетичних станів, $24 \cdot 5 = 120$, що відповідає четвертому розпаду згідно теореми розпаду.

Подальший шлях дослідження бачиться авторами в аналізі координатних сіток прогресуючого простору в евклідовому об'ємі, що однозначно відповідає прогресуючому просторові на умові оператору переходу прогресуючого простору в евклідів і навпаки.

Таким чином, в результаті аналізу взаємодії прогресуючого простору Дірака і Реаліума з відповідним їм евклідовим простором при умові виконання оператора переходу прогресуючого простору в евклідів і навпаки отримано значення повного експоненційного ряду оператора переходу і визначено метрику такого прогресуючого простору, що є адекватним евклідовому просторові, що його займає. Показано, що характер одного виду координатної сітки відтворює напіврозпадний ряд в межах 2, 8, 18, 32, а кількість можливих видів координатних сіток вкладається в повний розпадний ряд в межах 2, 6, 24, що відповідає закономірностям розпаду енергії і одної елементарної частинки Д-Р теорії.

Побудова напіврозпадного ряду прогресуючого простору по координатній сітці прогресуючого простору

Побудована вище координатна сітка прогресуючого простору дозволяє вирахувати по рівням заповнення сітки, що повністю відповідає числовим значенням заповнення електронних рівнів електронами в структурі хімічних елементів.

0	1	e	1	0	1	e	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	1	0	1	e	1	0	1	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	e	1	0	1	e	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	1	0	1	e	1	0	1	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	e	1	0	1	e	1	0

Рис. 3. Координатна сітка станів прогресуючого простору в евклідовому

Приведемо розподіл заповнення сітки по наростаючих периметрах від центру «0»:

Таблиця 1

Номер рівня № п/п	Енергетичні стани	Кількість елементарних частинок в рівні
1	0	1
2	0,1	2
3	1,1	8
4	e,1; 0,1,e,1	18
5	e,1,1	32
6	0,e,1,1,1	50
7	E,0,1	72

При побудові сьомого рівня (72) координатної сітки з'являється перша аномальна зона, коли необхідність квадрату (8 елементарних частинок нарівні) а також явно вираженого центру «0» відпадає, тобто пустота центру. Звідси випливає висновок: при високих енергетичних рівнях станів прогресуючого простору необхідність заповненого центру відпадає.

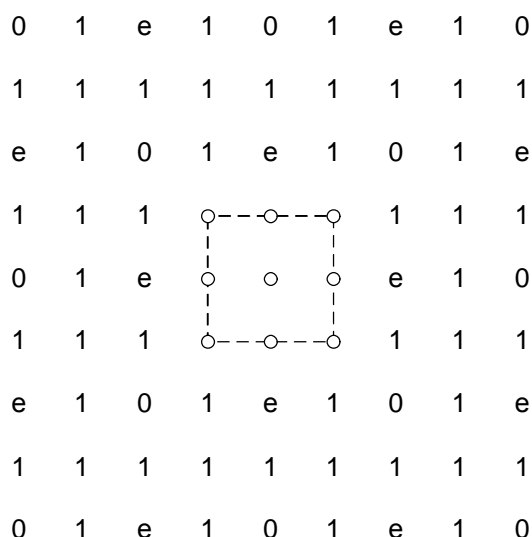


Рис. 4. Координатна сітка станів прогресуючого простору для електронного рівня 72

Механізм утворення напіврозпадного ряду з позиції класичної хімії

Побудуємо напіврозпадна ний ряд з позиції теорії заповнення електронами електронних рівнів в атомах хімічних елементів:

1. 1 (один електрон в рівні);
2. 2 (два електрони в рівні);
3. 8 (вісім електронів в рівні);
2+6 = 8, де 6 = 4+2;
4. 18 (вісімнадцять електронів в рівні);
8+10 = 18, де 10 = 4+6;
5. 32 (тридцять два електрони в рівні);
18+14 = 32, де 14 = 4+10;
6. 50 (п'ятдесят електронів в рівні);
32+18 = 50, де 18 = 4+14;
7. 72 (сімдесят два електрони в рівні);
50+22 = 72, де 22 = 4+18;
8. 98 (дев'яносто вісім електронів в рівні);
72+26 = 98, де 26 = 4+22.

Розрахунки напіврозпадного ряду можна продовжити і далі. В результаті таблиця ніпіврозпадного ряду має вигляд:

Таблиця 2

Напіврозпадна ний ряд									
Числове значення напіврозпаду									
1	2	8	18	32	50	72	98	128	200
Номер напіврозпаду									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Числове значення напіврозпаду									
242	288	338	392	450	512	578	648	722	800
Номер напіврозпаду									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Таблиця у своїй побудові включає ще певну кількість логічних висновків, але обмежимося лише отриманими для ясності викладок.

Розрахунок розпадного ряду за допомогою рекурентної формули кількості станів прогресуючого простору в залежності від номеру розпаду

Таблиця 3

Розпадна ний ряд									
Числове значення розпаду									
1	2	6	24	120	720	5040	40320	362880	3628800
Номер розпаду									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рекурентна формула розрахунку числових значень розпадного ряду кількості станів прогресуючого простору від номеру розпаду має вигляд:

$$N_i = n_i N_{i-1}, \quad (11)$$

де N_i - числове значення розпаду;

n_i - номер розпаду;

N_{i-1} - числове значення попереднього розпаду.

Механізм утворення хімічного елементу з позиції теорії енергетично активної матеріальної надлишковості

1. Енергетично активна елементарна частинка проходить перший етап:
 1. половинний розпад на ядро і електрон;
 2. ядро «провокує» подальший розпад, утворюючи нейтрон і позитрон.
2. Так як електрон енергетично більший ніж складові ядра (нейтрон і позитрон), він компенсує свою надлишковість займанням вільного простору.
3. Простір хімічного елементу нерозривний і вимагає свого заповнення по спіралевидній формі з розривом на кожному електроні.

Наглядно, заповнення електронних орбіталей електронами на певних етапах розпаду з позицій теорії енергетично активної матеріальної надлишковості найбільш повно відповідає структурі паралелепіедно-кубічного заповнення паралелепіедами і кубами, відповідної номеру розпаду величини. Розглянемо найбільш характерні види заповнення відповідних ім хімічних елементів.

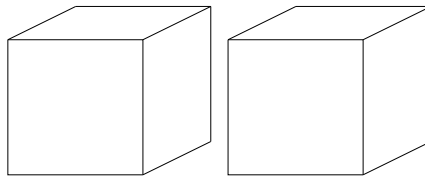


Рис. 5. Заповнення електронних орбіталей – 1, водень (H), порядковий номер – 1.

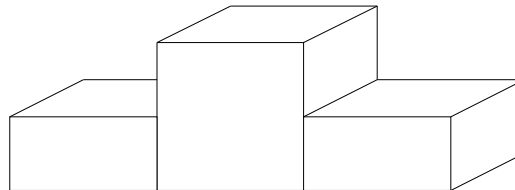


Рис. 6. Заповнення електронних орбіталей – 2, гелій (He), порядковий номер – 2.

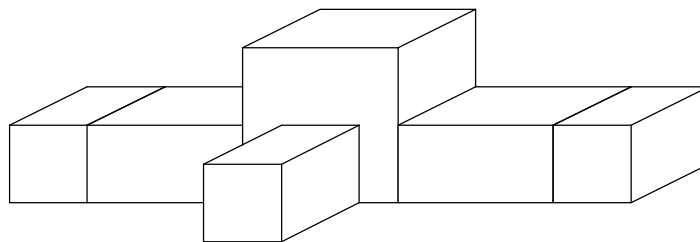


Рис. 7. Заповнення електронних орбіталей – 2, 4, вуглець (C), порядковий номер – 6.

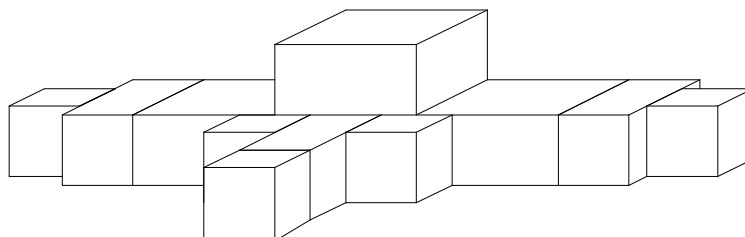


Рис. 8. Заповнення електронних орбіталей – 2, 8, 4, кремній (Si), порядковий номер – 14.

Всі розпадні елементи (найменші елементарні частинки) приєднуються до вільних площин кубу більшої енергетики.

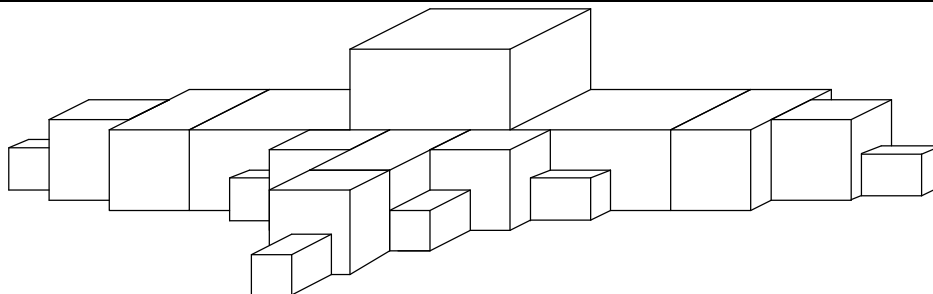


Рис. 9. Заповнення електронних орбіталей – 2,8,10,2, титан (Ti), порядковий номер – 22.

Титан найбільш енергетично збалансований хімічний елемент, так як всі бокові поверхні більших елементарних частинок заповнені меншими елементарними частинками.

1. При кожному розпаді кожна елементарна частинка веде себе як незалежна.
2. Центр ядра акумулює в собі всі можливі варіанти заповнення електронних рівнів і помножує (множить) їх на двоє.
3. При утворенні елементу аргон (Ar) останні по величині елементарні частинки розпадаються на двоє. В результаті всіх частинок буде 18.
4. Відповідно, при утворенні елементу криптон (Kr) 16 останніх розпадаються ще на два і всіх частинок буде 36.
5. Розпад останніх елементарних частинок на двоє відбувається до тих пір поки не утвориться найменша можлива для даного Реаліуму елементарна частинка.

Розпадному числу 120 розпадного ряду відповідає хімічний елемент з порядковим номером 120, який буде мати найбільш повну для даного етапу розпаду Реаліума структуру заповнення електронних рівнів – 2,8,18,32,32,18,8,2.

6. 120-й хімічний елемент буде останнім із хімічних елементів з вищеприведеним заповненням електронних рівнів.
7. Подальше утворення нових хімічних елементів можливе при появі електронних рівнів 50 і 50,50, яким відповідають порядкові номери елементів – 170 і 220.
8. На базі можливого поєднання елементів золота (Au) і срібла (Ag) утворюється хімічний елемент з порядковим номером 126, що дорівнює сумі порядкових номерів цих двох елементів ($79+47 = 126$). При цьому структура заповнення електронних рівнів нового елементу має вигляд: 2,8,18,38,32,18,8,2.
9. На базі можливого поєднання елементів платини (Pt) і срібла (Ag) утворюється хімічний елемент з порядковим номером 125, що дорівнює сумі порядкових номерів цих двох елементів ($78+47 = 125$). При цьому структура заповнення електронних рівнів нового елементу має вигляд: 2,8,18,37,32,18,8,2.
10. На базі можливого поєднання елементів золота (Au) і платини (Pt) утворюється хімічний елемент з порядковим номером 157, що дорівнює сумі порядкових номерів цих двох елементів ($79+78 = 157$). При цьому структура заповнення електронних рівнів нового елементу має вигляд: 2,13,32,50,32,18,8,2. Це елемент групи барія, який буде мати властивості перехідного металу згідно періодичної таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва.

11. Хімічний елемент з розміщенням електронів на електронних рівнях 8,18,32,50,32,18,8,2, що має порядковий номер $168 = 8+18+32+50+32+18+8+2$, буде наступним після елементу унуоктій (118; 8,18,32,32,18,8,2) інертним газом.

12. Проміжний знаковий хімічний елемент треба фіксувати як 2,8,18,32,50,32,18,8,2 = 170, що розміщується в групі магнію і має властивості лужноземельного металу. Попередні елементи групи:

- 1) магній (Mg); $2,8,2 = 12$;
- 2) кальцій (); $2,8,8,2 = 20$;
- 3) стронцій (); $2,8,18,8,2 = 38$;
- 4) барій (); $2,8,18,18,8,2 = 56$;
- 5) радій (); $2,8,18,32,18,8,2 = 88$
- 6) _____ (____); $2,8,18,32,32,18,8,2 = 120$!;
- 7) _____ (____); $2,8,18,32,50,32,18,8,2 = 170$.

13. Слід зазначити, що першим розпадом першої елементарної частинки такого Реаліуму є її розпад на ядро атома і електрон. При цьому утворюється атом водню (H).

14. Подальшими етапами розпаду елементарної частинки є розпади елементарних частинок просторово рознесених електронів і стійкого просторово компактного ядра

Очевидно, $(2+2)+2$ – дві найбільш нестійкі елементарні частинки діляться (розпадаються) ще на два, таким чином утворюється число 4 в рекурентному ряді для визначення числа електронів в наступному електронному рівні. Тобто, при заповненні $2,8 = 10$ (неон; Ne), де $8 = 2+6 = 2+(4+2)$. Рекурентна формула для визначення числа електронів заповненого i -го електронного рівня має вигляд:

$$n_i = n_{i-1} + (4 + k_{i-1}), \quad (12)$$

де n_i - число електронів на заповненому електронному рівні, що визначається; n_{i-1} - число

електронів попереднього електронного рівня; k_{i-1} - рекурентний залишковий коефіцієнт.

$$\begin{aligned}k_{i-1} &= 4 + k_{i-2}, \\k_{i-1} &= 4 \times (i - 1) + n_1, \\n_1 &= 2,\end{aligned}\tag{13}$$

15. Ще одним висновком, що впливає з теорії енергетично активної матеріальної надлишковості, є твердження – на певному етапі розпаду даного Реаліума в залежності між співвідношенням рівнів енергії простору ядра атома і енергії простору електронної оболонки ядро стає нестійким і розпадається на два або декілька елементів з умовами енергетично стійкого ядра. Такий розпад ядра атома буде половинним або близьким до половинного.

Висновок

Теорія енергоактивної матеріальної надлишковості дає можливість по-новому пояснити природу утворення хімічних елементів, їх властивості і показує перспективи утворення або синтезу подальших нових хімічних елементів в періодичній таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва.

Література

1. Таланчук П.М. Основы теории проектирования измерительных приборов: Учеб.пособие / П.М. Таланчук, В.Т. Рущенко. – К.: Выща школа. Головное изд-во, 1989. – 454 с., ил.
2. Конохов А.Г.. Метрологическое обеспечение в приборостроении. Аспекты управления / А.Г. Конохов. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 208 с., ил.
3. Методы синтеза нелинейных систем автоматического управления. Под ред. д.т.н., проф. С.М.Федорова. – М.: Наука, 1986. – 210 с.
4. Троц А.А. Основы математичного опису теорії Дірака-Реаліума / Троц А.А. // Нац. техн. ун-т України “Київ. політехн. ін-т”, – Київ, 1995. – 38 с.: іл. – Бібліогр.: 5 назв. – Рос. – Деп. в ДНТБ України 20.12.95 № 130-Ук96.
5. Кокаровцев В.В., Троц А.А. Фізичні аспекти теорії Дірака-Реаліума. Нац.техн. ун-т України “Київ.політехн. ін-т”, - Київ, 1995, - 50 с.: іл. – Бібліогр.: 6 назв. – Рос. – Деп в ДНТБ України 20.12.95 № 129-Ук96.
6. Дружинин В.В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Кондоров. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с, ил.
7. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной / И.Л. Розенталь. – М.: Наука, 1984. – 112 с.
8. Бояринов В.А. Синтез математической модели средств измерений индуктивным методом самоорганизации на ЭВМ / В.А. Бояринов, В.Т. Рущенко // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Приборостроение. – К.:, 1985. – Вып. 15. – С. 37.
9. Троц А.А. Основы математичного опису теорії Дірака-Реаліума / А.А. Троц // Науково-технічний університет України "Київський політехнічний інститут", – Київ, 1995. – 38 стр. Іл.- Бібліогр. 5 назв. – Рос.- Деп. В ДНТБ України 20.12.95 № 130 – Ук 96.
10. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / В.Е. Кузьмичев // Отв. ред. В.К.Тартаковский. К.: Выща школа, 1989. – 864 с.

References

1. Talanchuk P.M., Rushchenko V.T. Osnovy teoryy proektyrovanyya yzmyrnykh pryborov: Ucheb.posobyе. – K.: Vishcha shkola. Holovnoe yzd-vo, 1989. – 454 s., yl.
2. A.H. Konukhov. Metrolohycheskoe obespechenye v pryborostroyeny. Aspekty upravlyenyya. – M.: Yzd-vo standartov, 1990. – 208 s., yl.
3. Metody synteza nelyneynykh system avtomatycheskoho upravlyenyya. Pod red. d.t.n.,prof. S.M.Fedorova. – M.: Nauka, 1986. – 210 s.
4. Trots A.A. Osnovy matematychnoho opysu teoriyi Diraka-Realiuma. Nats.tekhn.un-t Ukrainy “Kyiv.politekhn. in-t”, - Kyiv, 1995, - 38 s.: il. – Bibliohr.: 5 nazv. – Ros. – Dep. v DNTB Ukrainy 20.12.95 # 130-Uk96.
5. Kokarotsev V.V., Trots A.A. Fyzichni aspekty teoriyi Diraka-Realiuma. Nats.tekhn. un-t Ukrainy “Kyiv.politekhn. in-t”, - Kyiv, 1995, - 50 s.: il. – Bibliohr.: 6 nazv. – Ros. – Dep v DNTB Ukrainy 20.12.95 # 129-Uk96.
6. Druzhynyn V.V., Kondorov D.S. Systemotekhnika. – M.: Radyo y svyaz, 1985. – 200 s, yl.
7. Rozental Y.L. Elementarnie chastytsy y struktura Vselennyoy. - M.: Nauka, 1984. – 112 s.
8. Boyarynov V.A., Rushchenko V.T. Syntez matematycheskoy modely sredstv yzmerenyu induktyvnim metodom samoorganizatsyy na ЭВМ // Vestn. Kiev. polytekh. yn-ta. Pryborostroyeny. – K.:, 1985. – Vyp. 15. – S. 37.
9. Trots A.A. Osnovy matematychnoho opysu teoriyi Diraka-Realiuma (Naukovo-tekhnichnyy universytet Ukrainy „Kyivskiy politekhnichnyy instytut”), - Kyiv, 1995, - 38 str. Il.- Bibliohr. 5 nazv. – Ros.- Dep. V DNTB Ukrainy 20.12.95 # 130 – Uk 96.
10. Kuzmychev V.E. Zakony y formuly fyzyky / Отв. ред. В.К.Тartakovskyy. K.: Vyshcha shkola, 1989. – 864 s.

Рецензія/Peer review : 25.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.10.2015 р.

В.А. ТОЛБАТОВ, О.А. ДОБРОРОДНОВ

Сумський державний університет, Україна

А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО

Сумський національний аграрний університет, Україна

С.В. ТОЛБАТОВ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОЦІНКА ПОВНОТИ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ВІДМОВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ

Розглядаються питання, пов'язані з підвищенням надійності технологічного обладнання з жорсткою та гнучкою логікою для всіх промислових галузей. Проведено оцінку повноти захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, яка дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Запропоновано метод оцінки повноти захисту.

Ключові слова: обладнання, система управління, захист, інформаційна система, управляюча програма.

V.A. TOLBATOV, O.A. DOBRORODNOV

Sumy State University, Ukraine

A.V. TOLBATOV, O.B. VIUNENKO

Sumy National Agrarian University, Ukraine

TOLBATOV S.V.

National aviation university, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF COMPLETENESS OF TECHNOLOGICAL PROTECTION EQUIPMENT DISCLAIMER CONTROL SYSTEM

Annotation The problems associated with the increased reliability of process equipment with rigid and flexible logic for all industrial sectors. The evaluation of completeness of protection for technological equipment of various complexity, which allows to approach the problem of synthesis protection and optimize it. Proposals method for assessing the completeness of defense.

Keywords: equipment, control system, protection, information system, controlling program.

Вступ

Розглянуті питання, пов'язані з підвищенням надійності технологічного обладнання з жорсткою та гнучкою логікою для всіх промислових галузей [1-6]. Поступова відмова це відмова що відбувається в результаті повільного, поступового погіршення параметрів об'єкту. Як зазначається в роботі – забезпечення надійності можуть проводитися на стадії проектування, виготовлення та експлуатації об'єкту. Описано метод оцінки допустимих відхилень визначальних параметрів. Наведено приблизний перелік видів захисту для оптимального функціонування обладнання та систем управління.

Мета введення захисту обладнання від відмов, що виникають у системі управління (СУ) та її оцінки – підвищення експлуатаційної надійності СУ, запобігання браку продукції, що випускається, попередження аварії устаткування і травматизму обслуговуючого персоналу [2].

ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ВІДХИЛЕНЬ ВИБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ

Допустимі відхилення визначальних параметрів встановлюється виходячи з ефективності функціонування СУ. Нехай ефективність функціонування СУ визначається деяким функціоналом E

$$E = \Phi[x_1, \dots, x_n, f_1(y_1, \dots, y_k), \dots, f_m(y_1, \dots, y_2)] \quad (1)$$

котрий задається параметрами $\{x_i\}$ і функціями $\{f_j(y_1, \dots, y_k)\}$. Якщо припустити, що зміні піддається один з параметрів x_i , то функція ефективності СУ може бути в загальному випадку зображена графічною залежністю $E = \Phi[x_i]$ (рис. 1).

Зміна параметра x_i , може привести до такого рівня ефективності $E_{пр}$, що використання СУ стає практично недоцільним, і більше того, може зруйнувати керований об'єкт.

Система нерівностей

$$x_{прн} < x_i < x_{прв} \quad (2)$$

визначає область можливого використання СУ при зміні даного параметра. У цьому випадку $x_{прн}$ та $x_{прв}$ – нижня і верхня граничні значення параметра x_i .

В силу того, що в більшості випадків межі граничного стану параметрів розмиті, а захисна реакція СУ не може бути реалізована миттєво, вводиться рівень ефективності E_d , який би охоплював область допустимої зміни визначаючого параметра і відповідно $x_{дн}$ та $x_{дв}$ нижню і верхню межю допустимої зміни параметра x_i . Область допустимої зміни визначаючого параметра повинна вибиратися таким чином, щоб реакція системи захисту виключала б можливість досягнення СУ свого граничного стану. Якщо функціонал

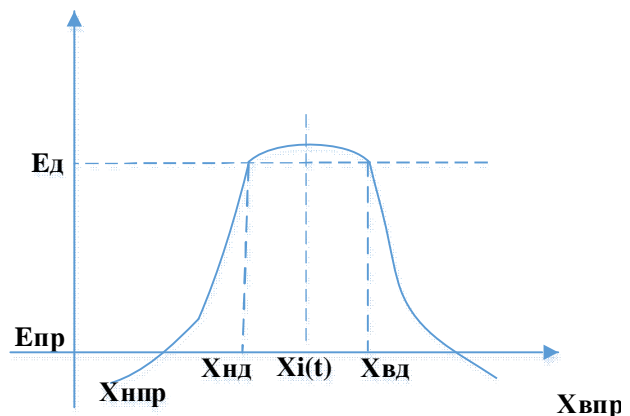


Рис. 1. Графічна залежність функції ефективності системи управління

виражений через функцію змінного параметра $E=\Phi[f_i(y_i)]$, то ефективність СУ буде залежати від того, наскільки точно виконується залежність $[f_i(y_i)]$. В цьому випадку межа граничного $\delta_{гп}$ і допустимого $\delta_{д}$ станів представляють також функції. Система нерівностей визначає область можливого використання СУ при зміні даного параметра.

$$|f_{гп}(y_i) - f(y_i)| \leq d_{гп} \quad (3)$$

$$|f_{д}(y_i) - f(y_i)| \leq d_{д} \quad (4)$$

Область допустимого відхилення визначального параметра встановлюється виходячи з точності виконання вимог до технологічного процесу. До цих вимог належать: дотримання допусків на розміри оброблених поверхонь, встановлених меж відхилення значень швидкості обробки часу перемикання пристроїв. Технологічний процес обробки на обладнанні з жорсткою та гнучкою логікою задається управляючою програмою (УП), яка визначає траєкторію переміщення виконавчого механізму, моменти підключень (перемикань) елементів автоматки. Керуючий вплив, що задається УП перетворюється оператором А цільової функції

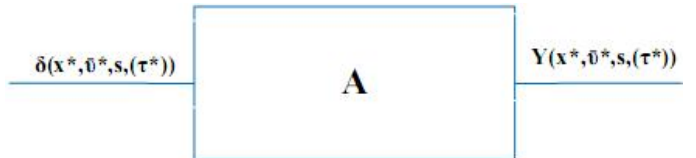


Рис. 2. Система перетворень

d в вектор стану системи управління Y (рис. 2). Через неточності перетворення і під впливом зовнішніх збурюючих впливів можлива деяка неузгодженість Δ між заданим УП керуючим впливом і реалізованим вектором стану.

$$\bar{d}A - \bar{Y} = \Delta \quad (5)$$

Для забезпечення вимог технологічного процесу необхідно, щоб $\|\bar{\Delta}\| \leq d$.

Для захисту першого рівня необхідно виконання даної системи нерівностей [6].

Для захисту другого рівня потрібно розбити нерівності на компоненти вектора Δ :

$$\begin{cases} \Delta_1 \leq d_1 \\ \Delta_n \leq d_n \end{cases} \quad (6)$$

і надалі здійснити пряме перетворення допустимих відхилень

$$g_i A = J_i \quad (7)$$

де J_i - визначаючий параметр. Для захисту третього рівня межі зміни визначального параметра отримують шляхом множення величини допустимого відхилення на коефіцієнти підсилення перетворюючих пристроїв, розташованих між точкою контролю даного визначального параметра і керуючого впливу вздовж напрямку його поширення. Момент спрацювання системи захисту може бути встановлений по моменту перетину визначальним параметром межі допустимого значення. Пропонується два критерії, що визначали б момент спрацювання систем захисту. В основі першого критерію - припущення самого несприятливого випадку, коли в момент виявлення перетину x_d значення визначаючого параметра з максимально можливою швидкістю прагнуть до кордону граничного відхилення:

$$|x_d| = |x_{гп}| - d_M \quad (8)$$

де d_M - максимальний шлях, який може пройти точка, відображається на осі X значення і-го визначального параметра, за час з моменту відключення впливу що керував до повної зупинка ВМ, якщо в момент відключення управляючого впливу точка мала максимально можливу швидкість і до валу двигуна був прикладений гальмуючий момент M_p . На підставі закону збереження енергії можна оцінити d_M :

$$d_M = \frac{(mv_m^2 + jw^2)r}{2(M_p + r) \int_t F(t) dt} \quad (9)$$

де m - приведена до осі рухома маса;

V_m - максимальна швидкість зміни визначаючого параметра;

j - приведений момент інерції двигуна, до якого прикладений момент M_p ;

w - кутова швидкість обертів вала двигуна приводу;

r - плече гальмуючого моменту;

$F(t)$ - сила різання, приведена до даної осі.

На практиці величина d_M може бути встановлена дослідним шляхом і задана параметрично.

В основу другого критерію покладений наступний алгоритм.

Нехай деякі моменти часу t_1, t_2, \dots, t_j обробляється інформація x_1, x_2, \dots, x_j про значення визначального параметра. Тоді в будь-який момент t_j швидкість зміни визначального параметра дорівнює:

$$V_j = \frac{x_j - x_{j-1}}{\Delta t}; V_{j-1} = \frac{x_{j-1} - x_{j-2}}{\Delta t} \quad (10)$$

$$W_j = \frac{v_j - v_{j-1}}{\Delta t} = \frac{x_j - 2x_{j-1} + x_{j-2}}{\Delta t^2} \quad (11)$$

де W_j - прискорення зміни визначального параметра.

Припустимо, що при наступному вимірюванні x_{j+1} , виникає необхідність в аварійній зупинці за рахунок додатку до валу двигуна гальмуючого моменту Mp . Шлях, який пройде відображаюча точка до повної зупинки, можна обчислити:

$$d = \frac{V_{j+1} + V_j}{2} \Delta t + V_{j+1} f(Mp, t) \quad (12)$$

приймавши

$$f(Mp, t) = \frac{K \Delta t}{2}$$

отримаємо

$$d = \frac{1+K}{2} (2x_j - 3x_{j-1} + x_{j-2}) \cdot \quad (13)$$

Коефіцієнт K може бути визначений в автоматичному режимі тестування, для цього під час заданого руху з максимальною швидкістю до, V_m в СУ вводиться команда тестування.

Система управління фіксує в пам'яті поточне значення визначального параметра x^* і значення x^{**} , отримане при повній зупинці руху по даній координаті. Визначається верхня оцінка коефіцієнта

$$K^*(Mp) = \frac{|x^{**} - x^*|}{V_m} \quad (14)$$

У даному випадку $K^*(Mp)$ відрізняється $f(Mp, t)$, проте так як K^* є верхньою оцінкою, то використання цього значення не послабить нерівності, що описує умови спрацьовування системи захисту.

Алгоритм відключення руху дуже залежить від конструкції обладнання та виду оброблюваної поверхні, однак загальним для всіх є необхідність припинення подачі по всіх каналах управління.

Наприклад, на токарних і фрезерних верстатах в 90% випадків відключення тільки подачі при достатній швидкодії системи захисту виключає брак. У решті 10%, на які припадає обробка складних поверхонь брак не виключається.

ОЦІНКА ПОВНОТИ ЗАХИСТУ

Оцінка повноти захисту – одна з основних при визначенні якості системи управління. Вона базується на тому, що СУ повинна відтворювати зміну керуючого впливу на керований об'єкт відповідно до УП при відхиленнях, що не перевершують допустимі значення. Закон зміни керуючого впливу визначається набором функцій, реалізованих системою управління та залежить від виду обладнання, для управління яким призначається дана СУ. При цьому необхідно враховувати клас системи управління. Найбільша повнота захисту повинна бути передбачена в СУ, що призначаються для керування високоавтоматизованим обладнанням, таким, як роботизовані технологічні комплекси, гнучкі виробничі модулі. Системи управління 1-го класу призначені для автоматизованих верстатів, процес обробки на яких проходять в основному в присутності оператора. Тому для таких СУ вимоги до системи захисту можуть бути занижені. В даному випадку достатній захист на функціональному рівні деяких пристроїв, що входять в СУ та приводу подачі. Системами управління 2-го класу оснащуються верстати-напівавтомати, експлуатовані в умовах серійного виробництва. Процес обробки на цих верстатах протікає за значної частки участі оператора, однак меншою мірою, ніж у першому випадку. Для даного класу СУ система захисту може бути також вирішена на функціональному рівні. При цьому захистом повинні бути охоплені контролери, приводи подачі, привід головного руху. Можлива також організація захисту другого рівня. Особливістю систем управління 3-го класу, призначених для верстатів-напівавтоматів, що працюють в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва, - можливість підготовки УП біля верстата за допомогою вбудованих засобів програмування. При цьому частка участі оператора в технологічному процесі максимальна. Системи управління даного класу володіють найбільшим набором функцій і засобів відображення ходу технологічного процесу. В даному випадку найбільш важливим є захист каналів передачі інформації між пристроями підготовки та відображення інформації та контролером. Для решти пристроїв достатньо захисту на функціональному рівні. Відмови систем управління 4-го класу, призначених для складних унікальних верстатів і верстатних модулів, в більшості випадків призводять до значних матеріальних втрат через брак дорогої продукції або через простої автоматичних систем, що працюють у відсутності оператора, який міг би запобігти простою верстата. Незахищена відмова СУ неминуче призводить до поломки верстата. Запобігання великих втрат через відмову СУ виправдовує витрати на максимально повний захист. У СУ даного класу найбільш кращі види захисту більш високого рівня ієрархії.

В якості методу оцінки повноти захисту можна запропонувати метод, заснований на одному з необхідних властивостей системи управління - взаємозамінності функціональних пристроїв СУ. Сутність цього методу полягає в наступному. Після декомпозиції завдання управління на незалежні напрями поширення керуючого впливу вздовж кожного напрямку виділяються функціональні пристрої. Передбачається, що при закінченні розробки системи управління ієрархічна структура системи захисту вже відома [2]. Введемо поняття захищаємої структури: захищаєма структура - це частина СУ, яка охоплена захистом.

Таким чином повнота захисту може оцінюватися по правильності та точності виконання функцій при внесенні спотворень в відтворений СУ керуючий вплив при проведенні робіт на перевірку обладнання на геометричну або технологічну точність функціонування обладнання. Випробування проводяться по всьому набору функцій даної системи управління. За їх результатами виносяться висновки про повноту захисту. Якщо отримана оцінка задовольняє вимогам класу обладнання, для якого призначена дана система управління, то СУ рекомендується для подальшого застосування. Якщо оцінка незадовільна, то СУ

допрацьовується методом проведення профілактичного контролю системи захисту для виявлення та усунення цих відмов. Профілактичний контроль виконується за допомогою імітації аварійного сигналу на вході системи захисту. Це дозволяє оцінити справність системи захисту не тільки в процесі періодичного обслуговування, але і при прийнятно-здавальних та інших випробуваннях обладнання у відповідності з затвердженим графіком на його технічне обслуговування. Зміна періодичності перевірок системи захисту дає можливість підвищити надійність всієї системи управління.

В технічній документації на систему управління технологічним обладнанням повинні бути сформульовані вимоги до системи захисту. Система захисту повинна передбачати: предаварійну та аварійну ситуацію на об'єкті управління, яка може виникнути при створенні вихідної керуючої інформації. Дана інформаційна система повинна мати три види спостереження: перше - попередження про відхилення параметрів роботи об'єкта без права відключення, друге - про відключення роботи об'єкта через конкретний термін часу, який спрацює при досягненні граничних параметрів функціонування обладнання, третє - при великих відхиленнях в роботі технологічного об'єкта коли виробляється аварійне відключення об'єкта з його частковою або повною зупинкою. В документації на систему управління необхідно навести повний перелік всіх видів захисту із зазначенням визначальних граничних параметрів:

- умов спрацювання системи захисту (визначальний параметр) та його допустимі відхилення;
- максимального часу необхідного для спрацювання системи захисту.

Висновки

Проведено оцінку повноти захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, яка дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Розроблено алгоритм вибору системи захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, який дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Запропоновано метод оцінки повноти захисту.

Проаналізовані:

- режими захисту, як всієї системи управління, так і визначення аварійних ситуацій по каналах;
- залежність функції ефективності системи управління від визначень допустимих відхилень вибраних параметрів функціонування обладнання;
- система перетворень для визначення допустимих відхилень у роботі технологічного обладнання.

Ці вимоги дозволять підвищити ефективність керування промисловим технологічним обладнанням.

Література

1. Толбатов В.А. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2010. – №1. – С.37-45.
2. Толбатов В.А. Основні принципи організації захисту технологічного обладнання від відмов у системі управління / В.А. Толбатов, О.А. Добродінов, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко // Вісник ХНУ. Серія технічні науки. – 2015. – №3 (225). – С.46-50.
3. Толбатов В.А. Інженерний синтез за критерієм надійності електричних систем керування металорізальним обладнанням із жорсткою логікою / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2011. – №2. – С.48-54.
4. Толбатов В.А. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2012. – №3. – С.68-71.
5. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V., Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
6. Толбатов А.В. Метод захисту цифрової інформації на основі СЗ / А.В. Толбатов, Т.Л. Щербак // Тезиси докладов Второй Международной научной конференции “Современные методы кодирования в электронных системах”. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – С. 67–68.

References

1. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Metodologichni osnovy` vy`boru kry`teriyu parametry`chnoyi nadijnosti elektry`chny`x sy`stem upravlinnya metalorizal`ny`m obladnannnyam. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2010.-№1.-S.37-45.
2. Tolbatov V.A. Osnovni pryntsy py orhanizatsiyi zakhystu tekhnolohichnoho obladnannya vid vidmov u systemi upravlinnya / V.A. Tolbatov, O.A. Dobrorodnov, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenko // Visnyk KhNU. Seriya tekhnichni nauky. – 2015. – №3 (225). – С.46-50.
3. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Inzhenerny`j sy`ntez za kry`teriyem nadijnosti elektry`chny`x sy`stem keruvannya metalorizal`ny`m obladnannnyam iz zhorstkoyu logikoyu. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2011.-№2.-S.48-54.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Texniko-ekonomichne obrgruntuвання pobudovy` sy`stem upravlinnya pidvy`shhenoyi nadijnosti. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2012.-№3.-S.68-71.
5. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V., Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
6. Tolbatov A.V., Shherbak T.L. Metod zaxy`stu cy`frovoyi informaciyi na osnovi SZK. // Tezisy dokladov 2 Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Sovremennye metody kodirovaniya v elektronnyh sistemah”. – Sumy` : Vy`d-vo SumDU, 2004. – С. 67–68.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ НА ИЗНОС РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Изложены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния амплитуды колебаний на износ резиновых элементов предложенных гидравлических опор. Показано, что увеличение амплитуды колебаний приводит к увеличению интенсивности износа и разрушению поверхностей резиновых элементов, зависимость носит нелинейный характер.

Ключевые слова: износ, амплитуда колебаний, частота колебаний, СКН 26, СКН 40.

V.V.STRELBITSKIY

Odessa national polytechnic university, Odessa

EXPERIMENTAL RESEARCH OF INFLUENCE OF AMPLITUDE OF VIBRATIONS ON WEAR OF RUBBER ELEMENTS OF HYDRAULIC SUPPORTS OF OSCILLATION EQUIPMENT

The results of experimental researches are expounded on the study of influence of amplitude of vibrations on the wear of rubber elements of the offered hydraulic supports. It is shown that over the increase of amplitude of vibrations brings to the increase of intensity of wear and destruction of surfaces of rubber elements, dependence carries nonlinear character.

Keywords: wear, amplitude of vibrations, frequency of vibrations, SKN 26, SKN 40.

Постановка проблемы в общем виде.

В современном машиностроении на этапах финишной обработки различных деталей судов, самолетов и вертолетов, автомобилей все чаще используют вибрационно-упрочняющую обработку с параметрами (частота, амплитуда колебаний) зависящими от механических свойств обрабатываемых материалов, формы и размеров [1-3].

Одним из способов установления заданных значений параметров колебаний является использование гидравлических опор [4]. Однако в процессе натуральных испытаний наблюдалась их осадка, которая увеличивалась со временем работы, указывающая на износ резиновых элементов, а также выход из строя опор вследствие увеличения амплитуды колебаний. Поэтому возникла необходимость в более детальном исследовании опор, с целью установления влияния амплитуды колебаний на работоспособность виброопор машины.

Анализ последних публикаций.

Выбор резиновых элементов предлагаемой поры должен базироваться, очевидно, на анализе их триботехнических характеристик отвечающих условиям работы. В тоже время в справочной литературе [5,6] этот вопрос практически не рассмотрен.

Основная часть.

Задачей исследования является установление влияния амплитуды колебаний на износ резиновых элементов опор машины.

Испытания проводились на установке ХТИ-7, общая схема которой представленной на рис.1. Исследуемые поры 1 [4] были закреплены на опорной раме 3. Поскольку рабочими параметрами вибрационных установок являются частота 24 Гц и амплитуда 2,3, 4 и 5 мм, то масса дебалансов, установленных на плите 2, и частота вращения двигателя подбирались исходя из указанных параметров (рис. 1). Для контроля амплитуды колебаний плиты на опорной раме был закреплен измерительный клин.

В качестве образцов были выбраны опоры с резиновыми элементами типа 1 (рис.2).

Поддерживая постоянную частоту 24 Гц и амплитуду 2 мм колебаний плиты, после 50, 100, 150, 200, 250, 300 и 400 часов работы опоры разбирали и измеряли износ опорных поверхностей, с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Испытания проводили при комнатной температуре.

Далее, резиновые элементы опор заменяли и повторяли испытания при ранее указанной частоте колебаний и амплитуде 3, 4 и 5 мм.

Результаты испытаний представлены в таблице 1 и 2.

Сравнение экспериментально полученных результатов износа резиновых элементов показывает, что при одинаковом уровне действующих на опору вынуждающих сил:

- 1) увеличение амплитуды приводит к увеличению износа опорных поверхностей;
- 2) зависимость износа от времени носит нелинейный характер;
- 3) интенсивность износа резиновых элементов СКН 40 на 35-45% меньше, по сравнению с элементами СКН26;

4) после 250 часов работы при амплитуде 4 и 5 мм у образцов из СКН 26 и СКН 40 наблюдалось интенсивное разрушение краев внутреннего отверстия в виде отрыва элементов (рис. 3).

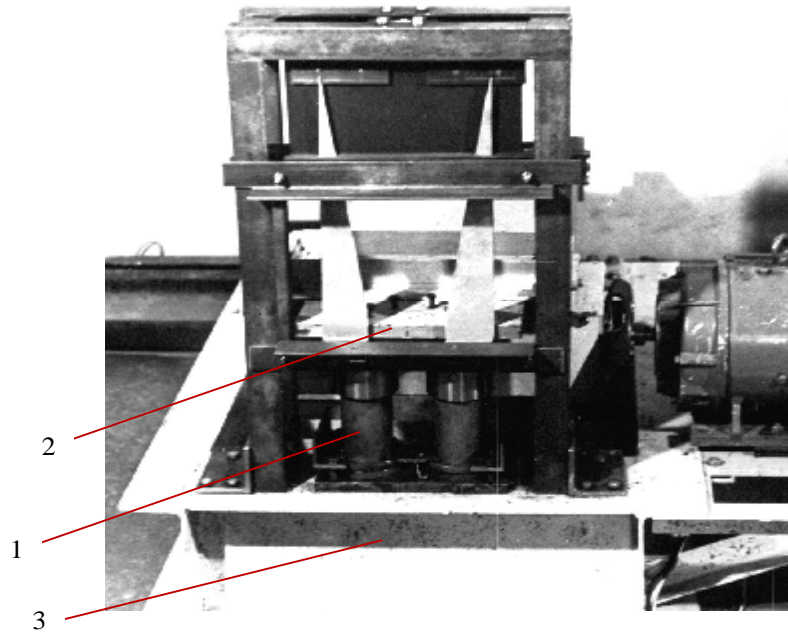


Рис.1. Общая схема экспериментальной установка ХТИ-7
1 - гидравлическая опора; 2 - плита; 3 – опорная рама

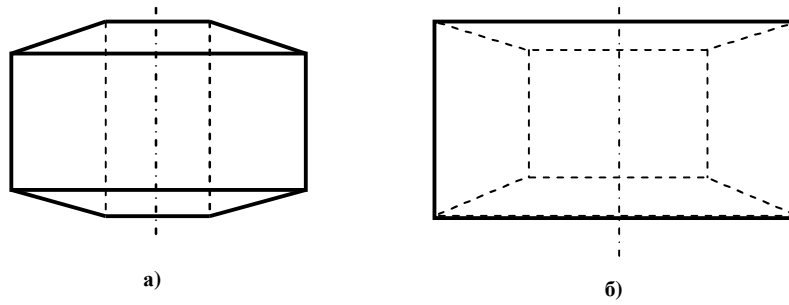


Рис. 2. Резиновые элементы опоры: а- тип 1; б- тип 2.



Рис. 3. Виды разрушений краев внутреннего отверстия резиновых элементов

Таблица 1

Износ h опорных поверхностей резинового элемента СКН 26

№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм, в зависимости от амплитуды колебаний			
		2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
1	50	0,14	0,15	0,17	0,2
2	100	0,21	0,3	0,4	0,5
3	150	0,35	0,42	0,55	0,62
4	200	0,44	0,56	0,68	0,86
5	250	0,56	0,71	0,88	1
6	300	0,7	0,84	0,99	1,2
7	400	0,85	1,00	1,3	1,47

Износ h опорных поверхностей резинового элемента СКН 40

№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм, в зависимости от амплитуды колебаний			
		2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
1	50	0,12	0,13	0,14	0,16
2	100	0,20	0,22	0,24	0,40
3	150	0,30	0,33	0,35	0,49
4	200	0,41	0,43	0,47	0,6
5	250	0,50	0,6	0,63	0,71
6	300	0,61	0,72	0,80	0,86
7	400	0,74	0,9	1	1,1

Поскольку информация об износах была выявлена путем замеров подконтрольных образцов через определенные промежутки времени, то предпочтение следует отдать корреляционному анализу зависимости между износом и временем в логарифмических координатах [7]. Поэтому, полученную зависимость ищем в виде

$$h = Ct^m, \quad (1)$$

где h – износ резиновых элементов, мм;
 t – время работы, ч;
 C – постоянная для материала резины СКН 26 и СКН 40;
 m – показатель степени.

Постоянные C и m определяем методом наименьших квадратов [7]. Для этого возьмем логарифмы чисел h_i и t_i и, таким образом, получим ряд парных значений:

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= \lg h_1, \lg h_2, \lg h_3, \dots, \lg h_n \\ X_i &= \lg t_1, \lg t_2, \lg t_3, \dots, \lg t_n \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

После чего, определим средние значения X_{cp} и Y_{cp}

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3)$$

$$Y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \quad (4)$$

где n – количество исследований.
 вспомогательные величины

$$S_x = \sum_{i=1}^n X_i^2 - nX_{cp}^2, \quad (5)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - nY_{cp}^2, \quad (6)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - nX_{cp} Y_{cp}. \quad (7)$$

Тогда, постоянные C и m ,

$$B = \frac{S_{xy}}{S_x r_{xy}}, \quad (8)$$

$$A = Y_{cp} - BX_{cp}, \quad (9)$$

$$C = 10^A, \quad (10)$$

$$m = B^{-1}. \quad (11)$$

По формулам (2)-(11) определяем параметры степенной функции (1) для резин СКН 26 и СКН 40, результаты заносим в табл. 3 и 4.

Результаты расчета C, m резиновых элементов СКН 26

Показатели расчета	Амплитуда колебаний			
	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
Постоянная C	0,0035	0,00402	0,0044	0,0055
Постоянная m	1,092	1,074	1,044	1,057

Таблиця 4

Результаты расчета C, m резиновых элементов СКН 40

Показатели расчета	Амплитуда колебаний			
	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
Постоянная C	0,0033	0,0027	0,0028	0,0035
Постоянная m	1,099	1,034	1,022	1,125

Выводы:

На основании результатов экспериментальных исследований износостойкости гидравлических опор виброоборудования установлено, что при одинаковом уровне действующих вынуждающих сил:

1) элементы изготовленные из резина СКН 40 обладают, на 35-45 %, большей износостойкостью, по сравнению с СКН 26;

2) увеличение амплитуды колебаний приводит к увеличению износа и разрушению краев внутреннего отверстия в виде отрыва резиновых элементов, а также утечки масла через зазор между металлическими и резиновыми элементами;

3) зависимость износа от амплитуды колебаний резиновых элементов носит нелинейный характер.

Полученные аналитические зависимости могут быть использованы при прогнозировании работоспособности гидравлических опор содержащих резиновые элементы.

В дальнейшем необходимо исследовать совместное влияние амплитуды и частоты колебаний, а также марки масла на износ элементов опоры.

Литература

1. Стрельбицкий В.В. Исследование влияния геометрических параметров среды на шероховатость поверхности при виброобработке // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції, Одеса (Затока), 10-14 вересня 2015 р. – Одеса, 2015. - С. 35.

2. Стрельбицкий В.В. Экспериментальное исследование износа резиновых элементов гидравлических опор вибрационного оборудования / Стрельбицкий В.В., Бабак О.П. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. - №4. – С. 50-53.

3. Стрельбицкий В. В. Влияние частоты колебаний вибрационного оборудования на износ резиновых элементов гидравлических опор / Стрельбицкий В.В.// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2011. - № 2. – С. 45-48.

4. Патент України № 60534 МКІ F16F19/08. Гідравлічний пружний елемент / Стрельбицкий В.В., Кіницький Я.Т., Нестер А.А. Заявл. 21.11.2002. Опублік. 15.10.2003. Бюл. №10.

5. Истирание резин. [Бродский Г.И., Евстратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдиков Л.Д.]. – М.: Химия, 1975. – 240 с.

6. Крыжановский В.К. Технические свойства полимеров / Крыжановский В.К., Буров В.В., Панаматченко А.Д. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.

7. Ефремов Л.В. Практик инженерного анализа надежности судовой техники / Ефремов Л.В. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.

References

1. Strel'bickij V.V. Issledovanie vlijaniya geometricheskikh parametrov sredy na sherohovatost' poverhnosti pri vibroobrabotke // Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah: materialy XV mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoyi konferencii, Odesa (Zatoka), 10-14 veresnja 2015 r. – Odesa, 2015. - S. 35.

2. Strel'bickij V.V. Jeksperimental'noe issledovanie iznosa rezinovykh jelementov gidravlicheskih opor vibracionnogo oborudovanija / Strel'bickij V.V., Babak O.P. // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2010. - №4. – S. 50-53.

3. Strel'bickij V. V. Vlijanie chastoty kolebanij vibracionnogo oborudovanija na iznos rezinovykh jelementov gidravlicheskih opor / Strel'bickij V.V.// Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. - 2011. - № 2. – S. 45-48.

4. Patent Ukraїni № 60534 MKI F16F19/08. Gidravlichnij pruzhnij element / Strel'bic'kij V.V., Kinic'kij Ja.T., Nester A.A. Zajavl. 21.11.2002. Opublik. 15.10.2003. Bjul. №10.

5. Istiranje rezin. [Brodskij G.I., Evstratov V.F., Sahnovskij N.L., Sljudikov L.D.]. – M.: Himija, 1975. – 240 s.

6. Kryzhanovskij V.K. Tehnicheskie svojstva polimerov / Kryzhanovskij V.K., Burov V.V., Panimatczenko A.D. – SPb.: Professija, 2005. – 248 s.

7. Efmov L.V. Praktik inzhenernogo analiza nadezhnosti sudovoj tehniki / Efmov L.V. – L.: Sudostroenie, 1980. – 176 s.

УДК 637.115:637.116:621.396.67

В.Ю. КУЧЕРУК, П.І. КУЛАКОВ, Т.В. ГНЕСЬ

Вінницький національний технічний університет

Є.А. ПАЛАМАРЧУК

Вінницький національний аграрний університет

ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ МАСОВОЇ ЧАСТКИ МОЛОКА У ВОДНО-МОЛОЧНОМУ РОЗЧИНІ

У статті отримано залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині, при проходженні крізь нього інфрачервоного випромінювання. Створено методику визначення оптимальної довжини хвилі випромінювання для забезпечення максимальної чутливості вимірювання відносної масової частки молока. Результати теоретичних досліджень підтверджено результатами експерименту.

Ключові слова: стійлова доїльна установка, водно-молочний розчин, інфрачервоне випромінювання, фотоприймач.

V. KUCHERUK, P. KULAKOV, T. GNES

Vinnitsa national technical university

E. PALAMARCHUK

Vinnitsa national agrarian university

MEASURING OF THE RELATIVE MILK MASS FRACTION IN WATER-MILK SOLUTION

In article is received the output voltage of photoreceiver based on pair photodiode - operational amplifier dependence from relative mass fraction of milk in water - milk solution, at passage through it of infrared radiation. Created the method for determining the optimum emission wavelength for maximum sensitivity of measuring the relative mass fraction of milk. The results of theoretical research confirmed by experiment.

Key words: stall milking machine, water-milk solution, infrared radiation, photoreceiver.

Вступ

Стійлові доїльні установки, які мають найбільше розповсюдження на території України, забезпечують машинне доїння корів у стійлах, транспортування молока за допомогою молокопроводу в молокоприймальну ємність, фільтрацію молока і його перекачування з молокоприймальної ємності в охолоджувальну або перемішувальну установку за допомогою молочного насосу, вимірювання удою, який отриманий кожним дояром. На таких доїльних установках тварини розподілені на групи та вишукані у лінію вздовж молокопроводу, у корівнику знаходиться чотири або вісім таких ліній, кожна лінія обслуговується одним дояром, доїння відбувається з використанням від двох до чотирьох доїльних апаратів. Отримане від кожної тварини у лінії молоко накопичується в дозаторах, які знаходяться у кінці кожної лінії. Після того, як в дозаторі накопичується порція молока визначеного об'єму, спрацьовує автоматичний зливний клапан і порція всмоктується в молокоприймальну ємність, звідки попадає в охолоджувальну або перемішувальну установку [1, 2]. Заробітна плата доярам нараховується у відповідності з кількістю порцій молока, які сформував дозатор, і які підраховуються спеціальними лічильниками порцій молока.

У кожного дояра, на стійлових доїльних установках, є ємність з водою, яка необхідна для підготовки тварин до доїння. Дуже часто трапляються випадки, коли дояр за допомогою доїльного апарата всмоктує цю воду в молокопровід з метою підвищення показників удою, від яких залежить його заробітна плата. Виявити ці випадки візуально дуже складно, тому як відрізнити водно-молочний розчин від чистого молока людське око не може. Така сама проблема виникає при закупівлі молока у дрібних приватних господарствах. Нечесні постачальники розбавляють молоко водою та здають його в приймальні пункти. Існуючі засоби вимірювання параметрів молока мають високу вартість та не дозволяють проводити оперативний контроль наявності води у молоці, за їх допомогою не можливо виявити дояра, який здійснює фальсифікацію молока. Виходячи з цього, створення методики оперативного вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині є важливим та актуальним завданням.

Аналіз стану досліджень

У теперішній час, для виявлення фактів фальсифікації молока, в лабораторних умовах здійснюють вимірювальний контроль температури його замерзання [3]. Таку методику неможливо використати на стійлових доїльних установка у процесі доїння.

На стійлових доїльних установках з молокопроводом, використовуються лічильники порцій молока з давачем, принцип дії якого полягає у наступному [4]. Після проходження порції молока від дозатора через зливний клапан, молоко потрапляє у гнучкий шланг. У перетині шлангу розташована трубка з вмонтованими електродами. При проходженні порції молока через трубку, між електродами змінюється електропровідність, що є ознакою спрацьовування дозатора. При зміні електропровідності давач формує сигнал напруги, що прямо пропорційний значенню електропровідності. У випадку наявності води у молоці,

зміні температури, спінюванні молока, значно збільшується похибка первинного перетворення електропровідності. Вміст води у молоці призводить до зменшення його електропровідності, але внаслідок наявності вищевказаних факторів виявити незначне розбавлення молока неможливо.

Також для підрахунку порцій молока використовується оптичний давач [4], принцип дії якого полягає в наступному. Порція молока проходить через трубку, в яку вмонтовано інфрачервоний світлодіод та інфрачервоний фототранзистор, який працює в ключовому режимі. При проходженні порції молока відбувається переривання світлового потоку, в результаті чого на виході фототранзистора формується імпульс певної тривалості. На основі результатів вимірювання тривалості вихідного сигналу фототранзистора встановлюється факт проходження порції молока. При значній кількості води у молоці, світловий потік проходить крізь нього з незначною втратою потужності. В результаті, порція молока не зараховується, але виявити незначну кількість води у молоці за допомогою вищевказаного давача також неможливо.

Постановка задачі

З метою подальшого створення засобу оперативного вимірювального контролю наявності води у молоці, необхідно отримати залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині, при проходженні крізь розчин інфрачервоного випромінювання. Для забезпечення максимальної чутливості вищевказаного засобу вимірювального контролю, необхідно створити методику визначення оптимальної довжини хвилі інфрачервоного випромінювання. Отримані результати теоретичних досліджень необхідно підтвердити результатами експерименту.

Основний текст

Ослаблення монохроматичного випромінювання речовиною визначається законом Бугера-Ламберта-Бера, який зв'язує вихідну та вхідну інтенсивність оптичного випромінювання, при його проходженні через речовину [5]

$$I = I_0 e^{-acd}, \quad (1)$$

де I_0 - інтенсивність випромінювання, яке падає на речовину; d - товщина шару; c - концентрація речовини; a - коефіцієнт поглинання речовини.

Закон Бугера-Ламберта-Бера може бути записаний з використанням десятичних логарифмів

$$I = I_0 \cdot 10^{-k(I)cd}, \quad (2)$$

де $k(I)$ - коефіцієнт екстинкції, який є функцією довжини хвилі оптичного випромінювання I .

Пропускання речовиною випромінювання характеризується коефіцієнтом пропускання, який визначається як

$$K_{PR}(I) = \frac{I}{I_0} = 10^{-k(I)cd}. \quad (3)$$

Важливою характеристикою речовини є її оптична щільність, яка визначається за виразом

$$D(I) = \lg \frac{I_0}{I} = k(I)cd. \quad (4)$$

Проходячи через розчин з n компонентів, випромінювання кожним з них поглинається по різному. Результуюче поглинання отримується адитивним накладенням окремих компонентів. Відповідно, оптична щільність n - компонентної суміші визначається за виразом

$$D(I) = \sum_{i=1}^n k_i(I)c_i d, \quad (5)$$

де $k_i(I)$ - коефіцієнт екстинкції i - того компоненту суміші; c_i - концентрація i - того компоненту суміші.

Для водно-молочного розчину $n = 2$, відповідно, його оптична щільність визначається за виразом

$$D_{VM}(I) = d(k_M(I)c_M + k_V(I)c_V), \quad (6)$$

де $k_M(I)$ - коефіцієнт екстинкції молока; c_M - концентрація молока у водно-молочному розчині; $k_V(I)$ - коефіцієнт екстинкції води; c_V - концентрація води у водно-молочному розчині.

Об'єм водно-молочного розчину, що поглинає випромінювання, визначається виразом

$$V_K = V_M + V_V = \frac{m_M}{r_M} + \frac{m_V}{r_V}, \quad (7)$$

де m_M - маса молока у водно-молочному розчині; r_M - щільність молока; m_V - маса води у водно-молочному розчині; r_V - щільність води.

Концентрація води у водно-молочному розчині визначається як

$$c_V = \frac{m_V}{V_K} = \frac{m_V}{\frac{m_M}{r_M} + \frac{m_V}{r_V}} = m_V \frac{r_M r_V}{m_M r_V + m_V r_M}. \quad (8)$$

Концентрація молока у водно-молочному розчині

$$c_M = \frac{m_M}{V_K} = \frac{m_M}{\frac{m_M}{r_M} + \frac{m_V}{r_V}} = m_M \frac{r_M r_V}{m_M r_V + m_V r_M} \quad (9)$$

Відносна масова частка молока у водно-молочному розчині визначається як

$$h = \frac{m_M}{m_M + m_V} \quad (10)$$

З виразу (10) після нескладних перетворень отримуємо

$$m_V = m_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right) \quad (11)$$

Підставимо (11) в (8) та (9), після перетворень отримуємо вирази, які зв'язують концентрацію молока та води у водно-молочному розчині з відносною масовою часткою молока.

$$c_V = \frac{r_M r_V \left(\frac{1}{h} - 1 \right)}{r_V + r_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right)} \quad (12)$$

$$c_M = \frac{r_M r_V}{r_V + r_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right)} \quad (13)$$

Підставимо (12) та (13) до (6), та після перетворень отримуємо залежність оптичної щільності водно-молочного розчину від відносної масової частки молока

$$D_{VM}(I) = \frac{d r_M r_V \left(k_M(I) + k_V(I) \left(\frac{1}{h} - 1 \right) \right)}{r_V + r_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right)} \quad (14)$$

З урахуванням виразу (4), після перетворень отримуємо

$$I = I_0 \cdot 10^{-\frac{d r_M r_V \left(k_M(I) + k_V(I) \left(\frac{1}{h} - 1 \right) \right)}{r_V + r_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right)}} \quad (15)$$

Вираз (15) є математичною моделлю поглинання оптичного випромінення водно-молочним розчином. Цей вираз зв'язує інтенсивність оптичного випромінення, що проходить через розчин, з відносною масовою часткою молока у розчині. У відповідності з [6, 7], вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, у першому наближенні визначається виразом

$$U_F = I S_{I_0}(I) R_{ZZ} S_{VD} \quad (16)$$

де S_{VD} - площа фоточутливого шару фотодіоду; $S_{I_0}(I)$ - спектральна чутливість фотодіоду; R_{ZZ} - опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

Підставимо (15) в (16) та отримаємо залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині.

$$U_F(h) = I_0 S_{I_0}(I) R_{ZZ} S_{VD} \cdot 10^{-\frac{d r_M r_V \left(k_M(I) + k_V(I) \left(\frac{1}{h} - 1 \right) \right)}{r_V + r_M \left(\frac{1}{h} - 1 \right)}} \quad (17)$$

Вирішивши рівняння (3.103) відносно h , отримуємо вираз, який зв'язує відносну масову частку молока у водно-молочному розчині з вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач

$$h = \frac{r_M \lg \frac{U_F(h)}{I_0 S_{I_0}(I) R_{ZZ} S_{VD}} + d r_M r_V k_V(I)}{(r_M - r_V) \lg \frac{U_F(h)}{I_0 S_{I_0}(I) R_{ZZ} S_{VD}} + d r_M r_V (k_V(I) - k_M(I))} \quad (18)$$

Інфрачервона спектрометрія широко використовується для контролю якості харчових продуктів [5, 8]. Молоко та водно-молочний розчин відносяться до речовин з значним ступенем поглинання інфрачервоного випромінення в ближній ділянці спектру, яка характеризується довжинами хвиль від 0,75 до 2,5 мкм [5]. Ця обставина зумовлює високу чутливість засобів вимірювання масової частки молока у водно-молочному розчині на основі методів інфрачервоної спектрометрії.

На рис. 1 наведено типові експериментальні спектральні характеристики пропускання інфрачервоного випромінення ближньої ділянки спектру для молока та води, товщина шару яких складає $d = 10$ мм [5].

Спектральна характеристика пропускання речовини уявляє собою залежність коефіцієнту пропускання, який визначається виразом (3), від довжини хвилі оптичного випромінення. Коефіцієнт екстинкції з коефіцієнтом пропускання зв'язані співвідношенням

$$k(I) = -\frac{1}{cd} \lg K_{PR}(I) \cdot \quad (19)$$

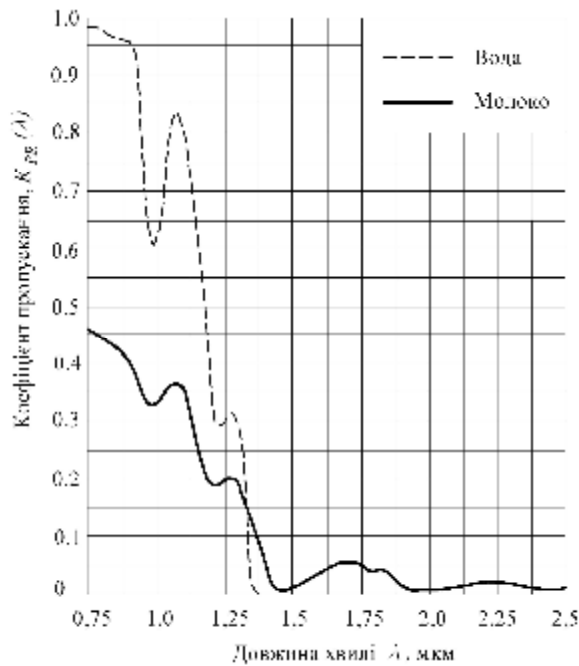


Рис. 1. Типові експериментальні спектральні характеристики пропускання інфрачервоного випромінювання для молока та води, товщина шару яких складає $d = 10$ мм

Слід відзначити, що форма спектральної характеристики пропускання дуже сильно залежить від товщини шару речовини d . Математичний вираз, який описує спектральну характеристику пропускання, може бути отриманий тільки шляхом інтерполяції результатів експериментальних даних.

Знайдемо оптимальне значення довжини хвилі оптичного випромінювання, при якій чутливість засобу вимірювання буде максимальною. Є очевидним, що чутливість буде максимальною на тій довжині хвилі, на якій відношення коефіцієнту пропускання води до коефіцієнту пропускання молока буде максимальним. У цьому випадку забезпечується максимальне зменшення поглинання інфрачервоного випромінювання молоком за рахунок наявності води.

Для визначення оптимального значення довжини хвилі інфрачервоного випромінювання проведемо інтерполяцію спектральних характеристик пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для молока та води. Відомо, що якісні результати інтерполяції досягаються при використанні кубічної сплайнової функції, яка складається з кусків кубічних поліномів, при використанні яких неможливі пульсації інтерполюючої функції [9]. Кубічні сплайни уявляють собою кубічні параболи, які в кожному випадку точно проходять через дві опорні точки, які визначаються за експериментальними спектральними характеристиками. Таким чином, спектральну характеристику пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для молока можна представити у вигляді інтерполюючої функції

$$K_{PRM}(I) = \begin{cases} a_{1M} + b_{1M}(I - I_1) + c_{1M}(I - I_1)^2 + d_{1M}(I - I_1)^3, & I \in [I_1, I_2]; \\ a_{2M} + b_{2M}(I - I_2) + c_{2M}(I - I_2)^2 + d_{2M}(I - I_2)^3, & I \in [I_2, I_3]; \\ \dots \\ a_{N-1M} + b_{N-1M}(I - I_{N-1}) + c_{N-1M}(I - I_{N-1})^2 + d_{N-1M}(I - I_{N-1})^3, & I \in [I_{N-1}, I_N], \end{cases} \quad (20)$$

де $a_{iM}, b_{iM}, c_{iM}, d_{iM}$ - коефіцієнти інтерполяційних сплайнів.

Спектральну характеристику пропускання інфрачервоного випромінювання ближньої ділянки спектру для води можна представити у вигляді

$$K_{PRV}(I) = \begin{cases} a_{1V} + b_{1V}(I - I_1) + c_{1V}(I - I_1)^2 + d_{1V}(I - I_1)^3, & I \in [I_1, I_2]; \\ a_{2V} + b_{2V}(I - I_2) + c_{2V}(I - I_2)^2 + d_{2V}(I - I_2)^3, & I \in [I_2, I_3]; \\ \dots \\ a_{N-1V} + b_{N-1V}(I - I_{N-1}) + c_{N-1V}(I - I_{N-1})^2 + d_{N-1V}(I - I_{N-1})^3, & I \in [I_{N-1}, I_N]. \end{cases} \quad (21)$$

де $a_{iV}, b_{iV}, c_{iV}, d_{iV}$ - коефіцієнти інтерполяційних сплайнів.

Для визначення оптимальної довжини хвилі, на якій відношення коефіцієнту пропускання води до коефіцієнту пропускання молока буде максимальним, знайдемо відношення функції (21) до (20)

$$K_{PRMV}(I) = \frac{K_{PRV}(I)}{K_{PRM}(I)} = \begin{cases} \frac{a_{1V} + b_{1V}(I - I_1) + c_{1V}(I - I_1)^2 + d_{1V}(I - I_1)^3}{a_{1M} + b_{1M}(I - I_1) + c_{1M}(I - I_1)^2 + d_{1M}(I - I_1)^3}, & I \in [I_1, I_2]; \\ \frac{a_{2V} + b_{2V}(I - I_2) + c_{2V}(I - I_2)^2 + d_{2V}(I - I_2)^3}{a_{2M} + b_{2M}(I - I_2) + c_{2M}(I - I_2)^2 + d_{2M}(I - I_2)^3}, & I \in [I_2, I_3]; \\ \dots \\ \frac{a_{N-1V} + b_{N-1V}(I - I_{N-1}) + c_{N-1V}(I - I_{N-1})^2 + d_{N-1V}(I - I_{N-1})^3}{a_{N-1M} + b_{N-1M}(I - I_{N-1}) + c_{N-1M}(I - I_{N-1})^2 + d_{N-1M}(I - I_{N-1})^3}, & I \in [I_{N-1}, I_N]. \end{cases} \quad (22)$$

На оптимальній довжині хвилі інфрачервоного випромінення виконується співвідношення

$$K_{PRMV}(I_{OPT}) = \max_{[I_1, I_N]} K_{PRMV}(I). \quad (23)$$

Таким чином, знаходження оптимальної довжини хвилі зводиться до вирішення стандартного завдання визначення максимуму функції (22). На рис. 2, а, наведено результати інтерполяції за допомогою кубічних сплайнів спектральних характеристик пропускання води та молока, які наведені на 1, а на рис. 2, б – графік функції, що описується виразом (22).

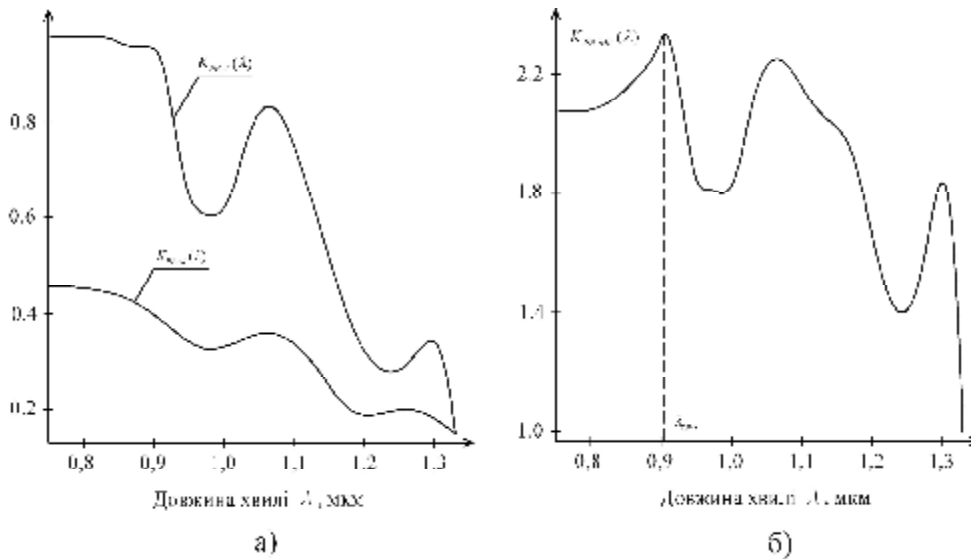


Рис. 2. Результати інтерполяції спектральних характеристик пропускання води і молока та графік відношення їх інтерполюючих функцій. а - інтерполюючі функції спектральних характеристик пропускання води та молока; б - відношення інтерполюючих функцій спектральних характеристик пропускання води та молока

Як слідує з рис. 2, б, оптимальне значення довжини хвилі інфрачервоного випромінення для визначення відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при $d = 10$ мм складає приблизно 0,91 мкм. У відповідності з (17), для забезпечення мінімального порогу чутливості, бажано забезпечити максимальне наближення довжини хвилі I_0 , яка відповідає максимуму спектральної характеристики фотодіоду, до оптимальної довжини хвилі інфрачервоного випромінення. Тобто, в ідеальному випадку, повинно виконуватись співвідношення

$$I_0 = I_{OPT}. \quad (24)$$

На рис. 3, а, наведено сімейство теоретичних залежностей $U_F(h)$ вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при різних значеннях інтенсивності інфрачервоного випромінення. Вищевказані залежності визначаються за виразом (17), значення I_0 в процесі їх побудови підбиралося таким, щоб забезпечити рівність теоретичних значень з експериментальними при нульовому значенні відносної масової частки молока у водно-молочному розчині. На рис. 3, б, наведено графік експериментальної залежності $U_{FE}(h)$ вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині, при різних значеннях струму інфрачервоного світлодіоду, які відповідають різним значенням інтенсивності інфрачервоного випромінення.

У експериментальних дослідженнях у якості випромінювача використовувався інфрачервоний світлодіод ELIR11-21C виробництва компанії Everlight Americas Inc, який має номінальну довжину хвилі інфрачервоного випромінення 0,94 мкм та максимальний струм 100 мА. Фотоприймач на основі пари фотодіод – операційний підсилювач був реалізований на основі фотодіоду S1336-18BQ виробництва компанії Hamamatsu Photonics, у якого спектральна характеристика має максимум при довжині хвилі випромінення 0,96 мкм, і який на цій довжині хвилі має інтегральну струмову чутливість 0,5 А/Вт. Певна розбіжність між експериментальними та теоретичними даними зумовлена тим, що у виразі (17) не враховане відбиття інфрачервоного випромінення від водно-молочного розчину, дифракція випромінення та його розсіювання шариками жиру у розчині, немонохроматичність джерела випромінення.

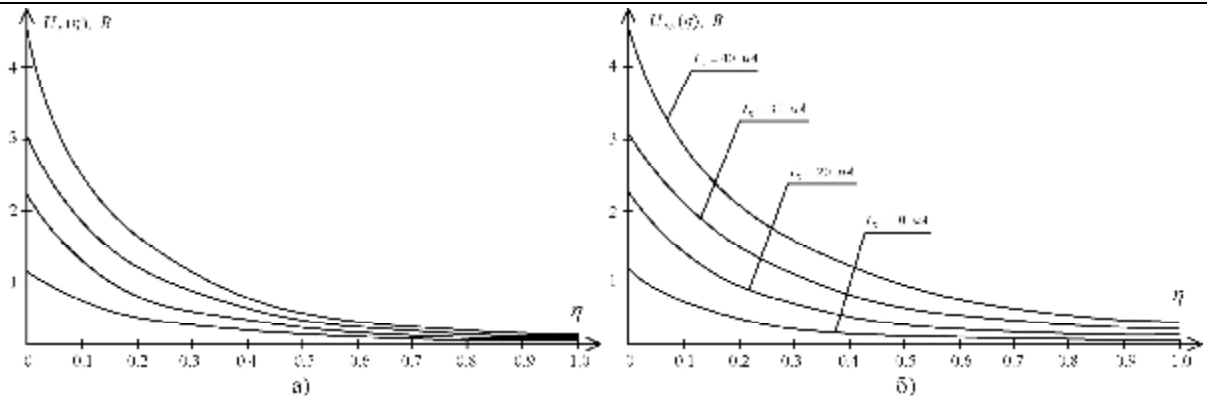


Рис. 3. Сімейства теоретичних та експериментальних залежностей вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно - молочному розчині при різних значеннях інтенсивності інфрачервоного випромінення. а – сімейство теоретичних залежностей; б – сімейство експериментальних залежностей.

Висновки

В процесі проведення теоретичних досліджень, отримано залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, від відносної масової частки молока у водно – молочному розчині. На основі вищевказаної залежності можлива реалізація засобу вимірювального контролю наявності води у молоці в процесі доїння на стійлових доїльних установках з метою виявлення фактів фальсифікації молока доярами. Запропоновано методику визначення оптимальної, для вимірювання відносної масової частки молока, довжини хвилі інфрачервоного випромінення, яке проходить крізь водно – молочний розчин. Адекватність отриманих теоретичних результатів підтверджена експериментальними дослідженнями.

Література

1. Технологии и оборудование для животноводства ВАТ "Брацлав" [Текст] / Рекламний буклет. - 2010. - 27 с.
2. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
3. Тёпел, А. Химия и физика молока [Текст] / А. Тёпел. - М. : Пищевая промышленность, 1979. – 623 с.
4. Доїльна установка УДМ-200 [Текст] / Технічний опис і інструкція з експлуатації. – Брацлав. - 2002. -165 с.
5. Авраменко, В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов [Текст] / В. Н. Авраменко, М. П. Есельсон, А. А. Заика. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 173 с.
6. Кучерук, В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа-напруга [Текст] / В. Ю. Кучерук, С. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь, Ю. С. Блохін // Міжнародний науково-технічний журнал "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології". - 2014. - № 1 (27). - с. 139 - 145.
7. Васілевський, О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємоз'язаних електромоторів: монографія [Текст] / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков – Вінниця. : ВНТУ, 2011. – 176 с.
8. Боровиков, А. С. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В двух книгах. Книга 1 [Текст] / А. С. Боровиков, Э. И. Вайнберг, В. И. Горбунов и др. ; под общ. ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., перераб и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 488 с.
9. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.

References

1. Tehnologii i oborudovanie dlya zhivotnovodstva VAT "Bratslav" [Text] / 2010. - 27 s.
2. Tsoy, Y. A. Protsessy i oborudovanie dlya doilno-molochnyh oddeleniy zhivotnovodcheskih ferm [Text] / Y. A. Tsoy. - M. : GNU VIESH, 2010. - 424 s.
3. Tepel, A. Himiya i fizika moloka [Text] / A. Tepel. - M. : Pischevaya promyshlennost, 1979. – 623 s.
4. Doilnaya ustanovka UDM-200 [Text] / Tehnichnyy opys i instruktsiya z ekspluatatsii. – Bratslav. - 2002. -165 s.
5. Avramenko, V. N. Infkrasnye spektry pischevyh produktov [Text] / V. N. Avramenko, M. P. Eselson, A. A. Zaika. – M.: Pischevaya promyshlennost, 1974. – 173 s.
6. Kucheruk, V. Y. Fotoelektrichne vymiryvalne peretvorenniya ploscha - napruga [Text] / V. Y. Kucheruk, Y. A. Palamarchuk, P. I. Kulakov, T. V. Gnes, Y. Y. Blohin // Mizhnarodniy naukovo-tehnichniy zhurnal "Optiko-elektronni informatsiyno-energetichni tehnologiiyi". - 2014. - № 1 (27). - с. 139 - 145.
7. Vasilevskiy, O. M. Elementy teorii pidvyschennia tochnosti vymiryuvannia ta sinhronizatsii kutovyh shvydkostey rotoriv vzaimozvyazanyh electromotoriv: monografiya [Text] / O. M. Vasilevskiy, P. I. Kulakov – Vinnitsia. : VNTU, 2011. – 176 с.
8. Borovikov, A. S. Pribory dlya nerazrusayuscheho kontrolya materialov i izdeliy. V dvuh knigah. Kniga 1 [Text] / A. S. Borovikov, E. I. Vaynberg, V. I. Gorbunov i dr. ; pod red. V. V. Klueva. – 2 izd., pererabot. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 488 с.
9. Zavyalov, Y. S. Metody splayn-funktsiy [Text] / Y. S. Zavyalov, B. I. Kvasov, V. L. Miroshnichenko. – M.: Nauka, 1980. – 352 с.

Рецензія/Peer review : 8.9.2015 р. Надрукована/Printed :14.10.2015 р.

СИСТЕМА ОПТИЧЕСКИ-СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ ЧАСТЬ 2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, МЕТРОЛОГИЯ

В статье произведен энергетический и метрологический анализ фотометрических систем на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер на примере диффузного излучателя переменной яркости. Проанализирована зависимость выходной яркости фотометрической системы от основных ее параметров и установлены способы повышения энергетических характеристик. Получены аналитические выражения, описывающие погрешность установки выходной яркости и предложены меры по их уменьшению.

Ключевые слова: фотометрические приборы, интегрирующие сферы.

L. A. MIKHEENKO, M. S. MAMUTA

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

SYSTEM OF OPTICALLY CONNECTED INTEGRATION SPHERES AND PHOTOMETRIC DEVICES ON ITS BASIS PART 2. ENERGETIC ANALYSIS AND METROLOGY

Energetic and metrological analysis of photometric devices with optically connected integration spheres is realized in the article. Dependence of output radiance of photometric devices from its constructive parameters is analyzed. Methods for improvement energetic characteristics are determined. Analytical expressions for output radiance errors are found and proposed measures for their reduction.

Keywords: photometric devices, integration spheres.

Введение

В настоящее время в прецизионной фотометрии все чаще используются приборы на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер (ИС), – диффузные излучатели переменной яркости (ДИПЯ), оптические ослабители, фотометры, компараторы и др. В части первой настоящей работы [1] была рассмотрена обобщенная математическая модель таких устройств и получены аналитические выражения, описывающие их работу. В этой части основное внимание уделено энергетическому и метрологическому анализу фотометрических систем на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер (СОСИС) и разработке основ их проектирования. При этом рассмотрение ведется на примере одного из самых сложных устройств – ДИПЯ, однако полученные результаты будут справедливы (с соответствующей коррекцией) и для других устройств рассматриваемого класса фотометрических приборов.

Конструктивная схема и особенности ДИПЯ

Диффузные излучатели переменной яркости могут использоваться для измерения энергетических характеристик и радиометрической калибровки прецизионных фотометрических приборов и цифровых видеосистем с многоэлементными приемниками излучения и широкоапертурной оптикой [2].

Конструктивная схема ДИПЯ показана на рис. 1.

Как видно из рис. 1, источники излучения 1 расположены в первичных интегрирующих сферах 2, а поток, поступающий из них во вторичную интегрирующую сферу 3, регулируется набором калибровочных диафрагм 4 переменного сечения. В выходной апертуре 5 вторичной сферы формируется однородное, переменное по величине яркостное поле, с фотометрическим телом, приближающимся к фотометрическому телу ламбертовского излучателя.

Основные преимущества ДИПЯ:

1. Излучатель позволяет получать переменное по величине однородное яркостное поле в пределах значительной выходной апертуры. При этом изменение выходной яркости происходит без изменения спектрального состава излучения.

2. За счет использования большого числа источников излучения в первичных сферах и значительного числа калибровочных диафрагм, выполненных с высокой точностью, существенно расширяется диапазон воспроизводимых яркостей (особенно в сторону больших значений) и повышается точность их установки при неизменном спектральном составе излучения.

3. Вынесением источников излучения из вторичной интегрирующей сферы, которая непосредственно формирует выходное яркостное поле, достигается более благоприятная интегрирующая и антибликовая обстановка, что существенно улучшает равномерность распределения яркости в пределах выходной апертуры.

4. Так как калибруемые фотометрические приборы устанавливаются непосредственно в выходной апертуре излучателя, отпадает необходимость применения согласующей и коллимирующей оптики, а требование к точному позиционированию калибруемых приборов относительно установки практически отпадает.

5. Существенно упрощается процедура и повышается точность абсолютизации измерений, так как

для калибровки излучателя и переноса единицы яркости могут использоваться яркомеры, устанавливаемые непосредственно в выходной апертуре без точного позиционирования и применения согласующей оптики.

Энергетический анализ ДИПЯ

При энергетическом анализе ДИПЯ и других фотометрических систем на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер необходимо учитывать:

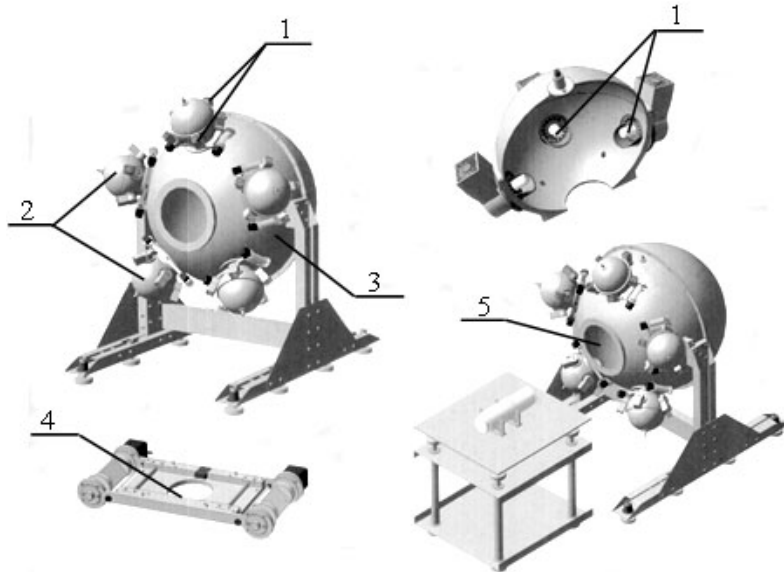


Рис. 1. Конструктивная схема ДИПЯ

аналитический метод, при котором часть зависимостей устанавливалась расчетами, часть конструктивной проработкой и схемотехническим моделированием, а часть получена аналитически.

В качестве исходного принималось выражение для L_B , полученное в [1]:

$$L_B = \frac{N_1 N_{ин} \Phi_{ин} A_K}{p(pD_1 D_2)^2} \cdot \frac{r_1 r_2}{\left(1 - r_1 \frac{pD_1^2 - A_{K1}}{pD_1^2}\right) \left[1 - r_2 \frac{pD_2^2 - A_K N_1 \frac{p}{2} D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D_B}{D_2}\right)^2}\right)}{pD_2^2}\right]} \quad (1)$$

При численном анализе энергетических характеристик ДИПЯ использовались следующие, оправданные конструктивными соображениями и применением в аналогичных системах, параметры:

1. Относительное отверстие ДИПЯ (геометрический фактор) $G = \frac{D_0}{D_2}$, где D_0 – диаметр эквивалентного отверстия во вторичной сфере, площадь которого A_0 равна сумме площади выходной апертуры и всех калибровочных диафрагм: $A_0 = A_B + A_{K\Sigma}$.

При анализе величина G принималась равной $\frac{1}{3}, \frac{1}{3.5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4.5}, \frac{1}{5}$. Среднее значение $G = \frac{1}{4}$.

2. Энергетический параметр излучателя P , равный отношению суммарной площади калибровочных диафрагм к площади выходной апертуры: $P = \frac{A_{K\Sigma}}{A_B}$.

Значения P при анализе – 0.1, 0.5, 1, среднее значение $P = 0.5$.

3. Количество первичных излучателей $N_1 = 3, 5, 7, 9$. Среднее значение при анализе $N_1 = 5$.

4. Относительное отверстие первичного излучателя G_1 , равное отношению максимального диаметра калибровочной диафрагмы $D_{K \max}$ к диаметру первичной интегрирующей сферы D_1 ($G_1 = \frac{D_{K \max}}{D_1}$). В расчетах G_1 принималось равным $\frac{1}{2.5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3.5}$ со средним значением $G_1 = \frac{1}{3}$.

5. Коэффициент заполнения источников излучения первичной сферы Q ($Q = \frac{N_{шт}}{D_1}$).

Использовались значения $Q = 10, 20, 30 \frac{1}{м}$, при среднем значении $Q = 20 \frac{1}{м}$.

6. Величина потока, излучаемого одним источником излучения принималась равной 100 Вт (галогенная лампа КГМ – 30 – 300 – 2 [3]).

7. Покрытие первичной и вторичной интегрирующих сфер – сернокислый барий, “Spectralon” и “Infragold” со значениями интегрального коэффициента отражения $r = 0.927, 0.99$ и 0.911 соответственно [4-7].

8. Диаметр выходной апертуры D_B принимался равным 0.25 м.

В результате анализа определялось значение яркости выходной апертуры ДИПЯ L_B или другой промежуточной характеристики, при изменении перечисленных параметров в указанных пределах. При этом в каждом конкретном расчете изменялся один из параметров, а остальным присваивались средние значения. Результаты численного анализа представлены на рис. 2-7.

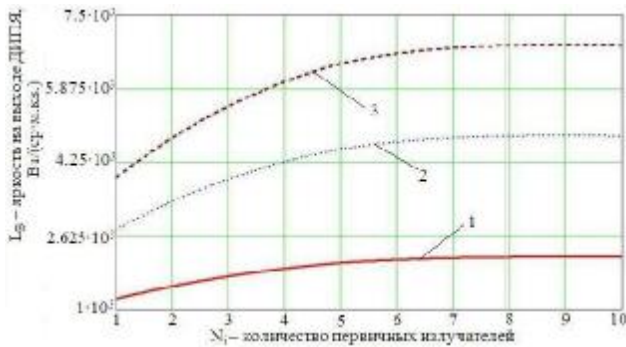


Рис. 2. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от

количества первичных излучателей N_1 :

- 1 – зависимость $L(N_i)$ для $P = 0,1$;
- 2 – зависимость $L(N_i)$ для $P = 0,5$;
- 3 – зависимость $L(N_i)$ для $P = 1$

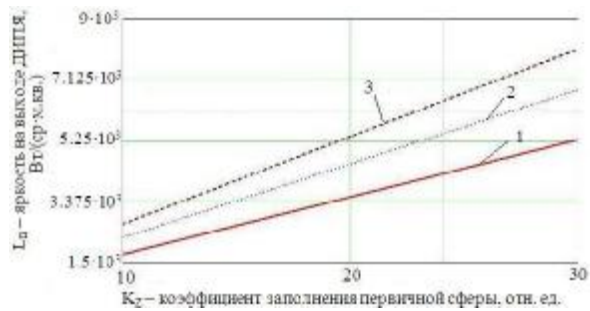


Рис. 3. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B

от коэффициента заполнения Q :

- 1 – зависимость $L(Q)$ для 3-х первичных излучателей;
- 2 – зависимость $L(Q)$ для 5-ти первичных излучателей;
- 3 – зависимость $L(Q)$ для 7-ми первичных излучателей

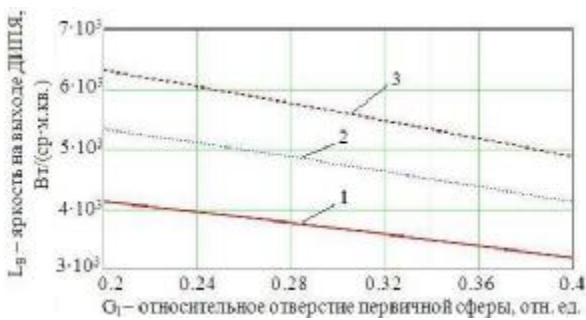


Рис. 4. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от

относительного отверстия первичного излучателя G_1 :

- 1 – зависимость $L(G_1)$ для 3-х первичных излучателей;
- 2 – зависимость $L(G_1)$ для 5-ти первичных излучателей;
- 3 – зависимость $L(G_1)$ для 7-ми первичных излучателей

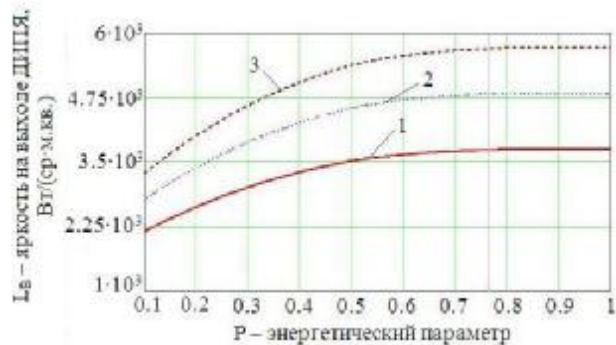


Рис. 5. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от

энергетического параметра P :

- 1 – зависимость $L(P)$ для 3-х первичных излучателей;
- 2 – зависимость $L(P)$ для 5-ти первичных излучателей;
- 3 – зависимость $L(P)$ для 7-ми первичных излучателей

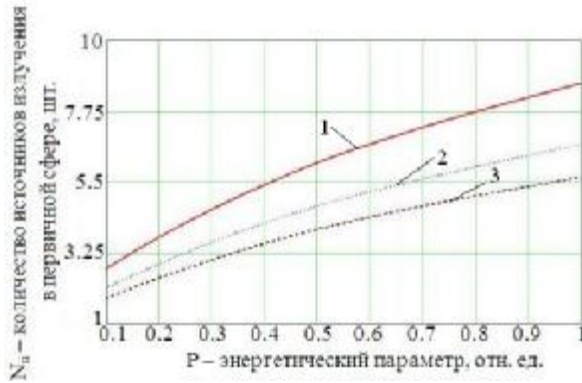


Рис. 6. Графики зависимости количества источников излучения в первичной сфере от энергетического параметра P :

- 1 – зависимость $N_{ii}(P)$ для 3-х первичных излучателей;
- 2 – зависимость $N_{ii}(P)$ для 5-ти первичных излучателей;
- 3 – зависимость $N_{ii}(P)$ для 7-ми первичных излучателей

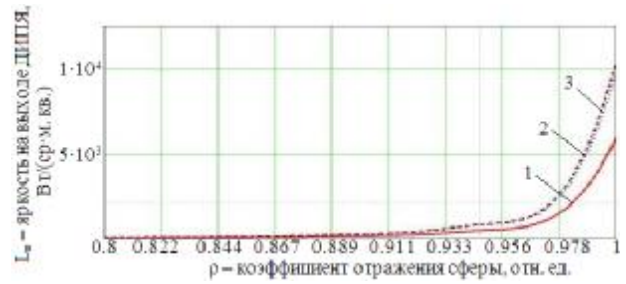


Рис. 7. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от коэффициента отражения покрытия интегрирующих сфер r и энергетического параметра P :

- 1 – зависимость $L(r)$ для $P = 0,1$;
- 2 – зависимость $L(r)$ для $P = 0,5$;
- 3 – зависимость $L(r)$ для $P = 1$

Проведенный анализ показал:

1. Увеличение числа первичных излучателей (N_1) более эффективно для повышения выходной яркости ДИПЯ, чем увеличение количества источников излучения в них при малом значении N_1 .
2. Существует оптимальное соотношение размеров калибровочной диафрагмы и выходной апертуры ДИПЯ (энергетический параметр P), при котором яркость ДИПЯ максимальна. Значение P составляет при этом 0.55 ... 0.85.
3. Увеличение относительного отверстия первичного излучателя (G_1) целесообразно до значений $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{3.5}$ при большом значении N_1 ($N_1 \geq 3$). Дальнейшее увеличение G_1 ведет к виньетированию калибровочной диафрагмы входным отверстием вторичной сферы. При малом N_1 ($N_1 < 3$) этот эффект проявляется намного раньше и с ростом D_1 происходит монотонное изменение яркости ДИПЯ.
4. Наиболее эффективной мерой повышения яркости ДИПЯ является использование высокоотражающих покрытий с $r > 0.98$.

3 Метрологический анализ ДИПЯ

Основные погрешности формирования яркостного поля в выходной апертуре ДИПЯ связаны с деградацией отражающих покрытий (r_1 и r_2), флуктуациями потока источников излучения (Φ_{uu}) из-за нестабильности напряжения питания, температурными колебаниями размеров конструктивных элементов (D_1, D_2, D_K, D_B), изменением характеристик среды внутри интегрирующих сфер и рядом других факторов. При этом отметим, что часть погрешностей ДИПЯ, по сравнению с другими СОСИС, будут влиять на суммарную погрешность в большей, а часть в меньшей степени. В частности, из-за более напряженного теплового режима первичных излучателей, более высокие требования будут предъявляться к конструктивным элементам первичной ИС, и, особенно, к калибрующей диафрагме. Вместе с тем, погрешности вторичной ИС, освобожденной от источников излучения и их арматуры, будут сказываться в значительно меньшей степени. Проанализируем эти вопросы более подробно.

Если считать, что ДИПЯ находится в установившемся энергетическом режиме, а факторы, влияющие на яркость выходной апертуры, являются статистически независимыми, то погрешность установки выходной яркости ΔL_B , обусловленная частными погрешностями $\Delta \Phi_{uu}$, Δr_1 , Δr_2 , ΔD_1 , ΔD_2 , ΔD_K и ΔD_B в первом приближении описывается выражением [8]:

$$\frac{\Delta L_B}{L_B} = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial \Phi_{uu}}\right)^2 \left(\frac{\Delta \Phi_{uu}}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial r_1}\right)^2 \left(\frac{\Delta r_1}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial r_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta r_2}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_1}\right)^2 \left(\frac{\Delta D_1}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta D_2}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_K}\right)^2 \left(\frac{\Delta D_K}{\bar{L}_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_B}\right)^2 \left(\frac{\Delta D_B}{\bar{L}_B}\right)^2} \quad (2)$$

где $\frac{\partial \bar{L}_B}{\partial \Phi_{uu}}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial r_1}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial r_2}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_1}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_2}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_K}, \frac{\partial \bar{L}_B}{\partial D_B}$ – частные производные относительных первичных

погрешностей или их коэффициенты влияния на суммарную погрешность.

Формулы для расчета соответствующих коэффициентов влияния, полученные из (2) приведены в табл. 1.

При численном анализе суммарной погрешности установки яркости выходной апертуры были использованы параметры ДИПЯ, рассчитанного для энергетической калибровки оптико-электронной зондирующей системы украинско-египетского спутника Земли “Egypstat-1” [2], а именно $\Phi_{uu} = 100$ Вт, $D_1 = 0.25$ м, $D_2 = 1$ м, $D_{Kmax} = 0.05$ м, $D_B = 0.2$ м, $N_1 = 3$, $N_{uu} = 5$. Покрытие интегрирующих сфер – Spectralon SRS-99 с коэффициентом отражения $r_1, r_2 = 0.99$.

Соответствующие числовые значения коэффициентов влияния, для указанных значений параметров представлены в табл. 1, а рассчитанные по (2) зависимости погрешности установки яркости выходной апертуры $\frac{\Delta L_B}{L_B}$ от первичных погрешностей $\Delta \Phi_{uu}, \Delta r_1, \Delta r_2, \Delta D_1, \Delta D_2, \Delta D_K$ и ΔD_B показаны на рис. 8.

Отметим, что наибольший вклад в суммарную погрешность ДИПЯ вносят нестабильности покрытий ИС, а изменение их геометрических параметров менее существенно, что значительно упрощает конструирование излучателя. Это характерно и для других типов СОСИС.

Проанализируем основные погрешности более детально.

Нестабильность внутреннего покрытия ИС обусловлена различными факторами – деградацией материала, его гидроσκοпичностью, пыленостью и т. д. Для каждого вида покрытий эти факторы проявляются в различной степени, но для большинства традиционных, используемых в отечественном приборостроении (BaSO₄, MgO, Al и др.) суммарная нестабильность превышает 0.05 % в час [4, 9-10]. Существенно лучшими характеристиками обладают новые материалы на основе политетрафторэтилена [5, 6]. Например, изменение коэффициента отражения покрытия Spectralon SRS-99 [7] может обеспечить стабильность характеристик излучателя с погрешностью менее 0.01 %. К тому же, такие покрытия надежно работают при большом перепаде температур, что особенно важно для первичных интегрирующих сфер.

Таблица 1

Коэффициенты влияния первичных погрешностей ДИПЯ

Источник погрешности	Коэффициент влияния первичной погрешности	Числовое значение коэф. влияния
1	2	3
Нестабильность источника излучения $\Delta \Phi_{uu}$	$\frac{\partial L_B}{\partial \Phi_{uu}} = \frac{N_1 N_{uu} r_1 r_2 A_K}{p \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \left[1 - r_1 \frac{A_1 - A_K}{A_1} \right] \cdot \left[1 - r_2 \frac{A_2 - N_1 A_K - A_B}{A_2} \right]}$	34.2 Вт·м ⁻²
Нестабильность внутреннего покрытия Δr_1	$\frac{\partial L_B}{\partial r_1} = \frac{N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_2 A_K A_1}{p \cdot (A_1 - r_1 A_1 + r_1 A_K)^2 \cdot (A_2 - r_2 A_2 + r_2 N_1 A_K + r_2 A_B)}$	1.74·10 ⁵ Вт/(ср·м ²)
Нестабильность внутреннего покрытия Δr_2	$\frac{\partial L_B}{\partial r_2} = \frac{N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_1 A_K A_1}{p \cdot (A_1 - r_1 A_1 + r_1 A_K) \cdot (A_2 - r_2 A_2 + r_2 N_1 A_K + r_2 A_B)^2}$	1.6·10 ⁵ Вт/(ср·м ²)
Изменение диаметра первичной сферы ΔD_1	$\frac{\partial L_B}{\partial D_1} = 8 \cdot \frac{N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_1 r_2 A_K D_1 (r_1 - 1)}{\left(p \cdot D_1^2 (r_1 - 1) - r_1 A_K \right)^2 \cdot (4A_2 - 4r_2 A_2 + 4r_2 N_1 A_K + 4r_2 A_B)^2}$	-8.86·10 ³ Вт/ [(ср·м ²)·м]
Изменение диаметра вторичной сферы ΔD_2	$\frac{\partial L_B}{\partial D_2} = -8 \cdot \frac{N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_1 r_2 A_K D_2 (r_1 - 1)}{\left(A_1 (r_1 - 1) - r_1 A_K \right) \cdot \left(p D_1^2 (r_1 - 1) - 4r_2 (N_1 A_K + A_B) \right)^2}$	-1.8·10 ³ Вт/ [(ср·м ²)·м]

1	2	3
Нестабильность размеров калибровочной диафрагмы ΔD_K	$\frac{\partial L_B}{\partial D_K} = -8 \cdot N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_1 r_2 D_K \times$ $\times \frac{[16 \cdot A_1 A_2 (r_2 + r_1 - r_1 r_2 - 1) + 16 A_1 A_B r_2 (r_1 - 1) + p^2 D_K^4 r_1 r_2 N_1]}{(4 A_1 - 4 r_1 A_1 + p r_1 D_K^2)^2 \cdot (4 A_2 - 4 r_2 A_2 + p r_2 N_1 D_K^2 + 4 r_2 A_B)^2}$	$5.72 \cdot 10^4$ Вт/ [(ср·м ²)·м]
Нестабильность диаметра выходной апертуры ΔD_B	$\frac{\partial L_B}{\partial D_B} = - \frac{1}{2 \cdot [A_1 - r_1 (A_1 - A_2)] \cdot \sqrt{1 - (D_B/D_2)^2}} \times$ $\times \frac{N_1 N_{uu} \Phi_{uu} r_1 r_2^2 A_K D_B}{\left[A_K - r_2 \cdot \left[A_2 - N_1 A_K - 1/2 p D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - (D_B/D_2)^2} \right) \right] \right]^2}$	$-1.6 \cdot 10^4$ Вт/ [(ср·м ²)·м]

Нестабильность питания источников излучения приводит к изменению как величины излучаемого потока, так и его спектрального состава. Погрешность установки яркости, вызванной этими изменениями может быть определена по формулам [11]:

$$\frac{\Delta L_B}{L_B} = \frac{\Phi_{uu}(I, T) \pm \Phi_{uu}(I + \Delta I, T + \Delta T)}{\Phi_{uu}(I, T)}, \quad \Delta I = \frac{2897}{T} - \frac{2897}{T \left[1 \pm \overset{\circ}{U} \right]^{16.2}}, \quad (3)$$

где $\Phi_{uu}(I, T)$ – изменение потока излучения, обусловленное колебаниями питающего напряжения; ΔI – смещение максимума спектральной характеристики.

Числовые значения этих погрешностей, полученных для различной величины пульсации питающего напряжения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Погрешности источников излучения, вызванные нестабильностью источников питания

Нестабильность питающего напряжения $\pm \overset{\circ}{U} \cdot 100\%$	Смещение максимума СПЭЯ $\pm \Delta I$, нм	Изменение яркости $\pm \Delta L_{uu} / L_{uu}$, %
1	8.1	3.1
0.1	0.8	0.32
0.01	0.08	0.032

Отметим, что приведенная величина $\Delta L_{uu} / L_{uu}$ относится к анализу источника излучения.

Эффективным методом уменьшения рассмотренных погрешностей, кроме применения высокостабильных источников напряжения, является отдельно-групповое подключение источников излучения к электрически-развязанным блокам питания. Например, питание источников излучения ДИПЯ с 15 галогенными лампами группами по 5 ламп от трех блоков питания уменьшает погрешность установки выходной яркости в 1.7 раза.

Изменение параметров конструктивных элементов ДИПЯ при правильном выборе материала и рациональной конструкции интегрирующей сферы может быть доведена до долей процента, даже при весьма жестком температурном режиме первичного излучателя. В табл. 3 приведены рассчитанные по коэффициентам линейного температурного расширения отклонения размеров интегрирующих сфер и калибровочных диафрагм для различных материалов и температурных режимов.

Очевидно, что для пассивных СОСИС перечисленные температурные погрешности будут не столь существенны.

Асферичность и аналогичные погрешности формы интегрирующих сфер мало влияют на изменение выходной яркости, носят систематический характер и могут быть учтены при калибровке ДИПЯ.

На рис. 9 показаны зависимости установки выходной яркости от первичных погрешностей основных элементов ДИПЯ с учетом их реальных величин, полученных выше. При этом были использованы максимальные значения. Однако, даже и в этом случае максимальная погрешность установки яркости не превышает 0.1 %, что достаточно для калибровки даже перспективных прецизионных фотометрических систем.

Учитывая, что ДИПЯ работает в значительном диапазоне яркости ($10^4 - 10^6$) представляет интерес зависимость погрешности установки яркости от ее абсолютной величины. В табл. 4 приведены численные значения суммарной погрешности установки выходной яркости в разных точках динамического диапазона

ДИПЯ при первичних погрешностях основных элементов на уровне 0.1 %, рассчитанных с использованием выражений, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Температурные отклонения параметров конструктивных элементов ДИПЯ

Материал	Нагрев Δt , °C	Начальное знач. парам.	Расчетное отклонение парам., %	
Первичная сфера	100	$D_1 = 0.25$ м	Дюралюминий	0.22
			Латунь	0.19
			Сталь	0.10
Вторичная сфера	50	$D_2 = 1$ м	Полистирол	0.40
			Фторопласт	0.12
			Дюралюминий	0.11
Калибровочная диафрагма	100	$D_K = 0.05$ м	Латунь	0.19
			Сталь	0.10
			Инвар (36.1%)	0.009

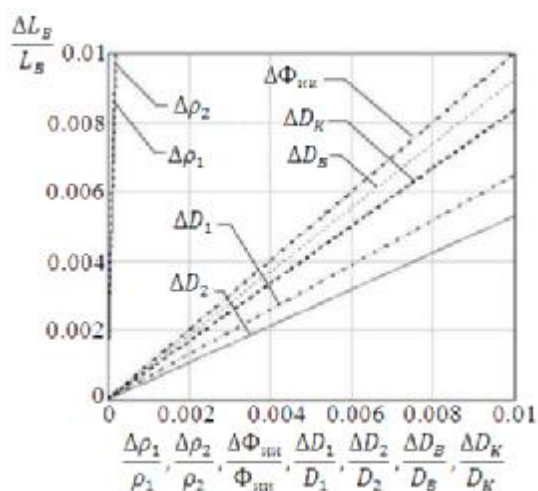


Рис. 8. Графики зависимости суммарной погрешности установки выходной яркости ДИПЯ от погрешности основных элементов

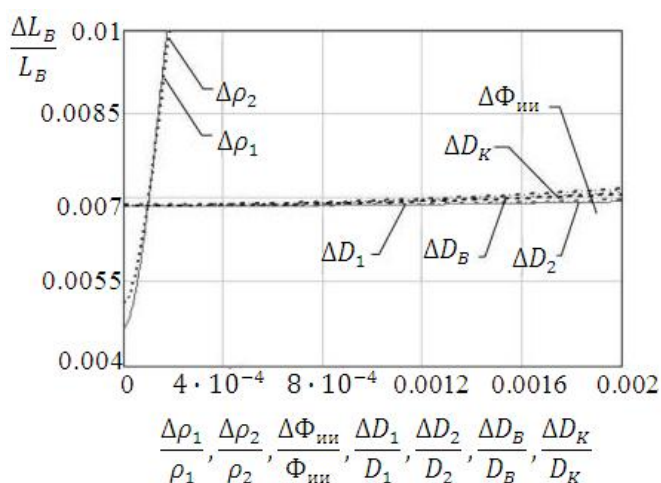


Рис. 9. Графики зависимости установки выходной яркости ДИПЯ от первичных погрешностей основных элементов при $D_K = 0.05$ м, $\Phi_{инт} = 100$ Вт, $r_1 = r_2 = 0.99$, $D_1 = 0.25$ м, $D_2 = 1$ м, $D_B = 0.2$ м, $N_1 = 3$, $N_{инт} = 5$

Таблица 4

Погрешность установки выходной яркости ДИПЯ в различных точках динамического диапазона

Отклонение параметров ДИПЯ по уровню 0.1%	Погрешность $\Delta L_B / L_B$, %			
	$D_K = 0.001$ м	$D_K = 0.005$ м	$D_K = 0.05$ м	$D_K = 0.1$ м
$\Delta r_1 / r_1$	10	10	5	2
$\Delta r_2 / r_2$	5.1	5.1	4.5	3.6
$\Delta D_1 / D_1$	1.39	1.35	0.7	0.43
$\Delta D_K / D_K$	1.39	1.35	0.7	0.43
Суммарная погрешность, %	17.88	17.8	10.9	6.46

Из табл. 4 видно, что погрешность установки выходной яркости ДИПЯ существенно повышается в режиме малых яркостей. Уменьшить эти погрешности можно отключением части источников излучения при средних значениях отверстий калибровочных диафрагм. Как показали экспериментальные исследования, количество одновременно работающих источников излучения в первичной сфере за счет эффективного интегрирования, мало отражается на фотометрическом теле, формируемом на выходе калибровочных диафрагм и практически не влияет на выходное яркостное поле ДИПЯ. Следует, однако, отметить, что при этом увеличивается время термостабилизации излучателя.

Энергетический и метрологический анализ других типов СОСИС может быть выполнен по

приведенной методике, но с учетом специфических особенностей конкретных систем. Результаты такого анализа будут опубликованы позже.

Выводы

На примере диффузного излучателя переменной яркости выполнен энергетический и метрологический анализ фотометрических приборов на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер. При энергетическом анализе был использован численно-аналитический метод определения значения яркости выходной апертуры ДИПЯ L_B в зависимости от основных его параметров. При метрологическом анализе учитывались факторы, влияющие на погрешность формирования яркостного поля в выходной апертуре ДИПЯ.

Результаты энергетического анализа показали, что для улучшения энергетических характеристик ДИПЯ в первую очередь необходимо увеличивать количество первичных излучателей (рекомендуемые значения $N_1=5...7$), выдерживать отношение площади калибрующих диафрагм к площади выходной апертуры в пределах $0,55...0,75$ и применять высокоотражающие покрытия на основе политетрафторэтилена с коэффициентом отражения более $0,99$.

В результате метрологического анализа ДИПЯ было установлено, что наибольший вклад в погрешность установки выходной яркости вносят колебания отражающих свойств покрытий интегрирующих сфер, нестабильность источников излучения и изменения геометрических параметров калибровочных диафрагм и выходной апертуры. Получены аналитические выражения, описывающие эти погрешности и предложены конструктивные меры по их уменьшению до $0,1...0,2\%$

Полученные результаты будут справедливы и для других типов фотометрических приборов на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер с учетом их специфических особенностей.

Литература

1. Михеенко Л. А. Система оптически-сопряженных интегрирующих сфер и фотометрические устройства на их основе. Часть 1. Математическая модель / Л. А. Михеенко, М. С. Мамута // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 30-37.
2. Вариченко Л. В. Методы и средства измерения энергетических характеристик оптико-электронных систем космического зондирования Земли / Л. В. Вариченко, В. Г. Колобродов, Я. Е. Ладыка, В. И. Микитенко, Л. А. Михеенко // Космічна наука і технологія. – 2006. – Т.12 – №2/3. – С. 59 – 69.
3. Лампы накаливания // Электроника СССР. – М.: Информэлектро. – 1988. – 26 с.
4. Азаренок В. В. К вопросу покрытия фотометрических шаров / В. В. Азаренок // Светотехника. – 1978. – №10. – С. 7 – 9.
5. Гуминецкий С. Г. Спектрофотометрические свойства покрытия из материала «Полихром 1» / С. Г. Гуминецкий, Л. С. Ловинский, Я. П. Мачук // ОМП. – 1990. – №2. – С. 19 – 21.
6. Weidner V. R. Reflection properties of pressed polytetrafluorethylene powder / V. R. Weidner, J. J. Hisia // J. Opt. Soc. Of Amer. – 1981. – 71. – P. 856 – 861.
7. A Guide to Integrating Sphere Theory and Application [Электронный ресурс] /Labsphere. – Режим доступа: <http://labsphere.com>.
8. Кушнир Ф. В. Электрорадиоизмерения. – Л.: Энергоиздат, 1983. – 320 с.
9. Гутников Б. Я. Фотометрические свойства алюминиевых рассеивателей / Б. Я. Гутников, В. А. Слепова, К. А. Смирнова и др. // ОМП. – 1972. – №8. – С. 54 – 56.
10. Левизон А. И. Покрытие для интегрирующих сфер спектрофотометрических приборов / А. И. Левизон // ОМП. – 1974. – №11. – С. 33 – 37.
11. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – Л. Энергоиздат. – 1983. – 272 с.

References

1. Mikheenko L. A. System of optically connected integration spheres and photometric devices on its basis. Part 1. Mathematical model / L. A. Mikheenko, M. S. Mamuta // Measuring and computing devices in technological processes. – 2015. – №2. – P. 30-37
2. Varichenko L. V. Metody i sredstva izmereniya energeticheskikh kharakteristik optiko-elektronnykh sistem kosmicheskogo zondirovaniya Zemli / L. V. Varichenko, V. G. Kolobrodov, Ya. Ye. Ladyka, V. I. Mikitenko, L. A. Mikheenko // Kosmichna nauka i technologiya. – 2006. – T.12 – №2/3. – S. 59 – 69.
3. Lampy nakalivaniya // Elektronika SSSR. – M.: Informelektro. – 1988. – 26 s.
4. Azarenok V. V. K voprosu pokrytiya fotometricheskikh sharov / V. V. Azarenok // Svetotekhnika. – 1978. – №10. – S. 7 – 9.
5. Guminetskiy S. G. Spektrofotometricheskiye svoystva pokrytiya iz materiala «Polikhrom 1» / S. G. Guminetskiy, L. S. Lovinskiy, Ya. P. Machuk // OMP. – 1990. – №2. – S. 19 – 21.
6. Weidner V. R. Reflection properties of pressed polytetrafluorethylene powder / V. R. Weidner, J. J. Hisia // J. Opt. Soc. Of Amer. – 1981. – 71. – P. 856 – 861.
7. A Guide to Integrating Sphere Theory and Application [Elektronnyi resurs] / Labsphere. – Rezhym dostupa: <http://labsphere.com>.
8. Kushnir F. V. Elektroradiioizmereniya. – L.: Energoizdat, 1983. – 320 s.
9. Gutnikov B. Ya. Fotometricheskiye svoystva alyuminiyevykh rasseivateley / B. Ya. Gutnikov, V. A. Slepova, K. A. Smirnova i dr. // OMP. – 1972. – №8. – S. 54 – 56.
10. Levizon A. I. Pokrytiye dlya integriruyushchikh sfer spektrofotometricheskikh priborov / A. I. Levizon // OMP. – 1974. – №11. – S. 33 – 37.
11. Gurevich M. M. Fotometriya (teoriya, metody i pribory). – L. Energoizdat. – 1983. – 272 s.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИБОРУ РОЗМІРІВ КОНТРОЛЬНИХ ЗРАЗКІВ ВІД ВІДСОТКА ДЕТЕКТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДЕО

У статті на основі експерименту досліджено методи детектування, щоб визначити, як змінюється якість захоплення чужорідних об'єктів на відео залежно від вибору розмірів контрольного зразка та площі покриття зразками відеокадру. Для експерименту було обрано відео, отримане з безпілотного повітряного судна, з різними типами та розмірами цільових об'єктів на відеокадрах. Було виявлено, що якість захоплення цільового об'єкта на відео лінійно не залежить від розмірів контрольних зразків. Встановлено модель зміни швидкості зростання від розміру контрольного зразка. Для використання мінімального об'єму пам'яті рекомендовано використовувати контрольні зразки найменшого розміру, але при цьому зразок має бути співрозмірний із площею об'єкта, що підлягає пошуку. Рекомендовано модернізувати процедуру захоплення цілей різних розмірів на одному відео. Це дасть можливість більшого накопичення типових текстур зразками малих розмірів та пришвидшить процес очищення зайвих зразків.

Ключові слова: безпілотне повітряне судно, ідентифікація об'єктів, захоплення чужорідних об'єктів, класифікація текстур, відеоспостереження.

А.А. ROHATIUK

National Aviation University, Kyiv

RESEARCH OF DEPENDENCE OF THE CONTROL SAMPLE SIZE SELECTION ON THE PERCENTAGE OF OBJECTS DETECTED ON VIDEO

Annotation. On the basis of the experiment the methods of detection to determine how the quality of capture foreign objects in the video by selecting the control sample size and area coverage examples of the video frame. For experiment was chosen video obtained from unmanned aircraft with different types and size of target objects on video. It was found that the quality of the target to capture video is not linearly dependent on the size of the control samples. Established model changes the rate of growth of the size of the control sample. To use the minimum amount of memory recommended to use control samples smallest size, but the sample must be commensurate with the area of the object to be searchable. Recommended upgrade procedure delight goals of different sizes in one video. This will allow greater accumulation of textures typical examples of small size and speed up the cleaning process extra samples.

Keywords: unmanned aircraft, object identification, capture foreign objects, texture classification, video surveillance.

Актуальність проблеми

Зі стрімким розвитком технологій відеоспостереження, з'явилася потреба швидкої обробки великої кількості відео даних. Одним із важливих завдань у цьому контексті є механізм розпізнавання рухомих об'єктів на відео в режимі реального часу.

В останні роки набувають широкої популярності безпілотні повітряні судна (БПС). Вітчизняне використання БПС потребує ряд розробок не тільки апаратного складу, а й програмного забезпечення керування апаратом та аналізу отриманих даних. Актуальними є вибір методів та розробка на їх основі програмного забезпечення, щоб дозволило вирішувати задачі: класифікації текстур на відео, розпізнавання об'єкта за еталонним зразком, ідентифікації та ведення рухомого об'єкта і т.д., отриманих з рухомої камери БПС в режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Більшість існуючого програмного забезпечення, в якому реалізовані алгоритми детектування руху, та які є доступними для широкого кола користувачів, є переважно системи охоронного призначення, системи для моніторингу та контролю дорожнього руху [1].

Одним з основних завдань, які вирішують дані системи, є захоплення руху об'єкта, тобто автоматизоване виявлення руху (RiseSun) [2]. Загалом, в таких системах можливість детектування з декількох камер одночасно обмежено тільки потужністю комп'ютера (EyeLine) [3]. В процесі детектування руху різні системи пропонують різні налаштування, такі як: зони спостереження можуть бути будь-якої форми і розміру, можливість регулювати рівень чутливості для кожної зони (WebCamLooker) [4]; детектування повільного і швидкого руху, виставлення довільних зон детектування, детектування осіб, детектування розфокусування, детектування зсуву (Trassir) [5]; детектування об'єктів за кількома ознаками (яскравість, межі, колір, особливі точки) (MagicBox) [6]. Деякі системи також додатково включають в себе здатність реагувати на припинення руху. Системи детектування руху які розроблені для БПС не мають широкого доступу, що підтверджує актуальність розробки відповідних систем.

Виходячи з актуальності зазначеної проблематики, було розроблено метод детектування чужорідного об'єкта на відео в режимі реального часу [7]. Під чужорідним об'єктом розуміється текстура на відео що не схожа на типові для відео текстури, наприклад, будинок серед лісу. Для реалізації в програмному забезпеченні було розроблено процедуру, яка базується на даному методі.

На вхід процедури відеодані надходять у вигляді послідовності відеокадрів:

$$V = \{V_k, k = \overline{1, K}\}, \quad (1)$$

де V_k – являє собою кадр потокового відео V , K – загальна кількість відеокадрів на відео.
Кожен відеокадр представляє собою двовимірний масив пікселів:

$$V_k = \{v_{k,i,j}\}, \quad (2)$$

де $k = \overline{1, K}$, $i = \overline{0, N-1}$, $j = \overline{0, M-1}$, де $N \times M$ – розмір відеокадру.

Будь-який піксель $v_{k,i,j}$ представлений у вигляді значень трьох складових растру у колірній моделі RGB, де:

$$v_{k,i,j} = r_{k,i,j} + g_{k,i,j} \times 256 + b_{k,i,j} \times 65536, \quad (3)$$

Для захоплення об'єкт, відеокадр умовно розбивається на контрольні зразки (Рис. 1).

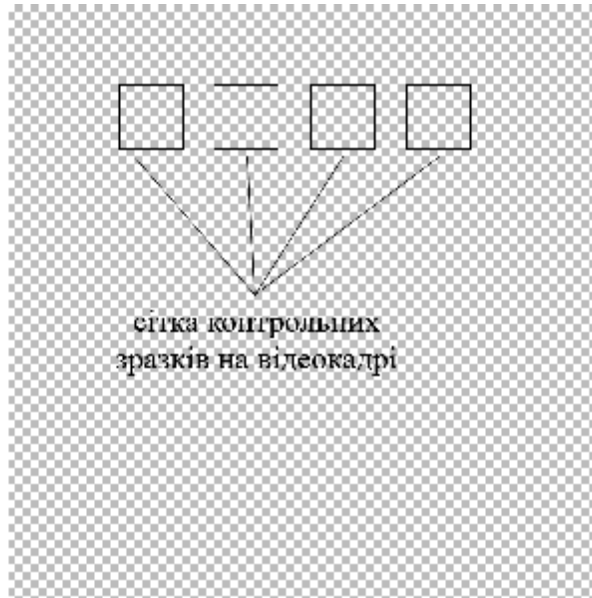


Рис. 1. Приклад розбиття відеокадру на контрольні зразки

Площа контрольного зразка дорівнює $(2R + 1)^2$, де R – відстань до центральної точки зразка, і задається на вхід процедури. В залежності від кількості L контрольних зразків, площа покриття відеокадру така:

$$S = L \cdot (2R + 1)^2.$$

Процедура детектування була реалізована в системі обробки даних потокового відео [8] з камер цільового призначення БПС, та яка функціонує на такому обладнанні: графічний процесор: AMD Radeon, частота процесора: 2.2 GHz, оперативна пам'ять 4 Gb, операційна система: Windows 7.

Метод детектування чужорідних об'єктів пропонується для роботи з відеокадрами в режимі реального часу і основними показниками при оцінюванні роботи методу є:

- 1) якість детектування (відсоток захоплених чужорідних об'єктів на відео);
- 2) швидкодія (час обробки одного відеокадру);
- 3) ресурсоємність (обсяг використаної оперативної пам'яті).

Дані показники характеризують якість захоплення об'єкта. Отже загальна проблематика дослідження даної роботи полягає в отриманні максимальної якості детектування при мінімальній витраті часу, в ідеалі – в режимі реального часу, та з мінімальним обсягом використаної пам'яті. Максимально ефективною процедура буде, якщо весь відеокадр буде розбитий на контрольні зразки, що в свою чергу збільшуватиме час обробки одного кадру. Тому задля економії часу, можна подібне розбиття накладати на окремі ділянки, з огляду на тип відео, наприклад, одним або декількома рядами кризь відеокадр, тим самим підвищуючи якість детектування не збільшуючи час обробки одного відеокадру.

Мета статті

Зважаючи на викладене, метою роботи є експериментальне дослідження методу детектування, щоб визначити, як змінюється якість захоплення чужорідних об'єктів на відео залежно від вибору розмірів контрольного зразка та площі покриття зразками відеокадру.

Виклад основного матеріалу. Для експерименту було обрано відео розміром 320×280 пікселів, отримане з БПС, з різними типами та розмірами цільових об'єктів на відеокадрах. На відео представлені типові текстури «трава», «кущі», «піщана дорога», та текстури типу «будівля», «авто», які будемо називати чужорідними.



Рис. 2. Чужорідні об'єкти на відеокдрах

У табл. 1 наведено розміри контрольних зразків, обраних для тестування

Таблиця 1

Типи контрольних зразків, що використовувалися під час тестування

Розміри зразка (пікселів)	Величина R (пікселів)	Відсоток покриття відеокдру одним зразком (%)
11×11	5	0,13
13×13	6	0,18
15×15	7	0,25
17×17	8	0,32
19×19	9	0,4
21×21	10	0,49
23×23	11	0,59
25×25	12	0,69
27×27	13	0,81
29×29	14	0,94

Попередньо на всіх кадрах відео було підраховано загальна кількість чужорідних об'єктів – A (рис. 2). Для кожного з типів контрольних зразків проводилось по 9-ть експериментів, з різною площею покриття відеокдру: 5%, 7%, 10%, 15%, 20%, 25%, 50%, 75%, 100%. Кількість захоплених об'єктів на відео A_R на кожному з експериментів характеризувала точність методу Δ :

$$\Delta_R = A_R / A ,$$

а середній час обробки одного відеокдру T_R – швидкодію. Звідки кількість оброблених кадрів в секунду :

$$\nu = 1 / T_R .$$

Додатково фіксувалися показники обсягу використаної операційної пам'яті.

Під час експерименту було отримано результати по 10-ти типах контрольних зразків для 9-ти різних варіантів покриття зразками площини кадру. На основі проведеного аналізу виявлено, що загальні залежності точності ідентифікації від площі покриття контрольними зразками відеокдру для всіх варіантів однотипні. Для прикладу, наведемо в таблицях (табл. 2, 3) та на графіку (рис. 3) результати для контрольних зразків з R=14 та R=9 відповідно.

Виявлено:

- 1) точність Δ методу є близькою до 0% при 100% площі покриття в режимі реального часу (процедура не встигає обробляти інформацію);
- 2) зменшуючи площу покриття – збільшуємо швидкодію, що збільшує показники точності методу;
- 3) при малій площі покриття зразками, швидкодія методу є максимальною, проте точність падає, оскільки зростає ймовірність, що об'єкт не потрапить в межі контрольного зразка;
- 4) встановлено модель зміни Δ_R ідентифікації від площі покриття:

$$f(x) = \begin{cases} a + bx, & 0 \leq x \leq t, \\ c \cdot \exp(-\frac{x^d}{e}) + g, & t < x \leq 100. \end{cases} \quad (4)$$

- лінійно-експоненціальна модель з одним вузлом склеювання. В таблиці (табл. 4) наведено

значення коефіцієнтів для усіх типів зразків.

5) графіки для 10-ти типів контрольних зразків показали, що на рівні приблизно при $S = 17\%$ площі покриття точність методу досягає свого максимуму, та знаходиться на рівні $\Delta = 65\%$ захоплених чужорідних об'єктів.

Таблиця 2

Час обробки одного відеокadresу при різній площі покриття (для R=14)

Площа %	Середній час обробки відеокadresу T_R (с)	Кількість оброблених кадрів в с
100	0,698	1,4
75	0,526	1,9
50	0,361	2,8
25	0,201	5
20	0,165	6
15	0,138	7,2
10	0,110	9
7	0,1	10
5	0,091	11

Таблиця 3

Час обробки одного відеокadresу при різній площі покриття (для R=9)

Площа %	Середній час обробки відеокadresу T_R (с)	Кількість оброблених кадрів (с)
100	1,061	0,95
75	0,705	1,4
50	0,460	2
25	0,3	3,3
20	0,206	4,9
15	0,181	5,5
10	0,110	9
7	0,079	13
5	0,065	15

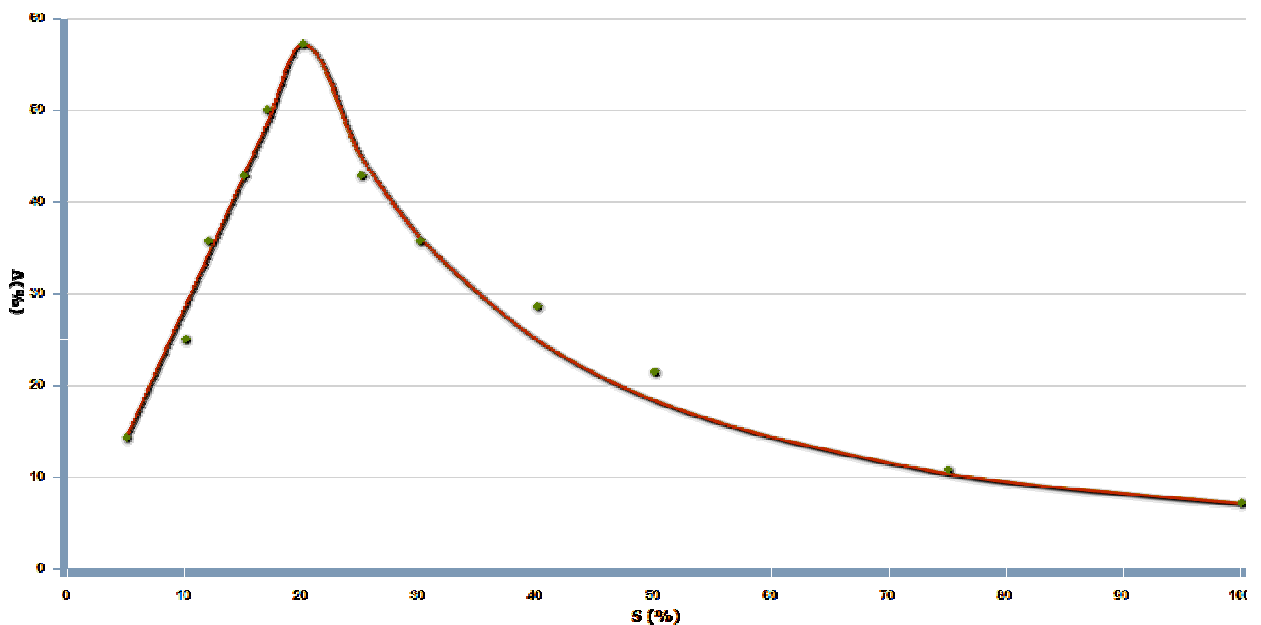


Рис. 3. Графік залежності Δ_R ідентифікації від площі покриття контрольними зразками відеокadresу R=14

Результати оцінки ресурсоемності методу подано на графіку (рис. 4), де зображено залежність швидкості зростання обсягу використаної пам'яті (мб/с) від розміру зразка (подані результати для 20% площі покриття зразками одного відеокadresу). Встановлено регресійну модель зміни швидкості зростання:

$$f(x) = (3 - 5 \exp(-\frac{x^{3/4}}{2})) / 1000. \quad (5)$$

Значення коефіцієнтів моделі (4) для усіх типів зразків

№	Величина R (пікселів)	a	c	d	e	g	t (площа покриття, при якій досягається максимальна якість захоплення)	f(t)
1	5	2.84	250	0.3	1.5	-13	15	42.66
2	6	3.34	250	0.4	2	-7	15	50.08
3	7	3.81	275	0.45	2.3	-6	15	57.19
4	8	4.28	280	0.5	2.7	-2.5	15	64.2
5	9	4.79	300	0.52	3	-5	15	71.78
6	10	4.55	300	0.51	2.8	-4.2	15	68.23
7	11	3.79	350	0.51	2.6	-4	17	64.48
8	12	3.57	400	0.51	2.3	-2.5	17	60.76
9	13	3.05	450	0.5	2.2	2	20	60.04
10	14	2.86	500	0.5	2	3.7	20	57.14

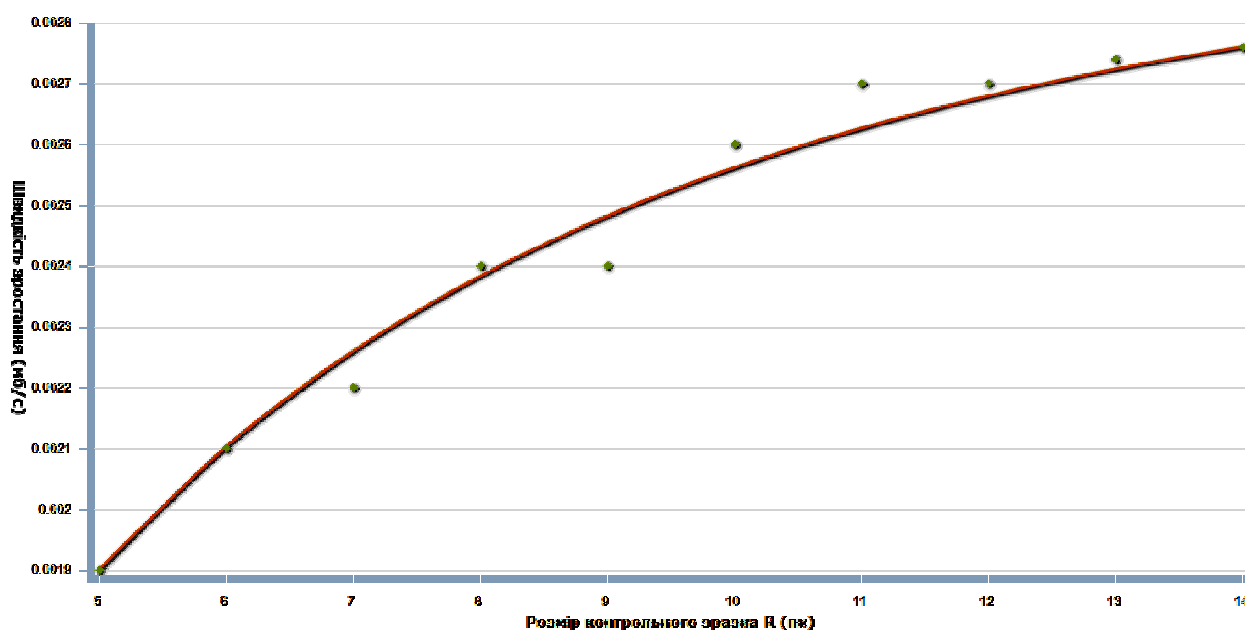


Рис. 4. Графік швидкість зростання обсягу використаної пам'яті (мб/с) для зразків з відстанню до центру R

У результаті аналізу виявлено, що по кожному з типів зразків, якість та кількість захоплених цільових об'єктів не залежала пропорційно від розміру зразків, але давала найвищі результати, при умові, що площа контрольного зразка максимально відповідає розмірам цільового об'єкта на відеокадрі. В свою чергу на розміри об'єктів можуть впливати такі фактори, як:

- тип цільового об'єкта (наприклад «авто», «будівля»);
- висота польоту БПС під час зйомки відео.

Проте виявлено залежність площі покриття від точності ідентифікації, та визначено рівень $S = 17\%$, що відповідає максимальній ідентифікації чужорідних об'єктів – близько $\Delta = 65\%$ від їх загальної кількості на відео.

Встановлено залежність збільшення обсягу використаної пам'яті системою (рис. 4) від розміру контрольного зразка: приріст обсягу пам'яті на кожній секунді відео більший при обробці контрольними зразками більшої площі. Даний факт зумовлено тим, що при меншій площі контрольного зразка можливість захоплення типової текстури для даного відео більша, тим самим прискорюється процес очищення: видалення з пам'яті зразків, що не являються цільовими об'єктами, проте вміщують декілька типових текстур.

Висновки

1. Якість захоплення цільового об'єкта на відео лінійно не залежить від розмірів контрольних зразків.
2. Існує залежність точності захоплення від вибору площі покриття зразками відеокадру. Встановлено модель зміни Δ_R ідентифікації від площі покриття (4). Для максимальної точності варто покривати відеокадр площею близько $S = 17\%$ (прогнозована точність 65%).
3. Для захоплення цільового об'єкта певного типу доцільно обирати розмір контрольних зразків в залежності від його прогнозованого розміру на відеокадрі.

4. Встановлено модель зміни (5) швидкості зростання від розміру контрольного зразка. З метою використання мінімального об'єму пам'яті, варто використовувати контрольні зразки найменшого розміру, але при цьому зразок має бути співрозмірний із площею об'єкта, що підлягає пошуку.

5. Виявлено доцільність модернізації процедури захоплення цілей, різних розмірів на одному відео: тобто, використання зразків різної площі для одного відеокадру. Також, такий підхід дасть можливість більшого накопичення типових текстур зразками малих розмірів та пришвидшить процес очищення зайвих зразків.

Література

1. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: Труды научно-технической конференции-семинара. – Вып. 4 / Под ред. Р. Р. Назирова. – М. : КДУ, 2011. – 328 с.
2. Reohix : Программа обнаружения движения «Rise Sun» [Электронный ресурс] / SOFTSOFT. – Режим доступа: <http://www.softsoft.ru/graphic-apps/screen-capture/56843.htm>
3. EyeLine Video Surveillance Software [Электронный ресурс] / NCH Software. – Режим доступа: <http://www.nchsoftware.com/surveillance/index.html>
4. WebCam Looker – Программа видеонаблюдения с детектором движения для вебкамер [Электронный ресурс] / FelenaSoft Company. – Режим доступа: <http://felenasoft.com/webcamlooker/ru/>
5. Функциональные возможности платформы TRASSIR [Электронный ресурс] / DSSL. – Режим доступа: <http://www.dssl.ru/possibility/#dvig>
6. Об интеллектуальных датчиках движения и детектировании целей в видеосervere [Электронный ресурс] / MagicBox. – Режим доступа: <http://magicbox.agrg.ru/analytics>
7. Приставка П.О. Математичне забезпечення розпізнавання та супроводу рухомого об'єкту в режимі реального часу для відео / П.О. Приставка, А.А. Рогатюк // Вісник НАУ. – 2013. – №2 (55). – С. 141-148.
8. Components of Information Technology Processing of Data Obtained from Unmanned Aerial Vehicle / Ph. Pristavka, A. Assaul, E. Nichikov, A. Rogatuk // Proceedings the Fifth World Congress “Aviation in the XXI century” “Safety in Aviation and Space Technologies” (September 25-27. – Kyiv, 2012. – Vol. 2. – P. 2.21-2.25.

References

1. Tehnicheskoe zrenie v sistemah upravleniya mobilnymi obektami – 2010: Trudy nauchno-tehnicheskoy konferencii-seminara. – Вып. 4 / Pod red. R. R. Nazirova. – М. : KDU, 2011. – 328 s.
2. Reohix: Programma obnaruzheniya dvizheniya «Rise Sun» [Elektronnyj resurs] / SOFTSOFT. – Rezhym dostupu: <http://www.softsoft.ru/graphic-apps/screen-capture/56843.htm>
3. EyeLine Video Surveillance Software [Elektronnyj resurs] / NCH Software. – Rezhym dostupu: <http://www.nchsoftware.com/surveillance/index.html>
4. WebCam Looker – Programma videonablyudeniya s detektorom dvizheniya dlya vebkamer [Elektronnyj resurs] / FelenaSoft Company. – Rezhym dostupu: <http://felenasoft.com/webcamlooker/ru/>
5. Funkcionalnye vozmozhnosti platformy TRASSIR [Elektronnyj resurs] / DSSL. – Rezhym dostupu: <http://www.dssl.ru/possibility/#dvig>
6. Ob intellektualnyh datchikah dvizheniya i detektirovani celj v videoservere [Elektronnyj resurs] / MagicBox. – Rezhym dostupu: <http://magicbox.agrg.ru/analytics>
7. Pristavka P.O., Rogatyuk A.A. Matematychne zabezpechennya rozpoznavannya ta suprovodu ruhomoogo obiekta v rezhymi realnogo chasu dlya video // Visnyk NAU. – 2013. – №2 (55). – S. 141-148.
8. Pristavka Ph., Assaul A., Nichikov E., Rogatuk A. Components of Information Technology Processing of Data Obtained from Unmanned Aerial Vehicle // Proceedings the Fifth World Congress “Aviation in the XXI century” “Safety in Aviation and Space Technologies” (September 25-27. – Kyiv, 2012. – Vol. 2. – P. 2.21-2.25.

Рецензія/Peer review : 29.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 18.10.2015 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ В КРЕМНІЄВИХ ПЛАСТИНАХ P-N ПЕРЕХОДІВ ТА ПРИХОВАНИХ ШАРІВ ПРИ ДІЇ УЗ КОЛИВАНЬ І МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ

Розроблено математичну модель процесів введення динамічних УЗ коливань та контролю їх інтенсивності в іонно-імплантованих домішками пластинах кремнію шляхом статичного їх притискання до п'єзоелектричної пластини з подальшим збудженням високочастотних УЗ коливань в багат шаровій структурі напівпровідник-п'єзоелектрик електричною напругою, яка прикладається до пластини п'єзоелектрика.

Ключові слова: УЗ коливання, іонно-імплантовані структури, багат шарові структури, деформація

R. V. KRYNOCHKIN, O. M. ZHAGLOVSKA, L. A. ROGOZINA

Vinnitsia National Technical University, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF SILICON WAFER FORMATION PN JUNCTIONS AND HIDDEN LAYERS ACTION AT ULTRASOUND VIBRATIONS AND MECHANICAL STRESS

Abstract – The aim of the research – to explore mechanisms improve the quality of p-n junctions obtained using ultrasonic treatment. The mathematical model of dynamic processes input ultrasonic vibrations and control their intensity in the ion-implanted impurity silicon wafers by static pinning them to the piezoelectric plate, followed by high-frequency ultrasonic vibrations excited in a multilayer structure of semiconductor-piezoelectric by electric voltage, which is applied to the piezoelectric plate, is developed.

Thus, the symmetric and asymmetric multi-layered piezoelectric-semiconductor structures is analyzed. It is shown that the asymmetric structure of the voltage conversion efficiency of excitation of piezoelectric plates in mechanical deformation of the semiconductor approximately 30% higher than the symmetrical structure.

Keywords: ultrasound vibrations, ion-implanted structures, multilayer structure, deformation.

Вступ

Іонно-променева імплантація домішок B , P , Sb , As в напівпровідникові матеріали викликає руйнацію кристалічної ґратки поверхневого прошарку, внаслідок чого виникають різного виду дефекти: міжвузлові атоми, відсутність атомів у вузлах (вакансії або дефекти Шотткі), дефекти Френкеля тощо [1]. В традиційних методах заліковування дефектів проводять теплову обробку напівпровідникових пластин (відпал) при температурах 650-700 °С. Під час відпалу завдяки тепловому розширенню збільшуються міжвузлові відстані, знижуються енергетичні бар'єри між врівноваженими станами атомів і дефектів та інтенсифікуються їх теплові коливання. Зазначені процеси активізують міграцію дефектів і збільшують ймовірність їх зближення на критичну відстань, при якій дефекти типу "вакансія" і "атом між вузлами" нейтралізуються [2]. В цілому кристалічна ґратка набуває врівноваженого стану з мінімальною кількістю дефектів.

Аналогічні наслідки, а саме розширення кристалічної ґратки та інтенсифікацію коливань атомів і дефектів, можна отримати збудженням акустичних коливань в напівпровідникових пластинах. Відповідні методи обробки іонно-імплантованих пластин напівпровідників отримали назву ультразвукової обробки (in situ UST) [3].

За літературними даними ультразвукова обробка іонно-імплантованих пластин напівпровідників сприяє утворенню p-n переходів підвищеної якості (з малими глибинами залягання, профілями розподілу близькими до прямокутних, зменшеними зворотніми струмами тощо) порівняно з p-n переходами, отриманими з використанням відпалу [4]. Наявні літературні джерела не дають відповіді на питання як про причини підвищення якості p-n переходів, отриманих з використанням ультразвукової обробки (УЗ p-n переходів), так і про механізми цього явища.

В зв'язку з цим виникла потреба в теоретичному обґрунтуванні експерименту, який би дозволив контролювано здійснити УЗ обробку іонно-імплантованих пластин напівпровідників (наприклад кремнію) і отримати надійні кількісні дані як для з'ясування механізму впливу УЗ обробки на якість p-n переходів, так і закласти підвалини для розробки відповідної технології виготовлення УЗ p-n переходів. Основні труднощі, які виникають при УЗ обробці напівпровідникових пластин пов'язані з контролем їх інтенсивності [5].

Еквівалентні схеми багат шарових структур Еквівалентна схема широкої і тонкої пластини

Опис товщинних коливань в багат шарових структурах можна провести як з використанням диференціальних рівнянь так і за еквівалентними схемами окремих прошарків. Останній варіант є більш поширеним в інженерній практиці, тому зупинимось на ньому.

На рис. 1 наведена еквівалентна схема "широкої і тонкої" п'єзоелектричної пластини при збудженні товщинних коливань [6].

На рис. 1 введено такі позначення: F_1 і F_2 – механічні сили прикладені до широких поверхонь, U і I – напруга між електродами і струм через п'єзоелектричну пластину, n – коефіцієнт трансформації ідеального трансформатора.

Еквівалентні схеми напівпровідникових прошарків отримуються зі схеми рис. 1, якщо прийняти $n=0$.

Параметри еквівалентних схем будуть визначені нижче для кожної структури, після їх перетворення, в розрахунку на одиничну площу широкої поверхні.

Полюси 2-2' і 3-3' відповідають широким поверхням і якщо поверхня вільна, то відповідні полюси мають бути закорочені. Якщо широка поверхня контактує з поверхнею іншої пластини, то відповідні полюси обох пластин з'єднуються.

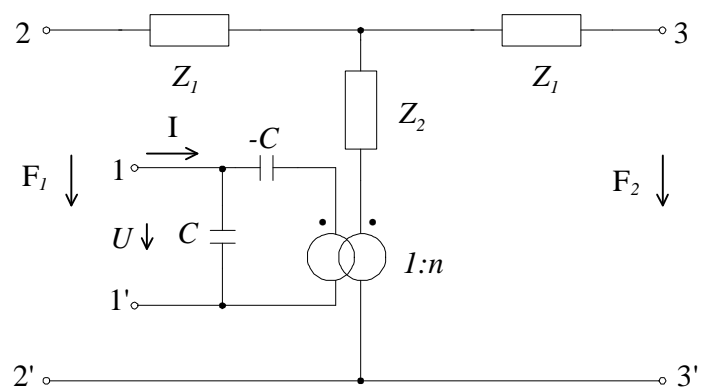


Рис. 1. Еквівалентна схема "широкої і тонкої" п'єзоелектричної пластини

Симетрична структура

Симетрична структура, незалежно від кількості пластин кремнію, складається з трьох однорідних прошарків і її еквівалентна схема отримується з'єднанням трьох еквівалентних схем виду рис. 3, причому зовнішні полюси, що відповідають вільним поверхням мають бути закорочені. Відповідна еквівалентна схема трьохпрошаркової структури з врахуванням симетрії перетворюється до вигляду рис. 2.

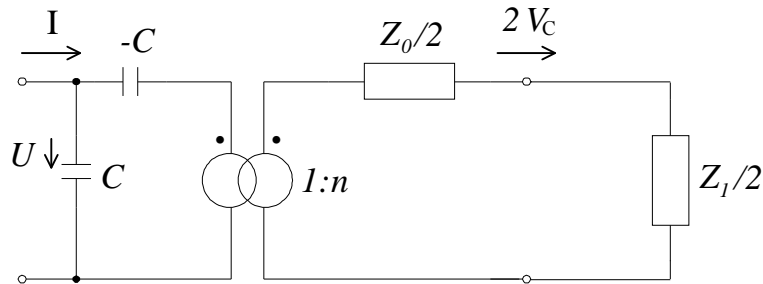


Рис. 2. Перетворена еквівалентна схема симетричної багатошаркової структури

На рис. 2 введено такі позначення: $C = \frac{\epsilon^S}{l_0}$ – питома електрична вхідна ємність п'єзоелектричної пластини (ϵ^S – електрична проникливість зажатої пластини);

$$n = g_{33} C_{33} \epsilon^S \frac{1}{l_0}, \quad (1)$$

- коефіцієнт трансформації ідеального трансформатора, який перетворює електричні напругу і струм в механічну силу і швидкість (g_{33} – п'єзомодуль, C_{33} – модуль Юнга [5]);

$$Z_0 = -jV_0 \rho_0 \operatorname{ctg} \frac{\omega l_0}{2V_0}, \quad (2)$$

- питома еквівалентний опір п'єзоелектричної пластини при товщинних коливаннях ($V_0 = \sqrt{\frac{C_{33}}{\rho_0}}$ – швидкість акустичних хвиль, ρ_0 – густина п'єзоматеріалу, ω – кутова частота збудження, j – уявна одиниця);

$$Z_1 = jV_1 \rho_1 \operatorname{tg} \frac{\omega l_1}{V_1}, \quad (3)$$

- питома еквівалентний опір кремнієвих пластин ($V_1 = \sqrt{\frac{C'_{33}}{\rho_1}}$ – швидкість акустичних хвиль в кремнії; C'_{33} – модуль Юнга, ρ_1 – густина); V_c – швидкість переміщення границі розділу напівпровідник-п'єзоелектрик симетричної структури.

Несиметрична структура

Еквівалентна схема несиметричної структури утворюється з'єднанням двох еквівалентних схем виду рис. 1 з закороченими зовнішніми полюсами, яка після перетворень набуває вигляду рис. 3.

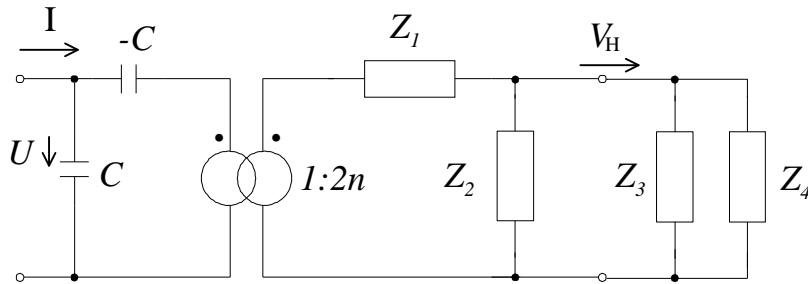


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема несиметричної багатошаркової структури

У схемі на рис. 3 параметри C і n збігаються з параметрами симетричної структури, а інші параметри визначаються формулами

$$Z_1 = -j2\rho_0 V_0 ctg \frac{\omega l_0}{2V_0}, \quad (4)$$

$$Z_2 = j2\rho_0 V_0 tg \frac{\omega l_0}{2V_0}, \quad (5)$$

$$Z_3 = j2\rho_1 V_1 tg \frac{\omega l_1}{2V_1}, \quad (6)$$

$$Z_4 = -j2\rho_1 V_1 ctg \frac{\omega l_1}{V_1}, \quad (7)$$

де ρ_0, V_0, ρ_1, V_1 – також збігаються з відповідними параметрами симетричної структури; V_H – швидкість переміщення границі розділу напівпровідник-п'єзоелектрик несиметричної структури.

Аналіз симетричної багатошаркової структури

Визначення розподілу деформації по товщині напівпровідника

Інтенсивність акустичних коливань в кремнієвих пластинах визначається швидкістю переміщення їх поверхні, яка контактує з поверхнею п'єзоелектрика. За схемою рис. 2 знаходимо швидкість границі розділу для симетричної структури

$$V_c = \frac{nU}{j \left[V_1 \rho_1 tg \beta_1 l_1 + V_0 \rho_0 \left(\frac{2k_t^2}{\beta_0 l_0} - ctg \frac{\beta_0 l_0}{2} \right) \right]} \quad (8)$$

де k_t – товщинний коефіцієнт електромеханічного зв'язку;

$$\beta_1 = \frac{\omega}{V_1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} \quad \text{і} \quad \beta_0 = \frac{\omega}{V_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad \text{– постійні розповсюдження акустичних хвиль в напівпровіднику і}$$

п'єзоелектрику, а λ_1 і λ_0 – відповідні довжини хвиль [5].

За відомою швидкістю однієї поверхні пластини і умови, що протилежна поверхня вільна, знаходимо швидкість переміщення матеріальних часток в напівпровіднику з довільною координатою Z (координата Z відраховується від границі розділу напівпровідника і п'єзоелектрика) [6].

$$\xi = \frac{V_c}{\cos \frac{\omega}{V_1} l_1} \cos \frac{\omega}{V_1} (Z - l_1). \quad (9)$$

Далі знаходимо розподіл деформації в кремнієвій пластині

$$S = \frac{d\xi}{dZ} = g_{33}^s \epsilon_{33}^s \frac{V_0 U}{V_1 l_0} f_c(\omega) (\sin \beta_1 Z - tg \beta_1 l_1 \cos \beta_1 Z), \quad (10)$$

де $f_c(\omega)$ – частотна функція симетричної структури, яка визначається виразом

$$f_c(\omega) = \frac{1}{\frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} tg \beta_1 l_1 - ctg \frac{\beta_0 l_0}{2} + 2 \frac{k_t^2}{\beta_0 l_0}}. \quad (11)$$

Розкладаючи частотну функцію в простий дріб і враховуючи втрати енергії, отримаємо розподіл амплітуди деформації по товщині напівпровідникових пластин при збудженні резонансних мод товщинних коливань [5]

$$S_n = g_{33} \epsilon_{33}^S \frac{V_0}{V_1} \frac{U_m}{l_0} B_n Q_n (\sin \beta_1 Z - tg \beta_1 l_1 \cos \beta_1 Z), \quad (12)$$

де Q_n – результуюча добротність багатошаркової структури на n -ій резонансній моді (n – ціле число, яке кратне кількості півхвиль, що вкладаються на товщині п'єзоелектрика і приймає значення 1, 3, 5, ...).

Коефіцієнт B_n в n -ому полюсі частотної функції визначається виразом:

$$B_n = \frac{2x_n^{-1}}{m \frac{\pi}{x_n} \frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} \cos^{-2} kx_n + \sin^{-2} x_n - k_t^2 x_n^{-2}}, \quad (13)$$

де x_n – n -ий корінь частотного рівняння

$$\frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} tg kx_n - ctg x_n + \frac{k_t^2}{x_n} = 0, \quad (14)$$

ліва частина якого збігається зі знаменником частотної функції при замінах $x = \frac{\omega l_0}{2V_0}$, $k = \frac{2V_0 l_1}{V_1 l_0}$, а m –

кількість півхвиль в кремнієвій пластині ($m = \frac{2l_1}{\lambda_1}$).

Якщо сукупна товщина кремнієвих пластин на частотах резонансних коливань кратна довжині півхвиль, тобто $l_1 = \frac{m\lambda_1}{2}$, то $kx_n = m\pi$, а $tg kx_n = 0$. В цьому випадку спрощується частотне рівняння, яке набуває вигляду

$$x ctg x - k_t^2 = 0, \quad (15)$$

та вирази для коефіцієнта B_n

$$B_n = \frac{2x_n}{m\pi x_n \frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} + x_n^2 - k_t^2 (1 - k_t^2)}, \quad (16)$$

і розподілу амплітуди деформації по товщині напівпровідника на n -ій резонансній моді

$$S_n \approx d_{33} (1 - k_t^2) \frac{V_0}{V_1} \frac{U_m}{l_0} B_n Q_n \sin n\pi \frac{Z}{l_1}, \quad (17)$$

де $d_{33} = \frac{g_{33} \epsilon_{33}^S}{(1 - k_t^2)}$ – п'єзомодуль [5].

За коренями частотного рівняння товщина п'єзоелектрика, необхідна для виникнення резонансного режиму на частоті ω_n , розраховується за виразом $l_0 = 2 \frac{x_n V_0}{\omega_n}$. Причому, при $n=1$ на товщині п'єзоелектрика

вкладається півхвиля, $n=3$ – півтори хвилі, $n=5$ – 2,5 хвилі і т.д. Частоти, на яких на товщині п'єзоелектрика вкладається парне число півхвиль, не збуджуються. Загальну товщину напівпровідникових прошарків треба вибирати так, щоб на ній вкладалося ціле число півхвиль. Відповідна товщина розраховується за виразом

$$l_1 = m \frac{\pi V_1}{\omega_n} = m \frac{\pi V_1 l_0}{2x_n V_0}, \quad (18)$$

де ω_n – n -на резонансна частота збудження.

Максимальна амплітуда деформації має місце при збудженні основної резонансної моди ($n=m=1$) і спостерігається посередині напівпровідникової пластини ($Z = \frac{l_1}{2}$), а на краях спадає до нуля.

Оцінка максимальної деформації напівпровідника

Для оцінки максимальної деформації треба знайти корені частотного рівняння.

Розв'язок спрощеного частотного рівняння (15) для $k_t^2=0,25$ дає такі три корені: $x_1=1,3932$; $x_3=4,6588$; $x_5=7,8220$. Подальші значення коренів асимптотично наближаються до значень $x_n = \frac{n\pi}{2}$, $n=7, 9, 11, \dots$, лишаючись менше них.

На яких модах частотних коливань акустична стимуляція іонно-імплантованих напівпровідникових p - n переходів буде найбільш ефективною має визначити експеримент. Ймовірно, що такою модою виявиться

найнижча ($n=1, m=1$). Для цього випадку в табл. 1 наведені дані залежності найнижчого кореня частотного рівняння (3.8) x_1 і коефіцієнта B_{IC} (симетричної структури), для матеріалів напівпровідник (кремній): $\rho_1=2328 \text{ кг/м}^3, V_1=9850 \text{ м/с}$; п'єзоелектрик (LiNbO_3): $\rho_0=4630 \text{ кг/м}^3, V_0=7200 \text{ м/с}$ (товщини напівпровідника і п'єзоелектрика є півхвильовими: $n=m=1$) [7].

Таблиця 1

Залежність коренів частотного рівняння та коефіцієнтів B_{IC} симетричної і B_{IH} несиметричної структур від коефіцієнта електромеханічного зв'язку

k_t^2	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
x_1	1,3932	1,4320	1,4690	1,5044	1,5383
B_{IC}	0,5848	0,5745	0,5644	0,5547	0,5452
B_{IH}	0,8622	0,8330	0,8121	0,7920	0,7728

Зі зменшенням коефіцієнту електромеханічного зв'язку найменший корінь частотного рівняння наближається до значення $x_1 = \frac{\pi}{2}; 1,5708$.

Чисельну оцінку максимальної деформації проведемо для трьохпрошаркової структури напівпровідник (Si) – п'єзоелектрик (LiNbO_3), коли кожний прошарок є півхвильовим. Додаткові параметри LiNbO_3 : п'єзомодуль $d_{33}=19 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$; $k_t^2=0,1936 \approx 0,2$ [7].

За формулою (17), відомими параметрами матеріалів та даними табл. 1 (для $n=1$ і $Z=l_1/2$), знаходимо

$$S_1 \approx 6,0 Q_1 \frac{U_m}{l_0}, \tag{18}$$

де амплітуда напруги U_m береться в вольтах, а товщина п'єзоелектрика l_0 в метрах. Відношення $\frac{U_m}{l_0} = E_{m0}$

визначає амплітудне значення напруженості електричного поля в п'єзоелектрику, яке не повинне перевищувати пробивне, а коефіцієнт $6,0 Q_1$ – показує як в симетричній структурі напруженість електричного поля в п'єзоелектрику трансформується в деформації напівпровідника.

Співвідношення (18) фактично дозволяє здійснювати контроль інтенсивності акустичних коливань в напівпровідникових пластинах, якщо відома добротність багатошаркової структури.

Аналіз несиметричної багатошаркової структури

За схемою рис. 5 знаходимо швидкість V_H переміщення границі розділу напівпровідника і п'єзоелектрика несиметричної структури при збудженні товщинних коливань гармонічною напругою

$$V_H = \frac{nU \text{tg} \frac{\beta_0 l_0}{2} \text{tg} \beta_0 l_0}{j \left[\rho_1 V_1 \text{tg} \beta_1 l_1 \left(\frac{k_t^2}{\beta_0 l_0} \text{tg} \beta_0 l_0 - 1 \right) + \rho_0 V_0 \text{tg} \beta_0 l_0 \left(\frac{2k_t^2}{\beta_0 l_0} \text{tg} \frac{\beta_0 l_0}{2} - 1 \right) \right]}, \tag{19}$$

де $\beta_1 = \frac{\omega}{V_1}, \beta_0 = \frac{\omega}{V_0}$ постійні розповсюдження хвилі в напівпровіднику і п'єзоелектрику. Далі, як і для

симетричної структури, спочатку знаходимо розподіл швидкостей матеріальних часток по товщині напівпровідникової пластини за формулою (3.2), а потім і розподіл амплітуди деформації

$$S = d_{33} \left(1 - k_t^2 \right) \frac{V_0}{V_1} \frac{U_m}{l_0} f_H(\omega) (\sin \beta_1 Z - \text{tg} \beta_1 l_1 \cos \beta_1 Z), \tag{20}$$

де координата Z також відраховується від границі розділу напівпровідника і п'єзоелектрика.

Частотна функція несиметричної структури $f_H(\omega)$ визначається виразом

$$f_H(\omega) = \frac{\text{tg} \frac{\beta_0 l_0}{2} \text{tg} \beta_0 l_0}{\frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} \text{tg} \beta_1 l_1 \left(\frac{k_t^2}{\beta_0 l_0} \text{tg} \beta_0 l_0 - 1 \right) + \text{tg} \beta_0 l_0 \left(\frac{2k_t^2}{\beta_0 l_0} \text{tg} \frac{\beta_0 l_0}{2} - 1 \right)}, \tag{21}$$

в якому величини $\rho_1 V_1, \rho_0 V_0$ мають той же зміст, що і для симетричної структури.

Аналогічно симетричній структурі, розклавши частотну функцію в простий дріб та наклавши умову, що товщина напівпровідникової пластини кратна довжині півхвилі ($l_1 = m \lambda_1 / 2, m=1, 2, 3$) і враховуючи втрати енергії, отримаємо розподіл амплітуди деформації по товщині напівпровідника на n -ій

резонансній моді, який визначається виразом (17), де

$$B_n = \frac{2x_n}{\frac{m\pi x_n}{2} \cdot \frac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0} + x_n^2 - k_i^2 (1 - k_i^2)} \quad (22)$$

Величина x_n є коренем частотного рівняння (15), в якому, як і для симетричної структури, прийнято $x = \frac{\omega l_0}{2V_0}$. В четвертому рядку табл. 1 наведені результати розрахунку коефіцієнта B_{IH} ($n=1$, $m=1$) для

несиметричної структури, для тих же значень коефіцієнта електромеханічного зв'язку.

З порівняння коефіцієнтів B_{IC} і B_{IH} (див. табл. 1) випливає, що ефективність перетворення електричної напруги збудження п'єзопластини в механічну деформацію напівпровідника у несиметричній структурі зросла приблизно на 30%. Але добротність несиметричної структури, за умов, що вона визначається добротністю матеріалу напівпровідника, також має бути більшою.

Чисельні оцінки амплітуди деформації, отримані для симетричної структури, зберігаються і для несиметричної з відповідною корекцією, пов'язаною зі збільшенням коефіцієнта B_{IH} .

Вибір симетричної або несиметричної структури для акустичної стимуляції іонно-імплантованих напівпровідників залежить, в першу чергу, від їх технологічності, а саме умовами кріплення і герметизації.

Висновки

1. Проведено аналіз симетричної і несиметричної багатопрошаркових структур напівпровідник-п'єзоелектрик на підставі моделі “тонкої і широкої” пластини та отримано наближені вирази для максимальної деформації в кремнієвій пластині, як функції властивостей матеріалу напівпровідника і п'єзоелектрика та їх конструктивних розмірів.

2. Показано, що в несиметричній структурі ефективність перетворення електричної напруги збудження п'єзоелектричної пластини в механічні деформації напівпровідника приблизно на 30% вища, ніж в симетричній структурі.

Література

1. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Красников Г.Я. – Ч. 1., М.: Техносфера, 2002, – с. 264
2. Влияние ультразвукового воздействия на генерационные характеристики границы раздела кремний-диоксид кремния / П. Б. Парчинский, С. И. Власов., Л. Г. Лигай, О. Ю. Щукина. – Письма в ЖТФ, 2003, том 29, вып. 9, – С. 83 – 88.
3. Kruger D. Influence of in-situ ultrasound treatment during ion implantation on amorphization and junction formation in silicon / Kruger D., Romanyuk B., Olikh Ya // J. Vacuum Sci. & Technology. – 2002. – В 20, No 4. – P. 1448 – 1451.
4. Characteristics of silicon p-n junction formed by ion implantation with in situ ultrasound treatment / [Melnik V. P.; Olikh Y. M.; Popov V. G. at all]. – Materials science & engineering. B, Solid-state materials for advanced technology 2005, vol. 124 – 25, pp. 327 – 330 [4 page(s) (article)] ISSN 0921-5107.
5. Магнитные и диэлектрические приборы. Ч.1/ [под ред. Катца Г.В.]. – М.: Энергия, 1964 – с. 399.
6. Физическая акустика. Т.1. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Ч.А./ [под ред. Мэзона У.]. – М.: Мир, 1966 – с. 592.
7. Акустические кристаллы. Справочник / [Блистанов А.А., Бондаренко В.С. и др.]; под ред. М.П. Шаскольской. – М.: Наука, 1982 – с. 632.

References

1. Krasnikov G. Y. Konstruktivno-tehnologicheskie osobennosti submikronnyh MOP-tranzistorov / Krasnikov G. Y. – Ch. 1., М.: Technosfera, 2002, – p. 264.
2. Vlijanie ultrazvukovogo vozdejstvia na generacionnye harakteristiki granicy razdela kremnij-dioksid kremnija / P. B. Parchynskiy, S. I. Vlasov., L. G. Ligay, O. Y. Shchukina. – Pisma v GTF, 2003, tom 29, vyp. 9, - P. 83 – 88.
3. Kruger D. Influence of in-situ ultrasound treatment during ion implantation on amorphization and junction formation in silicon / Kruger D., Romanyuk B., Olikh Ya // J. Vacuum Sci. & Technology. – 2002. – В 20, No 4. – P. 1448 – 1451.
4. Characteristics of silicon p-n junction formed by ion implantation with in situ ultrasound treatment / [Melnik V. P.; Olikh Y. M.; Popov V. G. at all]. – Materials science & engineering. B, Solid-state materials for advanced technology 2005, vol. 124 – 25, pp. 327 – 330 [4 page(s) (article)] ISSN 0921-5107.
5. Magnitnye I dielektricheskie pribory. Ch. 1 / Katz G. V. – М.: Energia, 1964 – P. 399.
6. Phizicheskaya akustika. T.1. Metodu i priboru ultrazvukovuh issledovanij. Ch.A./ Mezon W. – М.: Mir, 1966 – P. 592.
7. Akusticheskie kristaly. Spravochnik / [Blistanov A.A., Bondarenko V. S. i dr.]; M.P. Shaskolska. – М.: Nauka, 1982 – P. 632.

Рецензія/Peer review : 13.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 18.10.2015 р.

АНАЛІЗ ПОРОГОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ОБСЯГУ ПСЕВДОАКОМОДАЦІЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКА

Показано, що процес вимірювання обсягу псевдоакомодації пресбіопічного ока, методом фотоелектричного аналізу тривимірного повітряного зображення світлової мікроплями на сітківці ока, супроводжується негативним впливом багатьох чинників. Головними серед них є власний фотоелектричний шум приймача випромінювання та негативний вплив спеклової структури лазерного випромінювання. Проаналізовано вплив даних чинників на результат вимірювання, отримано математичні вирази для визначення світлового центру ваги мікроплями, та запропоновано метод руйнування спеклів лазерного випромінювання.

Ключові слова: об'єктивне вимірювання обсягу псевдоакомодації, оптико-електронний вимірювач.

O.O. HOLEMBOVSKYI

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE THRESHOLD SENSITIVITY OPTO-ELECTRONIC METER OF VOLUME PSEUDOACCOMMODATION OPTICAL SYSTEM OF THE EYE

It is shown that the process of measuring the volume of pseudoaccommodation of presbyopic eye by photoelectric analysis three-dimensional air image of light microspot on the retina, accompanied by the negative impact of many factors. Chief among them has a photoelectric detector noise and the negative impact speckle structure of laser radiation. The influence of these factors on the measurement result obtained mathematical expressions to determine the center of gravity microspot light, and the method of laser speckle destruction.

The key words: eye, accommodation, pseudoaccommodation, device.

Вступ

З віком око людини втрачає свої акомодацийні властивості та стає пресбіопічним, що є наслідком зменшення еластичності м'язів кришталика, або його заміни на штучний. В такому випадку втрачається можливість чітко розрізнити предмети, що знаходяться на різних відстанях від ока. Це викликає певний фізичний дискомфорт, переважно очей та змушує використовувати декілька пар окулярів. З подібною проблемою стикаються пацієнти з імплантованим штучним кришталиком (інтраокулярною лінзою). Однак дослідження показали, що оку притаманний незначний обсяг акомодациї, навіть за відсутності кришталика (афакія). Це явище отримало назву обсягу псевдоакомодації. Природа цього явища пояснюється наявністю двох складових у звичайного обсягу акомодациї. Перша складова – це геометричні параметри фокусної області ока, її видовженість вздовж оптичної осі в наслідок дифракції світлових променів на краях зіниці ока, друга – пов'язана з роботою нейроапарату головного мозку. Наявність псевдоакомодації пояснюють саме довжиною фокусної області (ДФО) оптичної системи ока [1]. Дослідженню параметрів фокусної області була приділена велика увага зі сторони лікарів-офтальмологів як в Україні, так і за її межами. Важливість даних ДФО ока полягає в тому, що маючи більш точну інформацію про стан оптичної системи ока пацієнта, лікар офтальмохірург може більш точно здійснити підбір інтраокулярної лінзи і тим самим позбавити пацієнта від необхідності використання ним окулярів після її імплантації.

На сьогоднішній день відомі суб'єктивні та об'єктивні методи дослідження обсягу псевдоакомодації ОС ока [1]. Автором запропонований об'єктивний метод визначення обсягу псевдоакомодації ока через аналіз розподілу освітленості тривимірного «повітряного» зображення світлової мікроплями, сформованого оптичною системою ока в зворотному ході променів [2,3]. В попередніх дослідженнях детально розглянуто метод та апаратний засіб вимірювання обсягу псевдоакомодації пресбіопічного ока, вказано на його переваги та недоліки [4]. Однак на сьогоднішній день відсутні експериментальні дані про порогову чутливість вимірювача та не здійснена оцінка потенційної можливості здійснення ним вимірювань обсягу псевдоакомодації.

Метою даної публікації є попередня оцінка порогової чутливості даного вимірювача, та експериментальне дослідження рівня корисного сигналу на фотоприймачі зображення, на фоні спеклів лазерного випромінювання, полисків від компонентів системи, негативних засвіток та власного електронного шуму фотоприймача.

Задачею даної публікації є отримання експериментальних даних про середнє значення та СКВ шумового фотоелектричного сигналу при різних значеннях рівномірної освітленості фоточутливого шару приймача, отримання експериментальних даних про точність визначення світлового центру ваги мікроплями на сітківці ока, аналізуючи її повітряне зображення на фотоприймачі. Визначити вплив похибки визначення «центру ваги» на точність визначення мінімуму функції $RMS(\Phi)$. Отримати експериментальні дані про вплив спеклів лазерного випромінювання на точність визначення світлового центру ваги мікроплями на фотоприймачі зображень, оцінити їх вплив, та порівняти із впливом власного фотоелектричного шуму приймача. Розглянути можливі методи зменшення шкідливого впливу спеклів лазерного випромінювання.

Метод вирішення поставленої задачі

Метод даного дослідження полягає в статистичній обробці даних розподілу фонові освітленості в зображенні кадру розміром 840 на 600 пікселів, отриманні гістограми розподілу побітової освітленості в кожному пікселі (кількість пікселів з інтенсивністю від 1 до 255 біт), отримання графіка функціональної залежності СКВ виміряних значень від наявної освітленості фотоприймача зображень.

На рис. 1 зображено отриману апроксимуючу криву по результатам вимірювання СКВ кадрів. Отриманий графік СКВ показує лінійну залежність СКВ від рівня освітленості фотоприймача, та нормальний розподіл шуму на фотоприймача(згідно отриманих гістограм фотознімків). Отримані дані розподілу випадкового шумового сигналу фотоприймача дають потенційну можливість розрахувати його вплив на точність визначення координат світлового центру ваги мікроплями, які в свою чергу використовуються для подальшого розрахунку полярного, осьових та відцентрового моменту інерції мікроплями та розрахунку її *RMS* .

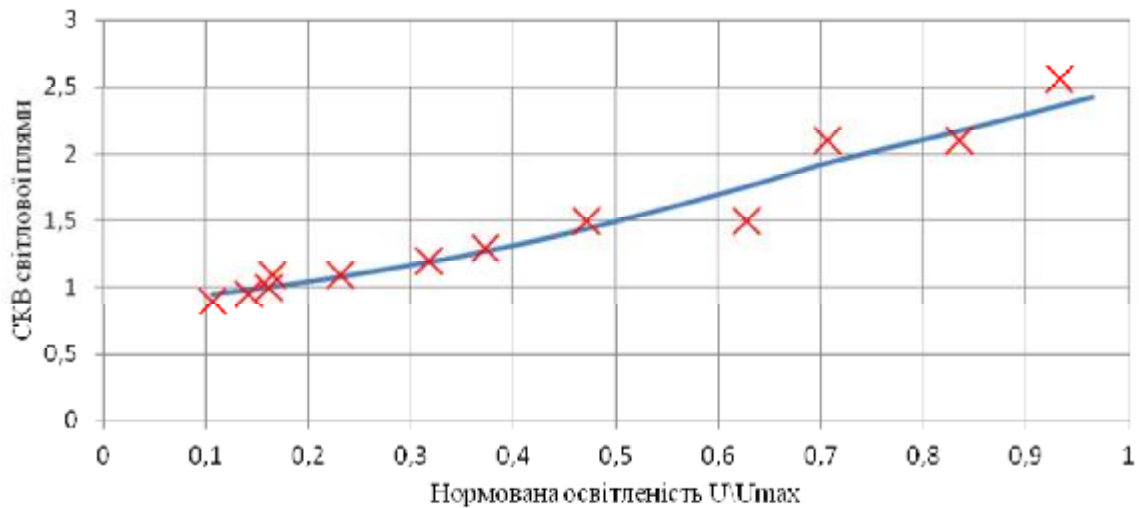


Рис. 1 Графік залежності СКВ випадкового шумового сигналу

Розрахунок $RMS_r(\Phi_k)$, з використанням електричних сигналів від кожного пікселя багатоеlementної фотоприймальної матриці відеокамери, здійснюються за формулою:

$$RMS_r(\Phi_k) = \sqrt{\frac{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij})(x_i^2 + y_j^2)}{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij})}}, \quad (1)$$

де \bar{U}_{ij} – середнє значення електричного сигналу, зчитаного декілька раз з пікселя, що знаходиться у стовпчику з номером i вздовж осі OX та у рядку з номером j вздовж осі OY ;

δU_{ij} – випадкова шумова складова електричного сигналу U_{ij} ;

$x_i = X_i - x_c$ та $y_j = Y_j - y_c$ – координати вказаного пікселя відносно центру «ваги» всього масиву електричних сигналів, розраховані за формулами:

$$x_c = \frac{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij}) X_i}{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij})} \quad (2) \quad y_c = \frac{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij}) Y_j}{\sum_{ij} (\bar{U}_{ij} + \delta U_{ij})}, \quad (3)$$

в яких $X_i = \Delta_x i$, $Y_j = \Delta_y j$ – координати центру пікселя з номером i, j відносно кута матриці, з якого починається відлік номерів пікселів, а Δ_x та Δ_y – відстані між центрами сусідніх пікселів вздовж осей OX та OY відповідно.

Формули (1) та (2), (3) свідчать про те, що електричний шум призводить як до похибок визначення координат центроїду $[x_c, y_c]$, так і до похибки визначення значень $RMS_r(\Phi_k)$. Дослідимо ці похибки.

Похибки визначення координат центроїду

Якщо у кожному пікселі сигнал $U_{ij} = \bar{U}_{ij} + \delta U_{ij}$, то тоді згідно (2) та (3):

$$x_c = \frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} X_i + \sum_{ij} \delta U_{ij} X_i}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} + \sum_{ij} \delta U_{ij}}, \quad (4) \quad y_c = \frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} Y_j + \sum_{ij} \delta U_{ij} Y_j}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} + \sum_{ij} \delta U_{ij}} \quad (5).$$

Знаменник у виразах (4), (5) можна представити у вигляді:

$$\frac{1}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} + \sum_{ij} \delta U_{ij}} = \frac{1}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} (1 + \frac{\sum_{ij} \delta U_{ij}}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}})} \cong \frac{1}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} (1 - \frac{\sum_{ij} \delta U_{ij}}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}}) \quad (6)$$

на тій основі, що значення $\frac{\sum_{ij} \delta U_{ij}}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} \ll 1$. Після підстановки (6) у (4) отримуємо вираз:

$$x_c = \frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} X_i}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} + \frac{\sum_{ij} \delta U_{ij} X_i}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} - \frac{(\sum_{ij} \bar{U}_{ij} X_i)(\sum_{ij} \delta U_{ij})}{(\sum_{ij} \bar{U}_{ij})^2} - \frac{(\sum_{ij} \delta U_{ij} X_i)(\sum_{ij} \bar{U}_{ij})}{(\sum_{ij} \bar{U}_{ij})^2}.$$

У правій частині цього виразу перший доданок – середнє значення координати x_c , а сума інших додатків – випадкова складова значення цієї координати, тобто похибка її визначення. Проте третій та четвертий додатки за величиною є набагато менші ніж другий, а тому ними за ради спрощення виразу доцільно знехтувати. В результаті похибку визначення координати x_c можна розраховувати за формулою:

$$\delta x_c \cong \frac{\sum_{ij} \delta U_{ij} X_i}{\bar{U}_\Sigma}, \quad (7)$$

де $\bar{U}_\Sigma = \sum_{ij} \bar{U}_{ij}$. Аналогічно отримуємо формулу розрахунку похибки визначення координати y_c

$$\delta y_c \cong \frac{\sum_{ij} \delta U_{ij} Y_j}{\bar{U}_\Sigma}. \quad (8)$$

Вплив похибок визначення координат центроїду на величину RMS_r

Якщо координати центроїду визначені з похибками δx_c , δy_c , то згідно виразу (1)

$$RMS_r = \sqrt{\frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} [(x_i + dx_c)^2 + (y_j + dy_c)^2]}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}}} = \sqrt{\frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} (x_i^2 + y_j^2)}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} + 2dx_c \frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} x_i}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} + 2dy_c \frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} y_j}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} + dx_c^2 + dy_c^2}. \quad (9)$$

У зв'язку з тим, що у виразі (9) x_i та y_j координати пікселя з номером $[i, j]$ відносно центроїда,

то суми $\sum_{ij} \bar{U}_{ij} x_i = 0$ і $\sum_{ij} \bar{U}_{ij} y_j = 0$, а перший доданок $\frac{\sum_{ij} \bar{U}_{ij} (x_i^2 + y_j^2)}{\sum_{ij} \bar{U}_{ij}} = \overline{RMS_r^2}$ – середнє

значення RMS_r , то у кінцевому результаті отримуємо:

$$RMS_r = \sqrt{\overline{RMS_r^2} + dx_c^2 + dy_c^2} \quad (10)$$

Вираз (10) свідчить про те, що похибки визначення координат центроїду неодмінно збільшують значення RMS_r відносно його середнього значення.

Дослідження впливу спеклів лазерного випромінювання на точність визначення світлового центру ваги мікроплями на фотоприймачі

Як відомо на процес формування світлової мікроплями на фотоприймачі та визначення її світлового центру ваги значний негативний вплив чинять полиски від робочих поверхонь компонентів системи та спекли від використання когерентного джерела випромінювання – лазера. Важливою задачею є визначення впливу спеклів на формування мікроплями та визначення залежності її СКВ та RMS від спеклів, зумовлених використанням лазерного джерела випромінювання.

Методика експерименту:

Метод даного дослідження полягає в отриманні серії знімків світлової мікроплями (мікрофотометрії) з фотоприймача зображень з отриманням їх профілограф, за умови відсутності панкратичного елемента (варіолінзи) із застосуванням методу «руйнування» спеклів. Метод полягає в застосуванні додаткового елемента системи – плоско паралельної пластини, що обертається навколо своєї осі з певною швидкістю V . Пластина обертається за допомогою крокового двигуна з можливістю зміни швидкості обертання.

По результатам отриманих знімків методом статистичної обробки даних здійснюється визначення СКВ світлової мікроплями, визначається її RMS та положення центроїду.

Умови проведення експерименту.

- Розмір кадру: 800×600 пікселів
- Час накопичення сигналу: 5000мкс, 10000 мкс
- Максимальний рівень сигналу 250 одиниць з 255 можливих
- Вибірка 1, 10,20...100
- Поріг відсікання шумового сигналу 70.

В таблиці 1 приведено зовнішній вигляд знімків із застосуванням профілограми їх поперечного перетину.

Таблиця 1

Час накоп. мкс	U_{max}	U_{Σ}	Обертання	Профіль кадру
1	2	3	4	5
5000	216	382558	Відсутнє	
5000	96	130245	Присутнє	

1	2	3	4	5
10000	213	371019	Відсутнє	
10000	96	111955	Присутнє	

Отримані дані профілограм (див табл.1) свідчать про збільшення рівномірності поверхні гаусоїди освітленості в плямі від лазера, за умови використання в якості елемента руйнування обертаючої пластини. При збільшенні швидкості обертання – рівномірність кривої збільшується і відповідно збільшується середнє значення RMS.

Висновки

Отриманий графік СКВ показує його лінійну залежність від рівня освітленості фотоприймача, та нормальний розподіл шуму на фотоприймачі.

Точність визначення світлового центру координат мікроплями на фотоприймачі лежить в межах допустимої похибки визначення та суттєво не впливає на достовірність отриманих вихідних даних.

Показано, що значний вплив на точність визначення мінімум RMS чинить негативний вплив спеклів лазерного випромінювання та запропоновано метод їх руйнування. Застосування такого методу дає змогу зменшити вплив спеклів та підвищити точність вимірювання.

Проведені дослідження показують принципову можливість здійснення вимірювань довжини фокусної області ока та його первинних аберацій запропонованим методом та відповідним апаратним засобом.

Запропонований метод «руйнування» спеклів від лазерного випромінювання дає змогу отримати рівномірну освітленість фотоприймача та підвищити точність визначення RMS світлової мікроплями.

Література

1. Сергиенко Н.М. Глубина фокуса в псевдофакических глазах / Н.М. Сергиенко, Ю.Н. Кондратенко, Н.Н. Тутченко // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. -2008. - №11. – С.1623-1627.
2. Чиж І.Г. Метод і пристрій для аналізу фокусної області ока людини / І.Г. Чиж, О.О. Голембовський // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2013. – № 2. – С. 140-146.
3. Пат. України на корисну модель № 74751 Офтальмологічний рефрактометр. Чиж І.Г., Голембовський О.О., Шиша Т.О. Опуб. Бюл. № 1 від 26.11.2012. – 2012. – 5С.
4. Чиж І.Г. Метод визначення аметропії та довжини фокусної області ока людини / І.Г. Чиж, О.О. Голембовський // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2014. – № 1. – С. 93–99.

References

1. Sergienko N.M., Kondratenko Y.N., Tutchenko N.N. Glubina fokusa v psevdofakicheskikh glazah / N.M. Sergienko, Y.N. Kondratenko, N.N. Tutchenko // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. -2008. - №11. – С.1623-1627.
2. Chizh I.G., Holembovskiy O.O. Metod i pristryi dlia analyzy fokusnoi oblasti oka lydunu, Naukovi visti NTUU "KPI". 2013. – № 2. – С. 140-146.
3. Chizh I.G., Holembovskiy O.O. Shisha T.O.. Oftalmologichnyi refractometr // Patent Ukrainu na korusny model, № 74751, Опуб. Бюл. № 1 від 26.11.2012. – 2012. – 5С.
4. Chizh I.G., Holembovskiy O.O. Metod vuznachenya ametropii ta dovjinu fokusnoi oblasti oka lydunu // Naukovi visti NTUU "KPI". 2014. – № 1. – С. 93–99.

УДК621.37:538.956

А.О. ТУРОВСЬКИЙ, Ю.Ф. ЗІНЬКОВСЬКИЙ, Ю.К. СИДОРУК

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО ОПРОМІНЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ

У роботі запропоновано принцип побудови пристроїв електромагнітного опромінення сипучих матеріалів, що передбачає багаторазове проходження енергії через оброблюваний матеріал, завдяки чому досягається формування рівномірного розподілу електромагнітного поля у камері із сипучим матеріалом для його обробки. Розроблено два методи формування розподілу електромагнітного поля у камері обробки, які реалізовано у моделях зустрічнорефлекторної та роторефлекторної камер. Для зменшення рівня стоячої хвилі у сировині забезпечено ортогональне повертання площини поляризації хвилі та просторове складання хвиль від несинхронізованих між собою джерел. Відповідно до запропонованого принципу розроблені комп'ютерні моделі, за якими виконано їх моделювання, та приведено результати розрахунку.

Ключові слова: електромагнітне поле, формування, опромінення, рівномірність поля, сипучі матеріали, надвисокі частоти, багатократне проходження хвиль, камера обробки.

A.O.TUROVSKYY, YU. F. ZINKOVSKYY, YU.K. SYDORUK

National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute"

METHODS OF EFFECTIVE EXPOSURE OF DIELECTRIC MATERIAL WITH ELECTROMAGNETIC FIELD

In the paper, the principles of construction of devices for bulk materials treatment with electromagnetic field in order to form a uniform distribution of the electromagnetic field in the processing chamber, based on multiple energy passing through the material, are proposed. Two methods of forming of the electromagnetic field distribution in the processing chamber, implemented in the designed chambers, are developed. In order to reduce the standing wave ratio the rotation of the polarization plane is provided. In order to reduce the standing wave ratio in the material the orthogonal rotation of the wave polarization plane and spatial summation of waves from unsynchronized sources are proposed. In accordance with the proposed principles, the numerical models are developed and the simulation results of the calculated field profiles distribution are given.

Keywords: electromagnetic field, forming, irradiation, uniform field, bulk materials, microwaves, multiple passing of waves, processing camera.

Стан проблеми

Формування розподілу електромагнітного поля (ЕМП) надвисоких частот (НВЧ) в об'ємі оброблюваного матеріалу є важливою задачею при побудові пристроїв опромінення діелектричних матеріалів з метою, наприклад, опромінення аграрної сировини (зерна, насіння), спікання композитів у промисловості, при гіпертермії у медицині тощо.

Основним елементом усіх пристроїв для електромагнітного опромінення сипучої сировини є робоча камера, у якій розташовуються випромінювачі енергії, і через яку пропускається сировина для обробки. Залежно від побудови робочої камери і поширення ЕМ-енергії їх конструкції можна розділити на резонаторні, камери з біжучою хвилею та камери, у яких енергія до середовища підводиться шляхом вільного випромінювання. У свою чергу залежно від характеру розподілу поля у камері можна виділити одномодові та багатомодові робочі камери. Принциповою характеристикою камер зі стоячою хвилею є значна нерівномірність розподілу поля внаслідок створення режиму стоячої хвилі. Це в свою чергу призводить до нерівномірного нагріву сировини.

Для різних задач, що вирішуються за допомогою опромінення сипучих матеріалів електромагнітним полем НВЧ, одним із основних показників якості процесу є рівномірність нагрівання оброблюваного матеріалу [1, 2]. Можна вважати, що температура у кожній точці опроміненого матеріалу визначається безпосередньо щільністю потоку енергії ЕМ-поля, як єдиного стороннього джерела енергії, та електрофізичними параметрами матеріалу [3]. Рівномірність розподілу температури має ключове значення при опроміненні сировини. Для визначення температурного профілю у оброблюваному матеріалі необхідна інформація про розподіл ЕМ-енергії по об'ємі оброблюваного матеріалу. При цьому забезпечуючи рівномірність поля у камері обробки важливим є збереження високої ефективності процесу з низьким рівнем втрат на відбивання та розсіювання енергії стінками пристрою. При цьому залежно від нерівномірності розподілу напруженості електричного поля по камері обробки, у якій розміщений продукт, розподіл температури продукту характеризується дисперсією σ^2 . Відповідно, для недопущення перегріву сировини вище допустимої температури t_{max} , середня температура продукту не повинна перевищувати $(t_{max} - \sigma)$.

Методи підвищення рівномірності обробки

При традиційному підході до проектування камери опромінення сипучих матеріалів, відповідно до якого електромагнітна хвиля (ЕМХ) один раз проходить крізь шар сировини, після чого розсіюється на стінках або інших елементах установки ([4]), одночасне забезпечення високої ефективності поглинання енергії хвиль і високої рівномірності розподілу напруженості електричного поля в камері є суперечливими вимогами. Це пов'язано з тим, що забезпечення високої енергоефективності пристрою потребує збільшення

товщини шару матеріалу для ефективного затухання хвилі, при цьому рівномірність поля буде погіршуватись внаслідок згасання хвилі (рис.1, а). Відповідно, важливою задачею є забезпечення рівномірного розподілу щільності ЕМПу об'ємі сировини при збереженні високої ефективності поглинання підведеної енергії.

Для підвищення ефективності поглинання енергії ЕМП необхідно забезпечувати умови, щоб хвиля, потрапляючи у камеру обробки, проходила через неї кілька разів, віддаючи свою енергію. Покращити ефективність можна, якщо забезпечити відбивання ЕМХ від протилежної стінки, що, однак, викличе утворення стоячої хвилі (рис.1, б) [5]. Для зниження рівня стоячої хвилі авторами запропоновано використовувати відбивач із повертанням площини поляризації хвилі (роторефлектор), що дає можливість енергетичного складання падаючої і відбитої хвиль та знизити рівень інтерференції.

Розроблений авторами метод багатократного проходження хвиль, як альтернатива використання резонаторних камер, реалізується на основі зустрічно рефлекторного або роторефлекторного принципів побудови камери обробки [6, 7].

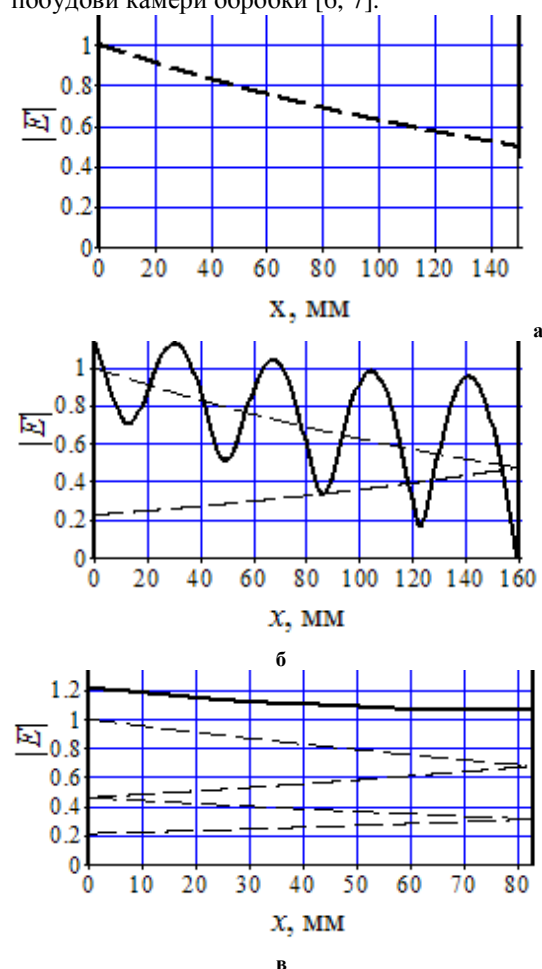


Рис 1. Затухання хвилі у шарі сировини, $\epsilon=2,65$, $\text{tg}\delta=0,11$.

— Сумарна хвиля,
 ---- Падаюча хвиля

дозволяє певним чином вирівняти профіль розподілу поглинутої у ньому енергії. Однак певну проблему для описаної конфігурації становить те, що відбита від протилежного ПД хвиля є поляризованою у тій же площині, що й падаюча, і, на жаль, сприятиме підвищенню коефіцієнта стоячої хвилі вздовж напрямку її поширення, а, відповідно, і нерівномірному розподілу потужності енергії у матеріалі.

Роторефлекторний принцип реалізується моделлю рис. 2, б. Принциповою відмінністю від попередньої моделі тут є ефект зміни площини поляризації поля завдяки використанню роторефлектора (трансполіризаційного відбивача) 4. Переваги такої моделі полягають у тому, що випромінена решіткою 1 хвиля, вільно пройшовши крізь ПД, проходить камерою обробки 2 віддаючи частину енергії, після чого відбивається від роторефлектора 4, який повертає площину поляризації хвилі на 90° ; як наслідок, при другому проходженні хвилі крізь матеріал не утворюється стояча хвиля, оскільки хвилі, що поширюються у протилежних напрямках, поляризовані у ортогональних площинах. Після другого проходження хвилі осі поляризації її та ПД 3 є взаємно паралельними, і хвиля відбивається назад, проходить камерою обробки, набуває початкової поляризації і ще раз проходить камерою обробки. Такий підхід при правильному виборі товщини шару матеріалу та відстаней між іншими елементами дає змогу значно зменшити нерівномірність розподілу поля (рис. 1, в).

Зустрічно-рефлекторний принцип побудови камери опромінення сипучих діелектричних матеріалів базується на основі моделі камери, зображеної на рис. 2, а, і полягає у тому, що камера з матеріалом опромінюється з протилежних боків джерелами ЕМ енергії, площини поляризації яких взаємно перпендикулярні. Вздовж верхньої та нижньої екрануючих стінок розміщені решітки випромінювачів 1а та 1б, які для зменшення рівня взаємодії поляризовані у ортогональних площинах і відділені від камери обробки 2 узгоджувальними пластинами б, призначенням яких є зниження рівня відбитих хвиль. Паралельно до узгоджувальних пластин розміщені поляризаційні дзеркала (ПД) 3, осі поляризації яких співпадають з поляризацією прилеглих до них випромінювачів. ПД являють собою систему паралельних провідників, що виконують функцію поляризаційного фільтра, пропускаючи хвилі, площина поляризації яких ортогональна до їх осі поляризації. Завдяки тому, що протилежні випромінювачі мають взаємно ортогональну поляризацію, ЕМ-енергія, пройшовши шаром матеріалу, відбивається від протилежного ПД і проходить повторно крізь матеріал, частково вирівнюючи профіль розподілу поля та знижуючи величину непоглинутої енергії, що розсіюється на елементах камери.

Сутність представленої моделі полягає у тому, що випромінена джерелом 1 хвиля вільно проходить крізь прилегле до випромінювача ПД, оскільки площина її поляризації перпендикулярна осі поляризації дзеркала, проникає у камеру обробки і віддає їй частину енергії, а пройшовши товщу матеріалу і вийшовши за її межі, хвиля відбивається від протилежного ПД, поширюється у зворотному напрямі, повторно проходячи крізь матеріал. Таким чином, в описаній моделі електромагнітна хвиля двічі проходить крізь оброблюваний матеріал, що

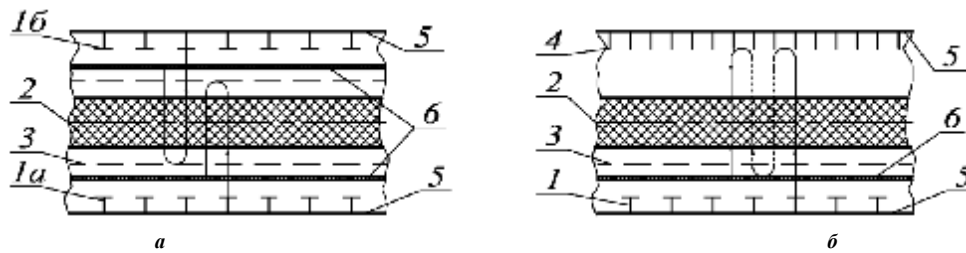


Рис 2. Моделі камер опромінення

Основна проблема робочих камер з плоскопаралельним розташуванням її елементів (див рис. 2) полягає у складності забезпечення рівномірного розподілу напруженості поля у центральній та периферійній частинах внаслідок спадання напруженості електричного поля на краях камери.

Для подолання цієї проблеми доцільно використовувати робочу камеру (рис. 2), виконану у формі циліндра, як наслідок, принципова нерівномірність опромінення матеріалу залишається лише вздовж його осі, що не створює значних проблем, оскільки весь матеріал у поперечному перетині камери обробки при цьому може опромінюватися з однаковою інтенсивністю.

Моделі, що відповідають запропонованим технічним рішенням, зображені на рис. 3. Запропоновано також метод підвищення рівномірності поля по перетину камери обробки, що пов'язаний з використанням циліндричної робочої камери, полягає у тому, що опромінюючи сировину хвилями від кількох частотно несинхронізованих незалежних джерел, у областях, що перебувають у зоні дії окремих випромінювачів, сумарний розподіл поля визначається як сума щільностей енергії, створених кожним джерелом, оскільки такі коливання накладатимуться без утворення інтерференції.

Згідно першої моделі (рис. 3, а) джерела електромагнітних хвиль 1 розміщуються навколо камери обробки 2 і представлені лінійними хвилеводними випромінювачами; взаємна поляризаційна розв'язка протилежних джерел забезпечується завдяки тому, що поляризація елементів випромінювання і поляризаційних дзеркал, розташованих по протилежні сторони камери обробки, орієнтовані під кутом 45° до осі структури і є взаємно ортогональними. Таким чином, хвиля, що пройшла крізь оброблюваний матеріал, відбивається від протилежної стінки поляризованого дзеркала і повторно опромінює об'єм камери обробки.

Для забезпечення високої щільності потоку енергії через оброблюваний матеріал і побудови установок більшої продуктивності запропонована модель, зображена на (рис. 3, б), яка за принципом функціонування еквівалентна плоско-паралельному варіанту (рис. 2, а), оскільки матеріал опромінюється з обох боків. Продуктивність такої установки може бути забезпечена на довільному рівні і визначається діаметром структури.

Суттєвого підвищення рівномірності напруженості електричного поля у камері обробки можна досягнути за допомогою моделі, приведеної на рис. 3, в, яка є циліндричним аналогом плоскої роторефлекторної камери (рис. 2, б).

Суттєвою перевагою таких конструкцій є можливість реалізації модульного підходу до проектування, за якого окремі модулі можуть з'єднуватися у одну систему, забезпечуючи необхідну продуктивність.

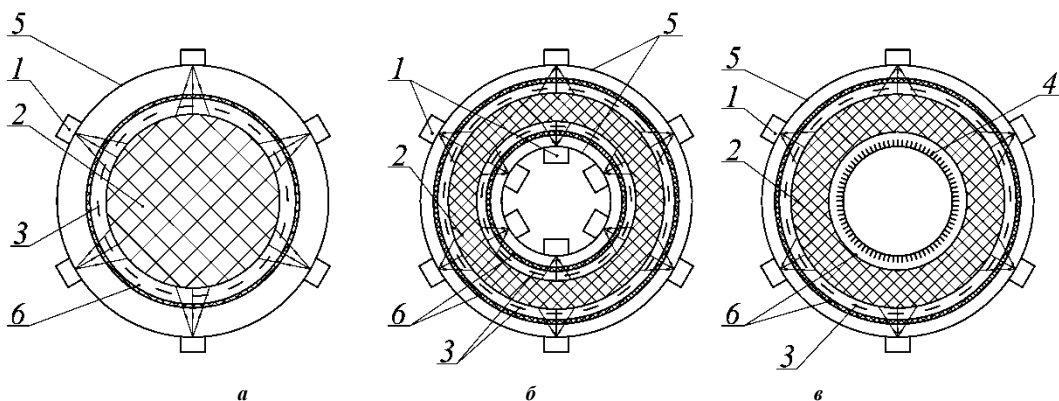


Рис 3. Моделі циліндричних камер опромінення сипучих матеріалів електромагнітним полем.

1 — лінійний опромінювач, 2 — оброблюване середовище, 3 — поляризаційне дзеркало, 4 — роторефлектор, 5 — зовнішній екран, 6 — узгоджувальна стінка

Моделювання розроблених структур

З метою дослідження і перевірки запропонованих ідей виконувалось комп'ютерне моделювання розроблених моделей та аналіз отриманих результатів. Моделювання виконувалось у середовищі HFSS [8]. Моделі робочих камер відповідно до ескізних моделей (див. рис. 3, а, б) розроблені у середовищі HFSS і зображені на рис. 4, а, б. Зустрічнорефлекторна модель (рис. 4, а) сформована n -гранником 1, кожна грань якого представляє широку стінку прямокутного хвилеводу з виконаними на ній щілинами 2. Живлення

щілин здійснюється синфазно і з однаковими амплітудами. Збудження щілин забезпечено виконанням на їх поверхні хвилеводних портів (*waveport*), потужністю живлення яких забезпечується необхідний розподіл поля вздовж випромінювача. В центрі робочої камери 1 паралельно до її стінок розташована циліндрична камера опромінення 3, діелектричні характеристики матеріалу якої відповідають еквівалентним властивостям матеріалу, що підлягає опроміненню. Камера опромінення оточена циліндричною діелектричною узгоджувальною стінкою 4, на зовнішній поверхні якої нанесене поляризаційне дзеркало 5 у вигляді спіралеподібної сітки, провідники якої орієнтовані під кутом 45° до осі камери.

Модель роторефлекторної камери з виконаним діаметральним перетином зображена на рис. 4, б; зовнішні стінки камери 1 утворюють n -гранник, на бокових гранях якого розташовані випромінювальні щілинні решітки 2. Матеріал, що підлягає обробці, знаходиться у порожнистій циліндричній камері 3, в центрі якої розташований циліндричний роторефлектор 6. Пластини роторефлектора орієнтовані перпендикулярно до осі камери, а вісь поляризації поляризаційного дзеркала співпадає з поляризацією випромінювальних щілин, таким чином, при відбитті ЕМХ від роторефлектора відбувається повертання площини її поляризації на 90° . Оскільки опромінення виконується одночасно всіма випромінювачами, картина розподілу інтенсивності поля по перетину сировини ідентична для усіх ділянок оброблюваного матеріалу в межах усіх секторів робочої камери, що спираються на стінку n -кутника з випромінювачем, тому аналіз поля виконувався для одного сектора як частини камери обробки.

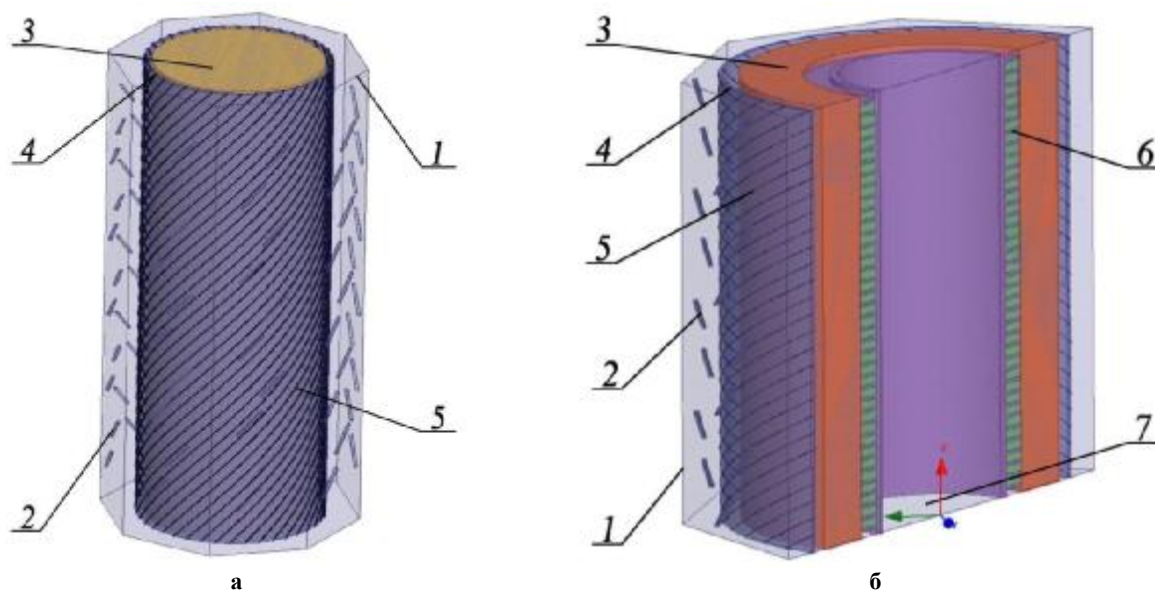


Рис. 4. Моделі зустрічнорефлекторної (а) та роторефлекторної (б) робочих камер

Так як живлення випромінювачів здійснюється від окремих не синхронізованих між собою генераторів НВЧ коливачів, а діючим фактором на оброблюване середовище є не миттєве значення напруженості поля, а його середнє значення [9], то це дає можливість розраховувати інтенсивність електромагнітного поля у камері опромінення шляхом скалярного складання інтенсивностей (щільностей енергії) поля, створених кожним випромінювачем. Відповідно, модуль напруженості електричного поля, створеного N випромінювачами, розташованими навколо робочої камери, у певній точці M у камері обробки, визначається виразом

$$|E(M)| = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_a} |E_n(M)|^2},$$

де $E_n(M)$ — напруженість електричного поля у точці M , створеного випромінювачем з номером n , N_a — кількість граней з опромінювачами у робочій камері.

Діаметр камери опромінення визначався з огляду на інтенсивність затухання хвилі у матеріалі, що її заповнює, і кількість опромінювачів навколо камери обробки так, щоб сумарна інтенсивність поля в центрі камери була близькою до інтенсивності поля на периферії камери опромінення. Як об'єкт обробки розглядався матеріал із відносною діелектричною проникністю $\epsilon_r=2,65$ і тангенсом кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta=0,11$, що відповідає зерну пшениці з вологістю 14% [10].

Визначальною характеристикою рівномірності обробки є розподіл інтегральної поглинутої енергії по площі перетину сировини після проходження нею вздовж камери обробки (або одного її періоду). Нерівномірність вказаного розподілу характеризується коефіцієнтом нерівномірності σ_r , який визначається як відносне (відносно середнього) стандартне відхилення дискретного розподілу щільності енергії поля P_i :

$$\sigma_r = \frac{1}{P} \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (P_i - \bar{P})^2}{N}}$$

де \bar{P} — його математичне очікування, N — кількість точок, у яких досліджувалася щільність енергії поля.

Опромінення зустрічорефлекторної робочої камери відбувалося вісьмома розташованими навколо щільними решітками, роторефлекторна камера містила дванадцять випромінювачів. Діаметр камери з сировиною у зустрічорефлекторній моделі становив 300 мм, для роторефлекторної моделі зовнішній діаметр становив 600 мм, внутрішній — 400 мм; для усіх випадків випромінювачі розташовувались на відстані 100 мм від поверхні сировини. Результати моделювання електромагнітного поля у зустрічорефлекторній та роторефлекторній камерах обробки приведені на рис. 5, а, б, де відповідно показані нормовані профілі розподілу інтегральної поглинутої сировиною енергії. На рис. 5, б приведений профіль розподілу для одного сектора з центральним кутом, рівним $360^\circ/12$.

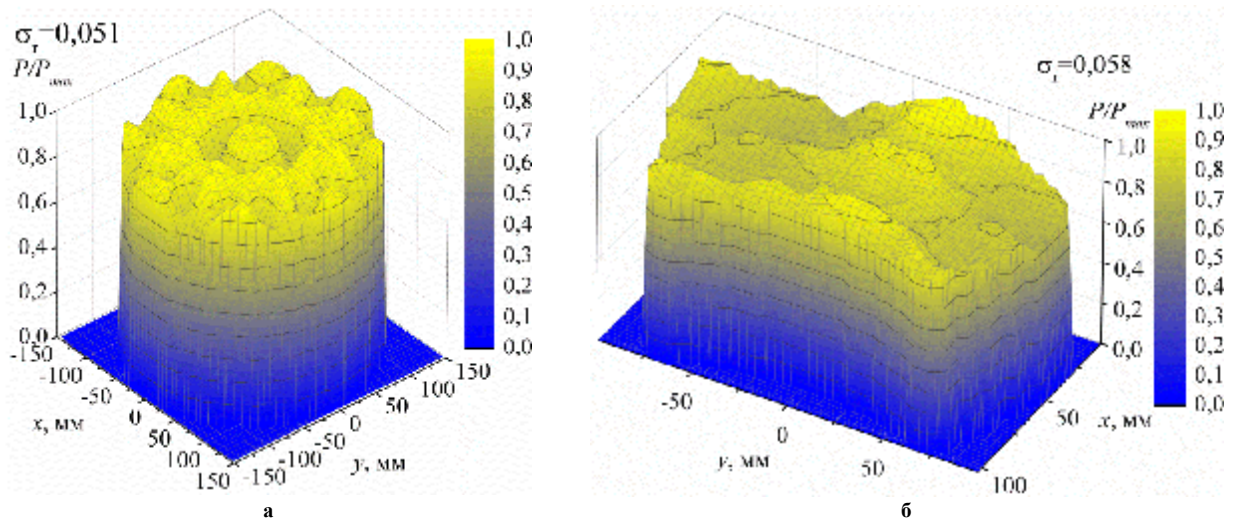


Рис.5. Нормований розподіл щільності енергії

Значення коефіцієнта відбиття енергії R_p випромінювача і коефіцієнт нерівномірності щільності енергії у зустрічорефлекторній та роторефлекторній камерах наведені відповідно у табл. 1 і табл. 2., звідки видно, що роторефлекторна камера характеризується вищою, порівняно з зустрічорефлекторною, стійкістю характеристик при варіюванні параметрів оброблюваної сировини.

Таблиця 1

Коефіцієнт відбиття і нерівномірності щільності енергії поля для зустрічно рефлекторної камери

F, ГГц	2,39	2,51	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
e_r ; tgd	2,65; 0,11	2,65; 0,11	2,4; 0,08	2,65; 0,11	2,65; 0,15	3,1; 0,11	3,1; 0,15
R_p	0,08	0,045	0,086	0,057	0,084	0,113	0,12
s_r	0,089	0,065	0,085	0,052	0,12	0,079	0,12

Таблиця 2

Коефіцієнт відбиття і нерівномірності щільності енергії поля для роторефлекторної камери

F, ГГц	2,39	2,51	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
e_r ; tgd	2,65; 0,11	2,65; 0,11	2,4; 0,08	2,65; 0,11	2,65; 0,15	3,1; 0,11	3,1; 0,15	3,5; 0,18
R_p	0,062	0,04	0,068	0,048	0,067	0,084	0,1	0,12
s_r	0,046	0,047	0,058	0,047	0,061	0,051	0,068	0,082

Висновки

Запропонований принцип побудови пристроїв опромінення сипучих матеріалів з багаторазовим проходженням електромагнітної енергії через оброблюваний матеріал забезпечує значне підвищення рівномірності поля у камері обробки порівняно із резонаторними структурами. Побудова циліндричних камер обробки за зустрічорефлекторним і роторефлекторним принципами дає змогу досягнути нерівномірності розподілу щільності енергії по поперечному розподілу камери обробки в межах 6%, при цьому роторефлекторна камера допускає варіювання діелектричної проникності сировини на 10—15%, зустрічорефлекторна — не більше 5%.

Виконані дослідження за приведеними моделями показали, що роторефлекторна камера

характеризується вищою стабільністю характеристик при зміні параметрів оброблюваної сировини. Так, у діапазоні діелектричної проникності ϵ_r від 2,4 до 3,1 і тангенса кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ від 0,08 до 0,15 коефіцієнт нерівномірності щільності енергії у роторефлекторній камері змінюється в межах 0,047...0,082, а у зустрічорефлекторній — 0,052...0,12, коефіцієнт відбиття енергії випромінювача при цьому знаходився у межах 0,04...0,084 і 0,045...0,12 відповідно.

Література

1. Лыков А.В. Теория сушки. Изд. 2-е, перераб-е и доп-е. — М.: Энергия, 1968. — 472 с., с илл.
2. Nathazi F. I. Solution for using the microwave energy in order to improve the quality for agricultural seeds. generation and processing microwave system / F.I. Nathazi, V.D. Soproni, M.N. Arion et al. // Journal of Electrical and Electronics Engineering. — 2009. — № 1. — p. 56—59.
3. Kent S. Microwave heating of dielectric lossy objects / S. Kent, E. F. Kent // JMPEE. — 2002. — Vol. 37. — No.2. — P. 63—71.
4. Пат. 4468865 США, МПК А23L 3/54. Cold air microwave drying apparatus [Text] / Inagaki M. — № 06/304985; заяв. 23.09.1981; опубл. 4.09.1984.
5. Патент України 97763. Установка для передпосівної обробки насіння електромагнітним полем надвисоких частот / Сидорук Ю.К.; заяв 01.03.2011, опубл. 12.03.2012, Бюл.№ 5, 2012 р.
6. Патент України 65629 Н05В 6/64. Мікрохвильовий пристрій для передпосівної обробки насіння, сушіння зерна та інших сипучих матеріалів / Сидорук Ю.К.; заяв. 20.05.2011, опубл. 12.12.2011, Бюл.№ 23, 2011 р.
7. Патент України на корисну модель 93402, (2014.01): a01c 1/00, f26b 3/34 (2006.01), h05b 6/64 (2006.01). Пристрій для сушіння і обробки зерноподібних матеріалів електромагнітним полем надвисоких частот / Ю.Ф. Зінковський, А.О. Туровський. — № U201405106; заявл. 14.05.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. № 18/2014.
8. Банков С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С.Е. Банков, А.А. Курушин. — М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. — 256 с.
9. Юсупова Г.Г. Методология комплексной системы обеззараживания зерна и продуктов его переработки: дис. ...докт. техн. наук: 03.00.16 / Г.Г. Юсупова. — Красноярск, 2004. — 239 с.
10. Nelson S. O. Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials / S. O. Nelson // J. of Food Engineering. — 1994. — Vol. 21. Pp. 365—384.

References

1. Lykov A.V. Teoriya sushki. Izd. 2-e, pererab-e i dop-e. — M.: Energiya, 1968. — 472 s., s ill.
2. Nathazi F. I. Solution for using the microwave energy in order to improve the quality for agricultural seeds. generation and processing microwave system / F.I. Nathazi, V.D. Soproni, M.N. Arion et al. // Journal of Electrical and Electronics Engineering. — 2009. — № 1. — p. 56—59.
3. Kent S. Microwave heating of dielectric lossy objects / S. Kent, E. F. Kent // JMPEE. — 2002. — Vol. 37. — No.2. — P. 63—71.
4. Pat. 4468865 SSHA, MPK A23L 3/54. Cold air microwave drying apparatus / Inagaki M. — № 06/304985; zayav. 23.09.1981; opubl. 4.09.1984.
5. Patent Ukrainy 97763. Ustanovka dlia peredposivnoi obrobky nasinnia elektromahnitnym polem nadvysokykh chastot / Sydoruk Iu.K.; zaiav 01.03.2011, opubl. 12.03.2012, Biul.№ 5, 2012 r.
6. Patent Ukrainy 65629 H05B 6/64. Mikrohvylovyi prystrii dlia peredposivnoi obrobky nasinnia, sushinnia zerna ta inshykh sypuchykh materialiv / Sydoruk Iu.K.; zaiav. 20.05.2011, opubl. 12.12.2011, Biul.№ 23, 2011 r.
7. Patent Ukrainy na korysnu model 93402, (2014.01): a01c 1/00, f26b 3/34 (2006.01), h05b 6/64 (2006.01). Prystrii dlia sushinnia i obrobky zernopodibnykh materialiv elektromahnitnym polem nadvysokykh chastot / Iu.F. Zinkovskyi, A.O. Turovskyi. — № U201405106; zaiavl. 14.05.2014; opubl. 25.09.2014. Biul. № 18/2014.
8. Bankov S.E. Raschet antenn i SVCH struktur s pomoshch'yu HFSS Ansoft / S.E. Bankov, A.A. Kurushin. — M.: ZAO «NPP «RODNIK», 2009. — 256 s.
9. YUsupova G.G. Metoda logiya kompleksnoy sistemy obezzarazhivaniya zerna i produktov ego pererabotki: dis. ...dokt. tekhn. nauk: 03.00.16 / G.G. YUsupova. — Krasnoyarsk, 2004. — 239 s.
10. Nelson S. O. Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials / S. O. Nelson // J. of Food Engineering. — 1994. — Vol. 21. Pp. 365—384.

Рецензія/Peer review : 27.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.10.2015 р.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КРУТНОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ НЕПЕВНОСТІ

Запропоновано метрологічне забезпечення вимірювань крутного моменту, що дозволяє виконувати оцінювання характеристик точності вимірювань з урахуванням концепції непевності вимірювань та встановлювати (коригувати) інтервал між метрологічними перевірками.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, крутний момент, непевність вимірювань, характеристики точності.

O. M. VASILEVSKYI
Vinnitsia National Technical University

METROLOGICAL ASSURANCE OF MEASUREMENTS TORQUE ELECTRIC MOTORS BASED ON THE CONCEPT OF UNCERTAINTY

A metrological assurance of measurement torque, allowing for evaluation of performance measurement accuracy based on the concept of uncertainty of measurement and set (adjust) the interval between inspections metrological.

Keywords: metrological assurance, torque, uncertainty of measurement, accuracy characteristics.

Вступ

При поданні результатів вимірювань потрібно зазначати кількісне значення якості експерименту так, щоб можна було порівняти їх з іншими результатами виконаними різними лабораторіями у різних країнах світу [1 - 4]. Тому під час наукових дослідження якості результатів вимірювань доцільно використовувати прийняту міжнародними організаціями з метрології та стандартизації концепцію непевності. Крім того, на сьогоднішній день не запропоновано методики визначення міжповірного інтервалу засобів вимірювання (ЗВ) з урахуванням концепції непевності, яка б відповідала міжнародним вимогам до оцінювання характеристик якості вимірювань. Розробка метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту електродвигунів (ЕМ) на основі концепції непевності, що дозволить встановлювати (або коригувати) міжкалібрувальні (міжповірочні) інтервали ЗВ *актуальною науковою проблемою*, вирішення якої дозволить забезпечити єдність вимірювань.

Отже, *метою статті* є створення метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту ЕМ та розробка на його основі методики визначення міжповірного інтервалу з урахуванням концепції непевності, а також апробація запропонованих теоретичних підходів під час виконання робіт з метрологічної атестації ЗВ крутного моменту ЕМ.

Аналіз стану досліджень та публікацій

В літературних джерелах [1 - 4] розглядаються способи оцінювання та представлення непевностей вимірювань. Однак єдиного підходу до метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту ЕМ із встановленням міжповірного інтервалу на основі концепції непевності в існуючих літературних джерелах не існує. Тому доцільно запропонувати і описати методику оцінювання непевності вимірювань крутного моменту із встановленням міжповірного інтервалу на прикладі метрологічної атестації ЗВ крутного моменту.

Викладення основного матеріалу

Рівняння перетворення ЗВ крутного моменту в статичному режимі роботи описується виразом

$$M_B = 4U_a^{-1} U_m^{-1} (2^m - 1)^{-1} R S_T U_o \Delta U N g l, \quad (1)$$

де U_m – напруга, якою живиться мостова схема сенсора зусилля ($U_m = 6,5 \text{ В} \pm 0,25 \text{ мВ}$); R – опір мостової схеми тензорезисторів ($R = 3,25 \pm 0,01 \text{ кОм}$); l – довжина вимірювального важеля, що з'єднує вал випробовуваного ЕМ із сенсором зусилля ($l = 1 \text{ м}$); ΔU – напруга на виході сенсора зусилля (вхідна напруга масштабного перетворювача); U_a – напруга на виході масштабного перетворювача (операційного підсилювача); k – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача ($k = U_a / \Delta U = 10^3$); S_T – чутливість сенсора зусилля; U_o – опорна напруга АЦП ($U_o = 3 \text{ В}$); m – розрядність АЦП ($m = 16$); N – кількість імпульсів на виході АЦП, що відповідає значенню вимірюваного моменту і виводиться на дисплей [5, 6].

Оскільки, до складових елементів ЗВ крутного моменту входить сенсор зусилля, тому доцільно оцінити складову непевності типу В, що вноситься сенсором зусилля за рахунок його обмежених властивостей, що обумовлені класом точності $\gamma = 0,15$ при дії максимального зусилля $Q_n = 20 \text{ кг}$ за формулою [5]

$$u_{C3} = \frac{\gamma Q_n}{\sqrt{12} 100\%} = 0,15\% \frac{20}{3,46 \cdot 100\%} = 8,67 \cdot 10^{-3} \text{ кг}. \quad (2)$$

Враховуючи те, що температура робочих умов застосування складових елементів ЗВ крутного моменту знаходиться в межах від + 15 до + 40 °С, тобто максимально можлива зміна температури складає Δt

$= 25 \text{ }^\circ\text{C}$. А із специфікації на масштабний перетворювач (операційний підсилювач), який є складовим елементом вимірювального каналу засиля, відомо, що дрейф напруги зміщення нуля операційного підсилювача складає $U_{3m} = 9 \text{ нВ}/^\circ\text{C}$, то теоретично можливу (максимальну) стандартну непевність типу В обумовлену дрейфом напруги зміщення нуля операційного підсилювача в припущенні про рівномірність закону розподілу оцінимо за формулою

$$u_{B,t} = \frac{k\Delta t}{\sqrt{12}} U_{3m} = 10^3 \frac{25}{3,46} 9 \cdot 10^{-9} = 65,03 \text{ мкВ.} \quad (3)$$

Непевність типу В, що обумовлена обмеженою розрядністю АЦП послідовного наближення, який підсумовує кількість імпульсів, що надходять від генератора тактових імпульсів (наявності зони нечутливості АЦП) $h = U_o / (2^m - 1)$, при опорному значенні напруги $U_o = 3 \text{ В}$ і розрядності $m = 16$, в припущенні про трикутний закон розподілу похибки квантування, визначимо за формулою

$$u_{B,m} = \frac{h}{\sqrt{24}} = \frac{U_o / (2^m - 1)}{\sqrt{24}} = \frac{3}{(2^{16} - 1)4,9} = 9,34 \text{ мкВ.} \quad (4)$$

Також із специфікації відомо, що допустиме відхилення напруги джерела живлення сенсора зусилля складає $\Theta_{Um} = \pm 0,25 \text{ мВ}$, а непевність типу В, що обумовлена таким відхилення напруги від номінального значення, в припущенні про його рівномірний розподіл, можна оцінити за формулою [18]

$$u_{B,\Theta u} = \frac{\Theta_{Um}}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 0,25}{\sqrt{3}} = 0,14 \text{ мВ.} \quad (5)$$

Оскільки, із технічної документації на сенсор зусилля відомо, що допустиме відхилення опору мостової схеми складає $\Theta_R = \pm 0,01 \text{ кОм}$, то непевність типу В, що виникає за рахунок невилученого залишку систематичного ефекту, пов'язаного з можливим відхиленням опору, складає

$$u_{B,R} = \frac{\Theta_R}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 10}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ Ом.} \quad (6)$$

Непевність типу В, що обумовлена температурною похибкою опору тензорезисторів при максимально можливій зміні температури оточуючого повітря $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ та відомому температурному коефіцієнту опору, що складає $\alpha_t = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, можна визначити на основі рівняння, яке виражає залежність опору від температури $R = R_0 \alpha_t \Delta t$, за формулою

$$u_{B,Rt} = \frac{\alpha_t |\Delta t|}{\sqrt{12}} R = 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{50}{3,46} 3,25 \cdot 10^3 = 117,41 \text{ мОм.} \quad (7)$$

Непевність типу В, що обумовлена наявністю невилученого систематичного ефекту пов'язаного із наявністю похибки визначення довжини вимірювального важеля, яка дорівнює $\Delta l = \pm 0,01 \text{ мм}$, складає

$$u_{B,l} = \frac{\Delta l}{\sqrt{12}} = \frac{\pm 0,01}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ мкм.} \quad (8)$$

Враховуючи складові непевностей типу В, що описуються рівняннями (2) – (8), комбіновану непевність типу В розрахуємо як позитивний квадратний корінь з комбінованої дисперсії типу В, що описується виразом

$$u_{Bc}^2 = \left(\frac{\partial M_B}{\partial Q} \right)^2 u_{c3}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial U_a} \right)^2 u_{B,t}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial m} \right)^2 u_{B,m}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial U_m} \right)^2 u_{B,\Theta u}^2 + \left(\frac{\partial M_B}{\partial R} \right)^2 [u_{B,R}^2 + u_{B,Rt}^2] + \left(\frac{\partial M_B}{\partial l} \right)^2 u_{B,l}^2, \quad (9)$$

де $\frac{\partial M_B}{\partial Q} = gl = 9,81 \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial U_a} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_m U_a (2^m - 1)} N = -3,33 \left(\frac{\text{Нм}}{\text{В}} \right)$;
 $\frac{\partial M_B}{\partial m} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_m (2^m - 1)^2} 2^m N \ln(2) = -6,93 \left(\frac{\text{Нм}}{\text{В}} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial U_m} = -\frac{4RS_T U_o gl}{kU_m^2 (2^m - 1)} N = -1,54 \left(\frac{\text{Нм}}{\text{В}} \right)$;
 $\frac{\partial M_B}{\partial R} = \frac{4S_T U_o gl}{kU_m (2^m - 1)} N = 3,08 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{Нм}}{\text{Ом}} \right)$; $\frac{\partial M_B}{\partial l} = \frac{4RS_T U_o g}{kU_m (2^m - 1)} N = 10(\text{Н})$ - коефіцієнти чутливості.

Підставляючи розраховані значення коефіцієнтів чутливості та стандартних непевностей типу В у рівняння (9), отримаємо значення комбінованої непевності типу В, що складає $u_{Bc} = 86,89 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$.

На основі проведених багаторазових вимірювань крутного моменту ЕМ отримано експериментальні

данні, що представлені в таблиці 1. На основі цих даних розраховується стандартна непевність типу А за формулою

$$u_A(\bar{M}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{(n-1)n}} = 19,27 \cdot 10^{-3} \text{ Нм.} \quad (10)$$

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№ п. п.	Значення моменту, Нм	№ п. п.	Значення моменту, Нм	№ п. п.	Значення моменту, Нм
1	10,09	8	10,18	15	10,04
2	10,11	9	10,06	16	10,05
3	10,05	10	9,849	17	10,03
4	10,07	11	9,908	18	9,879
5	10,13	12	10,07	19	10,11
6	10,08	13	9,919	20	10,06
7	10,12	14	10,11	21	9,964

На основі комбінованої непевності типу В та стандартної непевності типу А визначається комбінована непевність результату вимірювання крутного моменту за формулою

$$u_c = \sqrt{u_A^2(\bar{M}) + u_{Bc}^2} = 889,99 \cdot 10^{-4} \text{ Нм.} \quad (11)$$

Для розрахунку розширеної непевності вимірювання, що буде нормуватися в технічній документації на ЗВ крутного моменту, розраховується ефективне число ступенів вільності за формулою

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{u_c^4}{u_A^4(\bar{M})} = 20 \frac{88,99^4}{19,27^4} = 9100. \quad (12)$$

Скориставшись таблицею Стьюдента визначимо коефіцієнт охоплення k_p на основі значень ефективного числа ступенів вільності та довірчої ймовірності, яка прийнята рівною $P = 0,95$, що дорівнює $k_p = 1,96$.

Знаючи коефіцієнт охоплення та комбіновану непевність результату вимірювання, отримаємо розширену непевність, що нормується в технічній документації на ЗВ крутного моменту, яка складає

$$U_n = k_p u_c = 1,96 \cdot 889,99 \cdot 10^{-4} = 0,17 \text{ Нм.} \quad (13)$$

На основі виконаного оцінювання непевності вимірювання крутного моменту складаємо бюджет непевності, що наведений в таблиці 2. Ці складові невизначеностей вимірювань відповідають нормованим метрологічним характеристикам ЗВ крутного моменту, які прописуються в нормативних документах на ЗВ.

Для встановлення або коригування міжповірного інтервалу ЗВ, припустимо, що ЗВ крутного моменту експлуатується 7 годин на добу. Напрацювання даного ЗВ без метрологічних відмо складає 3500 годин. При такій інтенсивності експлуатації даного ЗВ – календарна тривалість експлуатації t відповідає 2-м календарним рокам.

Потім ЗВ передається в експлуатацію, і після деякого часу експлуатації, в реальних умовах експлуатації (за робочих температур) виконуємо перерахунок складових непевностей та розраховуємо експлуатаційну розширену непевність вимірювань крутного моменту за реальних умов експлуатації U_E .

Таблиця 2

Бюджет непевності вимірювання крутного моменту

Вхідні величини	Оцінка вхідних величин	Стандартні невизначеності	Коефіцієнти чутливості	Вклади невизначеностей
1	2	3	4	5
M_i	10,04 Нм	$19,27 \cdot 10^{-3}$ Нм	1	$u_A(\bar{M})$
γ	0,15	$8,67 \cdot 10^{-3}$ кг	$9,81 \text{ м}^2/\text{с}^2$	$gl u_{c3}$
U_{3M}	9 нВ/°С	130,06 мкВ	-3,33 Нм/В	$\frac{\partial M_B}{\partial U_a} u_{B,t}$
m	16	9,34 мкВ	-6,93 Нм/В	$\frac{\partial M_B}{\partial m} u_{B,m}$
Θ_{UM}	$\pm 0,25$ мВ	0,14 мВ	-1,54 Нм/В	$\frac{\partial M_B}{\partial U_M} u_{B,\Theta u}$

1	2	3	4	5
Θ_R	$\pm 0,01$ кОм	5,77 Ом	$3,08 \cdot 10^{-3}$ Нм/Ом	$\frac{\partial M_B}{\partial R} u_{B,R}$
α_t	$2,5 \cdot 10^{-6}$ К ⁻¹	117,41 мОм	$3,08 \cdot 10^{-3}$ Нм/Ом	$\frac{\partial M_B}{\partial R} u_{B,Rt}$
l	1 м	5,77 мкм	10 Н	$\frac{\partial M_B}{\partial l} u_{B,l}$
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Комбінована невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
\overline{M}	10,04 Нм	$88,99 \cdot 10^{-3}$ Нм	1,96	0,17 Нм

Оскільки робоча температура оточуючого повітря під час експлуатації складає $t_v = 25$ °С, атмосферний тиск та вологість знаходиться в допустимих межах, то непевність типу В, що вноситься за рахунок відхилення температури оточуючого середовища від нормальних умов $t_{н.у.} = 20$ °С при дрейфу напруги зміщення нуля операційного підсилювача $U_{зм} = 9$ нВ/°С, складатиме

$$u_{B,te} = \frac{k |t_{н.у.} - t_v|}{\sqrt{12}} U_{зм} = 10^3 \frac{|20 - 25|}{3,46} 9 \cdot 10^{-9} = 13,01 \text{ мкВ}. \quad (14)$$

Непевності типу В, що обумовлені:

- обмеженим класом точності сенсора зусилля (2) – залишається незмінним;
- обмеженою розрядністю АЦП залишається рівною значенню, що розраховане за формулою (4);
- відхиленням напруги живлення від номінального значення (5) – залишається незмінним;
- відхилення опору від номінального значення (6) – залишається незмінним;
- допустимим відхиленням точності визначення довжини вимірювального важеля (8) – залишається незмінним;
- температурною похибкою відхилення опору тензорезисторів при відхиленні робочої температури $t_v = 25$ °С від температури за нормальних умов $t_{н.у.} = 20$ °С, складе

$$u_{B,Rt} = \frac{\alpha_t |t_{н.у.} - t_v|}{\sqrt{12}} R = 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{|20 - 25|}{3,46} 3,25 \cdot 10^3 = 11,74 \text{ мОм}. \quad (15)$$

Підставивши перераховані непевності у рівняння (9), отримаємо значення комбінованої непевності типу В, що складає $u_{Bce} = 86,88 \cdot 10^{-3}$ Нм.

Комбінована непевність результату вимірювання крутного моменту в реальних умовах експлуатації складає

$$u_{ce} = \sqrt{u_A^2(\overline{M}) + u_{Bce}^2} = 889,91 \cdot 10^{-4} \text{ Нм}. \quad (16)$$

Для розрахунку експлуатаційної розширеної непевності за реальних умов експлуатації, перераховується ефективне число ступенів вільності, що складає

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \frac{u_{ce}^4}{u_A^4(\overline{M})} = 2 \frac{88,99^4}{19,27^4} = 910. \quad (17)$$

Коефіцієнт охоплення K_{2P-1} , що відповідає довірчій ймовірності 2P-1, тобто значенню ймовірності, що відповідає вірогідності метрологічної справності ЗВ в реальних умовах експлуатації (при $P = 0,95$, $2P - 1 = 2 \cdot 0,95 - 1 = 0,9$), визначимо із таблиці Стюдента за ефективним числом ступенів вільності $v_{\text{eff}} > 30$ та довірчою ймовірністю $P_e = 0,9$, який дорівнює $K_{2P-1} = 1,64$ [7].

Значення експлуатаційної розширеної невизначеності вимірювання U_E складає

$$U_E = k_{2P-1} u_{ce} = 1,64 \cdot 889,91 \cdot 10^{-4} = 0,15 \text{ Нм}. \quad (18)$$

На основі розрахованих під час первинної метрологічної атестації значень непевності та значенні експлуатаційної розширеної непевності за реальних умов експлуатації ЗВ оцінимо значення міжповірного інтервалу ЗВ крутного моменту.

Взявши за основу календарну тривалість експлуатації ЗВ $t = 2$ роки, першу оцінку міжповірного інтервалу T_1 ЗВ крутного моменту розрахуємо за формулою [7, 8]

$$T_1 = t \frac{\ln\left(\frac{U_E}{k_{2P-1} u_A(\overline{M})}\right)}{\ln\left(\frac{U_H}{k_P u_A(\overline{M})}\right)} = 2 \frac{\ln\left(\frac{0,15}{1,64 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}\right)}{\ln\left(\frac{0,17}{1,96 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}\right)} = 2,1 \text{ р}. \quad (19)$$

Другу оцінку міжперевірочного інтервалу ЗВ T_2 , в припущенні про симетричність загального закону розподілу ймовірності, розраховуємо за формулою

$$T_2 = t \frac{U_E - k_{2P-1} u_A(\overline{M})}{U_H - k_P u_A(\overline{M})} = 2 \frac{0,15 - 1,64 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}}{0,17 - 1,96 \cdot 19,27 \cdot 10^{-3}} = 1,79 \text{ р.} \quad (20)$$

На основі отриманих двох оцінок міжповірочних інтервалів ЗВ крутного моменту за нормоване значення міжперевірочного інтервалу приймаємо мінімальне значення між оцінками T_1 і T_2 , тобто

$$T_{ЗВ} = \min[T_1, T_2] = \min[2,1, 1,79] = 1,79 \text{ р.} = 21 \text{ міс.} \quad (21)$$

Нормоване значення міжповірочного інтервалу ЗВ доцільно вибирати в місяцях з ряду натуральних чисел [7, 8]: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 15; 18; 21; 24; 30 і так далі через 6 міс.

Таким чином, на основі проведених оцінок непевностей вимірювань крутного моменту, встановлено значення міжповірочного інтервалу ЗВ крутного моменту, що відповідає 21 місяцю.

Висновки

Запропоноване метрологічного забезпечення вимірювань крутного моменту дозволяє виконувати оцінювання характеристик точності вимірювань з урахуванням міжнародних стандартів до оцінювання якості вимірювань, забезпечує єдність вимірювань крутного моменту та дозволяє встановлювати або коригувати міжповірочні (міжкалібрувальні) інтервали ЗВ на основі концепції непевності вимірювання.

Література

1. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement». – Geneva (Switzerland): ISO. – 2009. – 32 p.
2. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – № 3 (7). – 2006. – С. 147–151.
3. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань: [підручник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, С. Т. Володарський. - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.
4. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». – Geneva (Switzerland): IEC. – 2007. – 54 p.
5. Васілевський О. М. Засіб вимірювання динамічного моменту електромоторів та аналіз його точності / О. М. Васілевський // Вимірювальна техніка та метрологія. - № 73. - 2012. - С. 52 – 56.
6. Васілевський О. М. Дослідження якості результатів вимірювань зусилля на основі концепції невизначеності // Вісник інженерної академії України. – Київ. – 2013. – № 3 – 4. – С. 229 – 232.
7. Vasilevskiy, O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 2014, 5.04: 403.
8. Васілевський О. М. Методика визначення міжповірочного інтервалу засобів вимірювання на основі концепції невизначеності / О.М. Васілевський // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 6. – С. 81-88.
9. Васілевський О. М. Метрологічна атестація засобу вимірювання моменту інерції електромоторів на основі міжнародних стандартів з оцінювання точності вимірювань / О. М. Васілевський // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – № 75. – С. 111 – 118.

References

1. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement». – Geneva (Switzerland): ISO. – 2009. – 32 p.
2. Vasilevskiy O. M. Algorithm evaluation of measurement uncertainty in the performance of metrological works / O. M. Vasilevskiy // Informatsiyini tehnologiyi ta kompyuterna ingeneriya. – № 3 (7). – 2006. – P. 147–151.
3. Vasilevskiy O. M. Fundamentals of the theory of uncertainty of measurement: [Tutorial] / O. M. Vasilevskiy, V. Y. Kucheruk, E. T. Volodarskiy. - Vinnitsa : VNTU, 2015. – 230 p. - ISBN 978-966-641-632-5.
4. IEC GUIDE 115-2007 «Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector». – Geneva (Switzerland): IEC. – 2007. – 54 p.
5. Vasilevskiy O.M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy / O. M. Vasilevskiy // Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. – 2012. – № 73. – pp. 52–56.
6. Vasilevskiy O.M. Research efforts as a result of measurement based on the concept of uncertainty / O. M. Vasilevskiy // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2013. – № 3–4. – pp. 229–232..
7. VASILEVSKYI, O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 2014, 5.04: 403.
8. Vasilevskiy O. M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty / O. M. Vasilevskiy // Tekhnichna elektrodynamika. – 2014. – № 6. – pp. 81 – 88.
9. Vasilevskiy O. M. Metrological certification of measuring the moment of inertia electric motors based on international standards of evaluation measurement accuracy / O. M. Vasilevskiy // Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. – 2012. – № 75. – pp. 111–118.

Рецензія/Peer review : 28.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.10.2015 р.

ВИСОКОЧАСТОТНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОЇ ЛАМПИ

Запропоновано динамічну модель люмінесцентної лампи при її високочастотному живленні. Модель подано у вигляді PSpice-сумісної імітаційної моделі та у вигляді диференціального імпедансу, який характеризує зв'язок між огинаючими високочастотних напруги і струму лампи. Модель призначена для імітаційного моделювання та аналізу стійкості високочастотних електронних пускорегулювальних апаратів, виконаних за замкнутою чи розімкненою структурами.

Ключові слова: високочастотне живлення, люмінесцентна лампа, диференціальний імпеданс, динамічна модель.

А.М. LUPENKO

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

HIGH-FREQUENCY DYNAMIC MODEL OF FLUORESCENT LAMP

Abstract - The dynamic model of fluorescent lamp operating at high frequency is considered. The model is presented as PSpice-compatible simulation model and in terms of lamp incremental impedance. The model parameters may be simply obtained from lamp dynamic V-A characteristics. The model can be useful for simulation and stability analysis of open and closed-loop high frequency lamp electronic ballast systems. The model is in a good agreement with experimental results.

Key words: high-frequency operation, fluorescent lamp, differential impedance, dynamic model.

Постановка проблеми. Сучасні високоякісні високочастотні електронні пускорегулюючі апарати (ЕПРА) для люмінесцентних ламп (ЛЛ) з регулюванням світлового потоку виконують за замкнутою структурою, в якій ЛЛ є об'єктом регулювання. Одним із основних питань побудови таких структур є забезпечення стабільної роботи комплексу ЕПРА – ЛЛ в умовах дії зовнішніх збурень та керуючих впливів. Для цього необхідно знати як передавальні функції як всіх структурних вузлів ЕПРА, так і ЛЛ як об'єкта регулювання. В пускорегулювальних апаратах ЛЛ є нелінійним і інерційним об'єктом регулювання. Тому створення моделі люмінесцентної лампи, яка б враховувала ефекти її нелінійності та інерційності є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі математичні моделі ЛЛ [1-3] у вигляді диференціальних рівнянь є безумовно важливими для опису фізичних процесів в ЛЛ, але надто громіздкими для практичного використання в процесі аналізу та проектування ЕПРА в комплекті з ЛЛ.

Значно простішою для проведення імітаційного моделювання є модель [4], що описує динамічні властивості ЛЛ у вигляді комплексного диференціального імпедансу, який характеризує зв'язок між огинаючими високочастотних напруги і струму лампи. Дана модель базується на представленні ЛЛ у вигляді елемента електричного кола з резистивним і інерційним характером. Але в цій моделі не враховано нелінійність динамічних вольт-амперних характеристик (ВАХ) лампи, що значно, більше ніж в два рази, занижує значення модуля комплексного диференціального імпедансу. Тому використання такої моделі дає велику має велику похибку, що зменшує її цінність при аналізі стійкості ЕПРА.

В роботі [5] запропоновано модель у вигляді диференціального імпедансу лампи, який отримано на основі врахування нелінійності ВАХ ЛЛ. При цьому для опису динамічної характеристики ЛЛ застосовано її параболічну апроксимацію. Тому модель [5] демонструє суттєво вищий ступінь адекватності, ніж модель [4]. Так у моделі [4] добре узгоджується з експериментом лише фазо-частотна залежність диференціального імпедансу, тоді як в моделі [5] добре узгоджуються як фазо-частотна, так і амплітудно-частотна залежності.

Однак, як показує порівняння експериментальних даних із теоретичними, наведеними в [5], є можливість підвищення точності моделі за рахунок застосування степеневі функції з показником степеня, відмінним від 2.

Метою роботи є удосконалення моделі ЛЛ як об'єкта керування в режимі малого сигналу на основі опису динамічної нелінійності ЛЛ степеневою функцією, що дасть змогу підвищити точність моделі та застосувати відомі методи теорії автоматичного керування для аналізу і проектування замкнутих структур ЕПРА в комплекті з ЛЛ.

Виклад основного матеріалу. На ділянці високочастотного (ВЧ) дугового розряду ВАХ ЛЛ поводить себе як резистор із від'ємним диференціальним опором. Опір ЛЛ залежить від діючого значення струму I лампи, тобто від її потужності. При зміні потужності ЛЛ в межах $(100 \div 30)\%$ від номінальної статичну ВАХ лампи із достатньою для практики точністю можна апроксимувати прямою лінією [4].

З аналізу динамічних ВЧ ВАХ люмінесцентних, наведених на рис.1, витікає, що в тому ж діапазоні потужностей і амплітудні значення напруги U_m та струму I_m , тобто огинаюча сімейства ВАХ також лежать на прямій лінії. Спрощено це показано на рис.2 у вигляді прямої AB . Нахил прямої визначається від'ємним диференціальним опором R_s лампи. Ця пряма задовільняє рівнянню:

$$I_m(R_{ек}+R_s)=U_{sm}, \quad (1)$$

де $R_{ек}=U_m/I_m$ - еквівалентний опір лампи при даній потужності ЛЛ, U_{sm} – напруга в точці перетину

апроксимаційної прямої AB із віссю напруг. Диференціальний опір R_s лампи визначається з ВАХ (рис.2):

$$R_s = \frac{U_{sm} - U_m}{I_m} = \operatorname{tg} b . \quad (2)$$

Прийmemo U_{sm} і R_s – за параметри ЛЛ. Для еквівалентного опор запишемо :

$$R_{ек} = \frac{U_{sm}}{I_m} - R_s = \operatorname{tg} a . \quad (3)$$

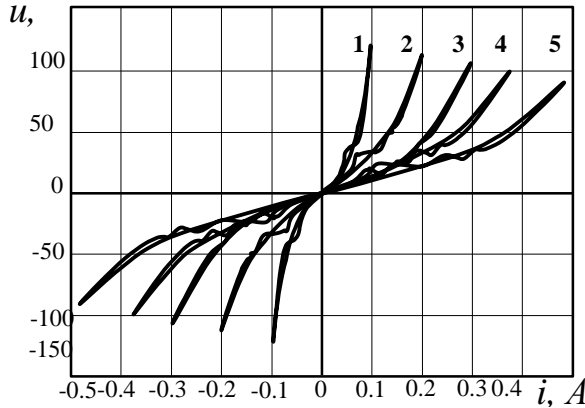


Рис.1. Динамічні ВАХ лампи PHILIPS TLD 18W/54 для п'яти потужностей: 1- 4,8 Вт, 2- 8,5 Вт, 3 – 12,5, 4 –15 Вт, 5 – 18 Вт

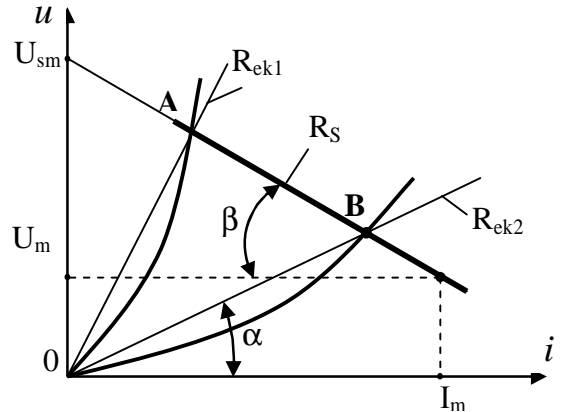


Рис.2. Апроксимація динамічних ВАХ ЛЛ: AB – огинаюча ВАХ; прямі OA, OB – ВАХ лінійної моделі; параболи OA, OB – ВАХ нелінійної моделі

Вважаючи лампу в області ВЧ в першому наближенні як лінійний об'єкт, її спрощені динамічні ВАХ можна зобразити прямими лініями OA, OB , нахил яких визначається опором $R_{ек}$. Однак, при цьому втрачаються нелінійні ефекти лампи. Для підвищення ступеня адекватності моделі лампи врахуємо нелінійність її динамічних ВАХ. Виходячи з розгляду різноманітних варіантів апроксимації ВАХ, наведеного в [6], можна вважати степеневу залежність між миттєвими значеннями напруги u і струму i компромісним варіантом стосовно точності та складності моделі, а саме:

$$|u| = k i^a , \quad (4)$$

де $|u|$ - модуль напруги u на лампі; k – апроксимаційний коефіцієнт, який є параметром лампи; a – показник степеневої апроксимаційної функції, який залежить від типу лампи і підлягає визначенню, причому $a > 1$.

Для амплітуди напруги на лампі запишемо співвідношення:

$$k I_m^a = R_{ек} I_m . \quad (5)$$

Враховуючи (3) - (5), запишемо вираз для коефіцієнта k :

$$k = \frac{R_{ек}}{I_m^{a-1}} = \frac{U_{sm} - I_m R_s}{I_m^a} . \quad (6)$$

Тоді динамічна ВАХ може бути описана виразом:

$$|u| = \frac{U_{sm} - I_m R_s}{I_m^a} i^a , \quad (7)$$

або

$$i = \operatorname{sign}(u) \left(\frac{(\sqrt{2}I)^a |u|}{U_{sm} - \sqrt{2}IR_s} \right)^{\frac{1}{a}} , \quad (8)$$

де I – діюче значення струму лампи.

Інерційні властивості ЛЛ на ВЧ, як і в роботі [5], враховуємо в імітаційній моделі шляхом введення інтегруючої RC -ланки, параметри якої визначаються, виходячи із часів релаксації в газовому розряді ЛЛ [7], або експериментальним шляхом (див. нижче). RC -ланка приймає участь у формуванні діючого значення струму. Слід вказати, що в такому підході є прихований дефект, пов'язаний із формуванням амплітуди струму I_m через діюче значення струму I у вигляді $I_m = \sqrt{2}I$, що є справедливим для синусоїдних струмів. Але при роботі ЛЛ на ВЧ цей дефект, враховуючи резонансні властивості інвертора, як показує порівняння результатів моделювання із експериментальними даними, незначно впливає на адекватність моделі.

Імітаційна модель лампи (рис.3) реалізована в середовищі PSpice системи схмотехнічного моделювання Мігросар-6. ЛЛ подано у вигляді функціонального генератора струму G1. Керуючий сигнал генератора G1 формується функціональними генераторами напруги E1, E2, E3. Генератор E1 формує

напругу, яка чисельно дорівнює квадрату миттєвого струму лампи i^2 . Ця напруга прикладена до інтегруючої RC-ланки, на виході якої для частот $\omega > 1/RC$ і часу $t > RC$ формується напруга U_p вузла **p**, яка чисельно дорівнює квадрату діючого значення струму лампи I^2 :

$$U_p = \frac{1}{T} \int_0^T [i(G1)]^2 dt. \tag{9}$$

На виході генератора напруги E2 (вузол **rms**) формується напруга, що чисельно дорівнює діючому значенню струму I . Генератор E3 формує напругу (вузол **I**) відповідно до виразу (8), чисельне значення якої присвоюється струму генератора G1. Струм генератора G1 відповідає миттєвому струму ЛЛ. В моделі (рис.3) ЛЛ використано параметри ЛЛ, визначені за динамічними ВАХ (рис.1), а саме: $U_{sm}=130V$ та $R_s=84$ Ом. Коефіцієнт $a=2,1$ визначено за експериментальними даними, які наведено нижче. На рис.4 показано результати моделювання динамічної ВАХ, які добре узгоджуються з результатами експерименту (рис.1).

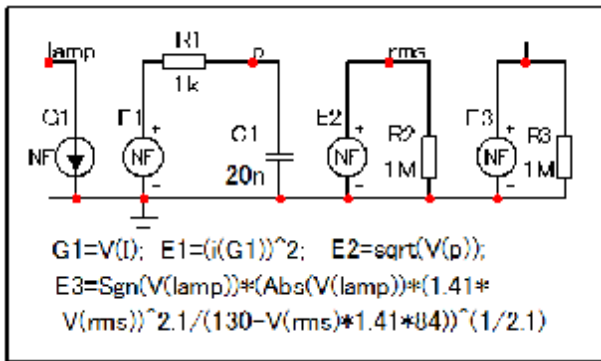


Рис. 3. Схема моделі ЛЛ

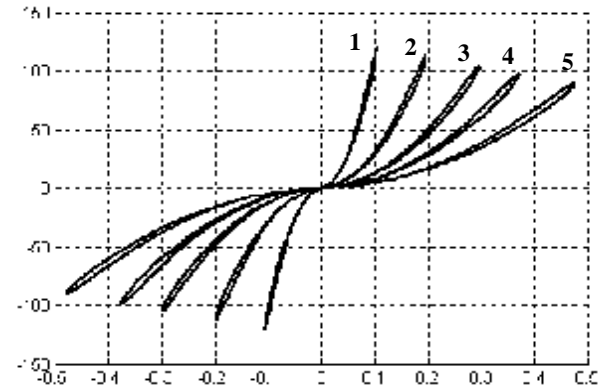


Рис.4. Динамічні ВАХ моделі для п'яти потужностей: 1- 4,8 Вт, 2- 8,5 Вт, 3 – 12,5, 4 – 15 Вт, 5 – 18 Вт

Математична модель в режимі малого сигналу

Для побудови моделі ЛЛ в режимі малого сигналу приймемо до уваги, що керування потужністю ЛЛ викликає зміни амплітуд її струму і напруги. Наявність в ЕПРА коливного контуру з добротністю більшою від одиниці дає підстави вважати, що "несуча" високочастотного живлення є близькою до синусоїди, а ЕПРА здійснює низькочастотну амплітудну модуляцію (АМ) ВЧ живлення ЛЛ в процесі регулювання її потужності.

У разі синусоїдної модуляції співвідношення між амплітудами та фазами огинаючих напруги і струму ЛЛ при зміні частоти модуляції можна описати за допомогою комплексного опору стосовно огинаючих – диференціального імпедансу. Диференціальний імпеданс відповідає частотній передатній функції ЛЛ і є її математичною моделлю в режимі малого сигналу для даної робочої точки ЛЛ. Диференціальний імпеданс ЛЛ можна виразити через його нулі і полюси.

Для визначення диференціального імпедансу надамо невеликі відхилення \hat{u} та \hat{i} відповідно амплітудам напруги U_m і струму I_m лампи на робочій частоті ω_s шляхом амплітудної модуляції з коефіцієнтом модуляції $m \ll 1$:

$$u = (U_m + \hat{u}) \sin \omega_s t, \tag{10}$$

$$i = (I_m + \hat{i}) \sin \omega_s t. \tag{11}$$

У випадку синусоїдної модуляції ці відхилення подамо виразами:

$$\hat{u} = |\hat{u}| \sin \omega_m t, \tag{12}$$

$$\hat{i} = |\hat{i}| \sin(\omega_m t - \varphi_m), \tag{13}$$

де ω_m - частота модулюючого сигналу, а φ_m - зсув фаз між огинаючими напруги і струму ЛЛ.

Диференціальний імпеданс лампи визначається як відношення амплітуд напруги і струму повільнозмінного модульованого сигналу із врахуванням фазового зсуву між ними:

$$Z(j\omega) = \frac{|\hat{u}|}{|\hat{i}|} e^{j\varphi_m}. \tag{14}$$

Знайдемо диференціальний імпеданс ЛЛ, скориставшись виразом (6) та алгоритмом формування сигналів у моделі (рис.3).

За виразом (7) запишемо повний диференціал напруги на лампі:

$$du = a i^{a-1} \frac{U_{sm} - I_m R_s}{I_m^a} di + i^a \frac{-R_s I_m^2 - a I_m^{a-1} (U_{sm} - I_m R_s)}{I_m^{2a}} dI_{m0}. \tag{15}$$

Використання позначення dI_{m0} замість dI_m в другому доданку виразу (15) підкреслює, що в алгоритмі PSpice-моделі формування амплітудного значення струму здійснюється через діюче значення, яке,

відповідно, формується за допомогою RC -ланки і водночас визначає інерційні властивості моделі.

Оскільки при АМ із $m \ll 1$ низькочастотні зміни сигналів сконцентровані на рівні амплітуд несучої, то прийемо у останньому виразі $i = I_m$, $di = dI_m$. Враховуючи співвідношення для еквівалентного опору (3), вираз (15) після перетворень набуває вигляду:

$$du = aR_{ek}dI_m - (aR_{ek} + R_S)dI_{m0}. \quad (16)$$

Перейдемо від диференціалів до приростів, позначивши їх $du = \mathfrak{E}$, $dI_m = \mathfrak{I}$; $dI_{m0} = \mathfrak{I}_0$, тоді отримаємо вираз стосовно приростів:

$$\mathfrak{E} = aR_{ek}\mathfrak{I} - (aR_{ek} + R_S)\mathfrak{I}_0. \quad (17)$$

Відповідно до алгоритму формування амплітуди I_m струму через його діюче значення I (8) на приріст I_{m0} впливає RC -ланка із передавальною характеристикою фільтра низької частоти (ФНЧ):

$$H(jw) = \frac{1}{1 + jwRC}, \quad (18)$$

Покажемо, що відхилення \hat{i} та \hat{i}_0 зв'язані між собою співвідношенням:

$$\mathfrak{I}_0(jw) = \mathfrak{I} \cdot H(jw). \quad (19)$$

Для випадку АМ можна записати:

$$\mathfrak{I} = mI_m. \quad (20)$$

При синусоїдальній АМ струм лампи змінюється по закону:

$$i = I_m(1 + m \sin w_m t) \sin w_s t. \quad (21)$$

Оскільки $m \ll 1$, вираз для сигналу генератора Е1 (квадратора) матиме вигляд:

$$E_1 \approx I_m^2(1 + 2m \sin wt) \sin^2 w_s t = \frac{I_m^2}{2}(1 + 2m \sin w_m t) + \frac{I_m^2}{2}(1 + 2m \sin w_m t) \cos 2w_s t. \quad (22)$$

Після ФНЧ постійна складова сигналу генератора Е1 залишається без змін, низькочастотна складова із частотою модуляції ω_m буде "зважена" передавальною характеристикою ФНЧ, а високочастотна складова із частотою $2\omega_s$ відфільтровується. Тому напруга U_p в точці **p** моделі (рис.3) чисельно дорівнює:

$$U_p = \left(\frac{I_m^2}{2} + \frac{I_m^2}{2} \cdot 2m \sin(w_m t + j_m) \right) \cdot |H(jw)|, \quad (23)$$

де φ_m - фазовий зсув ФНЧ на частоті модуляції ω_m .

Після добування кореня при умові $m \ll 1$ одержуємо наближений вираз для діючого значення струму ЛЛ (для точки **rms** на рис.3) :

$$I \approx \frac{I_m}{\sqrt{2}} [1 + m \sin(w_m t + j_m)] |H(jw)|. \quad (24)$$

До його складу крім постійної, входить низькочастотна модуляційна складова. Амплітуда змінної складової у (24) описується виразом:

$$|\mathfrak{I}_{m0}| = \frac{I_m}{\sqrt{2}} m |H(jw)|. \quad (25)$$

Ця величина трансформується генератором Е3 (рис.3) у модуляційну складову амплітуди „несучої” шляхом множення на $\sqrt{2}$:

$$|\mathfrak{I}_0| = mI_m |H(jw)|, \quad (26)$$

або, враховуючи (20):

$$|\mathfrak{I}_0| = |\mathfrak{I}| \cdot |H(jw)|. \quad (27)$$

Тоді на основі виразу (17) можна записати для частотної області:

$$\mathfrak{E}(jw) = aR_{ek}\mathfrak{I} - (aR_{ek} + R_S)\mathfrak{I}_0 \cdot H(jw), \quad (28)$$

або, скориставшись (18),

$$\mathfrak{E}(jw) = \frac{aR_{ek}(1 + jwT) - (aR_{ek} + R_S)}{1 + jwT} \mathfrak{I} = \frac{aR_{ek}jwT - R_S}{1 + jwT} \mathfrak{I}, \quad (29)$$

Позначимо $w_0 = 1/(RC)$ та врахуємо, що вихідний сигнал має ФНЧ лише модуляційну складову з w_m . Тоді отримаємо вираз для диференціального імпедансу ЛЛ:

$$Z(jw) = R_S \frac{a \frac{jw_m}{w_0} \frac{R_{ek}}{R_S} - 1}{\frac{jw_m}{w_0} + 1}. \quad (30)$$

Із виразу (30) витікає, що диференціальний імпеданс ЛЛ має нуль в правій половині комплексної

площини. Тому ЛЛ, як ланка динамічної системи, відноситься до ланок немінімально-фазових типу. Наявність нуля в правій півплощині пояснює (і підтверджує) той факт, що ЛЛ не може безпосередньо житися від джерела напруги, оскільки в цьому випадку не буде виконуватися умова стійкості її роботи. На відміну від [4] значення нуля є в α разів більшим, оскільки в даному виразі він визначається не статичним опором $R_{ек}$, як в [4], а динамічним опором, величина якого дорівнює $\alpha R_{ек}$ у зв'язку із степеневою апроксимацією динамічної ВАХ. Такий підхід є коректнішим і більш точним, оскільки відхилення \dot{u} та \dot{i} зв'язані між собою не через статичний, а через динамічний опір.

Із виразу (30) також видно поведінку лампи при низькочастотних і високочастотних діях. Так при повільних змінах керуючих впливів ЛЛ ($f_m \rightarrow 0$) диференціальний імпеданс є від'ємним ($Z \rightarrow -R_S$) і визначається диференціальним опором лампи. При швидких змінах керуючих впливів ЛЛ ($f_m \rightarrow \infty$) диференціальний імпеданс стає чисто активним і за величиною є в α разів більшим за еквівалентний опір лампи в її робочій точці.

Методика визначення параметрів моделі. Для практичного використання моделі необхідно знати її параметри R_S , $R_{ек}$, α та f_0 , які входять у вираз (30). Щоб визначити диференціальний опір R_S та еквівалентний опір $R_{ек}$ в робочій точці ЛЛ, слід зняти експериментальне сімейство динамічних ВАХ ЛЛ. З цього сімейства визначаються параметр U_{sm} і за виразами (2) і (3) проводиться розрахунок R_S та $R_{ек}$.

Для визначення параметра інерційності f_0 та показника α запишемо модуль і фазу для виразу (30) у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} Z &= R_S \frac{\sqrt{1+(akF)^2}}{\sqrt{1+F^2}} \\ f &= \operatorname{arctg} \frac{F(k+1)}{akF^2-1} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

де $k = 2R_{ек} / R_S$, $F = f_m / f_0$ - відносна частота, f_m - частота модуляції, $f_0 = 1 / (2pRC)$. Шукані параметри F та α є розв'язком системи рівнянь (31). Вона не має аналітичного розв'язку, тому необхідно використати чисельні методи. Система рівнянь (31) має чотири розв'язки. Серед них вибираємо такий, в якому параметри F та α є додатними (виходячи з фізичного змісту), а значення показника α лежить в діапазоні від 2 до 4 (базуючись на результатах аналізу варіантів апроксимації ВАХ ЛЛ, наведеного в [6]).

Пару значень j та Z для системи рівнянь (31) вибирають за експериментально знятою залежністю диференціального імпедансу від частоти модуляції (рис.5).

Одержані параметри дають змогу описати диференціальний імпеданс конкретної ЛЛ за допомогою виразу (30).

Експериментальні дослідження моделі

Щоб оцінити адекватність запропонованої моделі, проведено експериментальні дослідження диференціального імпедансу трубчастих люмінесцентних ламп типів ЛБ8 та TLD 18W/54, TLD36W/54 фірми Philips, а також компактних люмінесцентних ламп OSRAM DULUX EL 21W/41-827 фірми OSRAM та GE Vix T/E 13W фірми General Electric.

Дослідження виконані на стенді, до складу якого входять низькочастотний генератор амплітудно-модульованого сигналу Г6-34, модернізований підсилювач потужності ТУ-100, баластний опір, осцилограф.

Вимірювання проводились на робочій частоті 25 кГц, частота модуляції встановлювалась в межах від 100 до 8000 Гц. Результати експерименту для лампи TLD 18W/54 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експерименту для лампи TLD 18W/54

f_m , Гц	75	156	306	502	700	896	1008	2007	3000	4042	5000	7000	8000
Z , Ом	78	89	137	178	246	301	380	616	800	960	984	986	986
φ , град	170	157	132	118	100	93	85	70	54	36	27	15	10

На рис.5 наведено експериментальну залежність диференціального імпедансу лампи TLD 18/54 та результати, отримані за допомогою математичної моделі (30), а також результати, які дає модель [5]. При побудові залежності (рис.5) враховано наступні дані експерименту та розрахунків: $I=0,24$ А, $U=116$ В, $R_S=84$ Ом, $R_{ек}=484$ Ом, $\varphi=15^\circ$, $Z=986$ Ом. Значення показника степеня $\alpha=2,1$ та частоти $f_0=2600$ Гц отримано з розв'язку системи рівнянь (31). Порівняння результатів показує вищий ступінь адекватності даної моделі, ніж відомої моделі.

Висновки

На основі нової PSpice-сумісної нелінійної інерційної моделі люмінесцентної лампи удосконалено малосигнальну модель люмінесцентної лампи як об'єкта регулювання. PSpice-сумісна модель базується на апроксимації динамічної вольт-амперної характеристики лампи степеневою функцією з показником степеня, який визначається шляхом розв'язку системи рівнянь. Малосигнальна модель люмінесцентної лампи має вигляд комплексного диференціального імпедансу, який характеризує зв'язок між огинаючими високочастотних напруги і струму в робочій точці лампи. Модель призначена для аналізу стійкості

високочастотних електронних пускорегулюючих апаратів, побудованих за замкнутою структурою, відомими методами теорії автоматичного керування. Наведено методіку визначення параметрів моделі. Результати експериментальних досліджень засвідчують адекватність моделі.

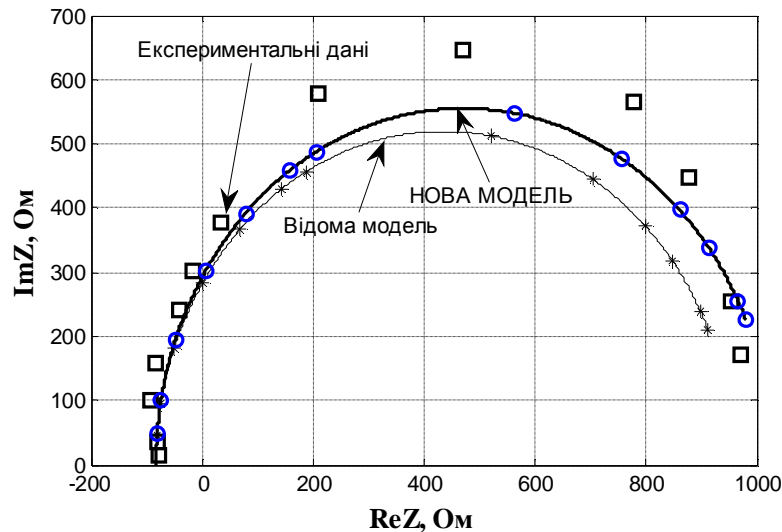


Рис.5. Диференціальний імпеданс ЛЛ TLD 18W/54: експериментальні дані та результати моделювання

Література

1. Краснополский А.Е., Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А.Е. Краснополский, В.Б. Соколов, А.М.Троицкий М. - Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
2. Клыкков М.Е. Расчеты электрических цепей с разрядными лампами. / М.Е.Клыкков, А.Е. Краснополский, В.Б. Соколов. // Светотехника - 2002 - №2, С.2-4.
3. Намитокков К.К. Математическое моделирование процессов в газоразрядной плазме / К.К.Намитокков, П.Л.Пахомов, С.Н.Харин. - Алма-Ата: Наука, 1988. –208 с.
4. S. Ben-Yaakov, M.Shvartsas, S. Glozman. Statics and Dynamics of Fluorescent Lamps Operating at High Frequency: Modeling and Simulation // Proceeding IEEE APEC'99.-1999.-pp. 467-472.
5. А. Лупенко. Модель люминесцентной лампы як об'єкта регулювання / А. Лупенко // Теоретична електротехніка, Львівський національний університет ім. І. Франка, 2005. – Випуск 58. – с. 167-175.
6. T.J.Ribarich, J.J.Ribarich A New High-Frequency Fluorescent Lamp Model // IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 1998. - Vol.3. - p. 2094 - 2098.
7. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин - М.: Энергоатомиздат, 1991.- 720 с.

References

1. Krasnopol'skij A.E., Puskoregulirujushhie apparaty dlja razrjadnyh lamp / A.E. Krasnopol'skij, V.B. Sokolov, A.M.Troickij M. - Jenergoatomizdat, 1988. – 208 s.
2. Klykov M.E. Raschety jelektricheskijh cepej s rjazrjadnymi lampami. / M.E.Klykov, A.E. Krasnopol'skij, V.B. Sokolov. // Svetotehnika - 2002 - №2, S.2-4.
3. Namitokov K.K. Matematicheskoe modelirovanie processov v gazorazrjadnoj plazme / K.K.Namitokov, P.L.Pahomov, S.N.Harin. - Alma-Ata: Nauka, 1988. –208 s.
4. S. Ben-Yaakov, M.Shvartsas, S. Glozman. Statics and Dynamics of Fluorescent Lamps Operating at High Frequency: Modeling and Simulation // Proceeding IEEE APEC'99.-1999.-pp. 467-472.
5. А. Lupenko. Model' ljuminescentnoj lampi jak ob'ekta reguljuvannja / А. Lupenko // Teoretichna elektrotehnika, L'vivs'kij nacional'nij universitet im. I. Franka, 2005. – Vipusk 58. – s. 167-175.
6. T.J.Ribarich, J.J.Ribarich A New High-Frequency Fluorescent Lamp Model // IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 1998. - Vol.3. - p. 2094 - 2098.
7. Rohlin G.N. Razrjadnye istochniki sveta / G.N. Rohlin - M.: Jenergoatomizdat, 1991.- 720 s.

Рецензія/Peer review : 23.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕМАСКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ

В работе рассматривается метод повышения вероятности распознавания вида рассеивателей в нелинейной радиолокации путем эффективного выявления и анализа в процессе зондирования дополнительной информации о нелинейном объекте. Предложено за время длительности зондирующего радиоимпульса получить массив мгновенных значений спектральных составляющих сигнала отклика на как можно более коротких временных интервалах с целью точного восстановления передаточной характеристики зондируемого объекта. Это возможно при максимальном поглощении энергии зондирующего поля объектом благодаря чередованию разных по амплитуде и форме сигналов, представляющих реализацию случайного процесса со сплошным спектром.

Ключевые слова: нелинейная радиолокация, нелинейный рассеиватель, спектральное преобразование

M.V. ZINCHENKO, YU.F. ADAMENKO, Y.F. ZINKOVSKIИ

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine

THE EFFECTIVE DETECTION OF NONLINEAR SCATTERERS UNMASKING FEATURES

Abstract - The aim is to ensure a sufficient probability of the form of scatterers recognition in nonlinear radar through effective detection and analysis an additional information about nonlinear object in the process of probing.

The correct recognition of the nonlinear scatterers (NSs) on the spectral composition of the response signal has a low probability, because the values of the received on the harmonics signals depend, in addition to the properties of the object, on the NSs backscatter charts form which may differ among themselves at various harmonics. To ensure the recognition accuracy of the NSs type it is suggested to get an array of instantaneous values of the spectral components of the response signal on the as short as possible time intervals for the duration of the probing radio pulse. So one can restore the transfer characteristic of the probed object.

Practical identification of additional unmasking features of the scatterer is only possible at the maximum of the field energy absorption by the object by alternating of the signals with different amplitude and shape which represent the realization of a random process with a continuous spectrum.

Keywords: nonlinear radar, nonlinear scatterer, spectral transformation

Введение

Технология нелинейной радиолокации в сфере технической защиты информации предназначена для выявления, локализации и идентификации радиоэлектронных закладных устройств (ЗУ) несанкционированного съёма информации. Такая технология поиска ЗУ основана на том, что почти все эти устройства имеют в своём составе полупроводниковую элементную базу с нелинейными характеристиками (микросхемы, транзисторы, диоды и т.д.), способную преобразовать спектральный состав информационного сигнала [1]. Поэтому во время зондирования ЗУ являются источниками рассеивания нелинейных продуктов (новых спектральных составляющих – кратных гармоник частоте зондирующего сигнала (ЗС) или комбинационных частот). При этом присутствующие в исследуемой среде образования вида «металл-окисел-металл» (МОМ-структуры), окисленные контакты, плохо спаянные или сваренные соединения также являются нелинейными рассеивателями (НРс) [2].

Типичный метод нелинейной радиолокации включает прием эхо-сигналов от ЗУ на второй и третьей гармониках зондирующего сигнала, обработку и индикацию их уровней для распознавания ЗУ оператором. Это обусловлено тем, что обычно радиолокационные цели, содержащие полупроводниковые компоненты, имеют на второй гармонике уровень сигналов отклика на 20-30 дБ более высокий, чем на третьей гармонике. Для рассеивателей контактного типа (МОМ-структур), как правило, выполняется обратное соотношение.

Штатные нелинейные радиолокаторы (НР) работают в диапазоне близком к 900 МГц. Такой выбор связан с компромиссом в решении следующего противоречия:

- с одной стороны, чем ниже частота ЗС, тем лучше его проникающая способность внутрь предметов и сред, в которых могут быть спрятаны ЗУ;
- с другой стороны – чем выше частота излучения, тем уже диаграмма направленности антенны НР при фиксированных геометрических размерах, а значит большая плотность потока мощности ЗС.

Максимальное расстояние, на котором проводится эффективное выявление ЗУ, названное поисковым, как правило, ограничено значением 0,7 м. Глубина выявления объектов в исследуемой среде может достигать нескольких десятков сантиметров. Например, НР серии «Циклон» выявляют радиоэлектронные приборы в железобетонных стенах толщиной до 30 см, кирпичных и деревянных – до 60 см [3].

Постановка задачи

Распространённая технология нелинейной радиолокации связана с импульсным излучением. Типичный импульсный НР содержит в своем составе задающий импульсный генератор, формирователь высокочастотного ЗС, приемо-передающую антенну, а также приемник, подключенный к приемо-

передаючої антенне і настроєний на другу або третю гармоніку ЗС. Вероятність правильного розпізнавання НРС (от МОМ-структур) розглянутої технологією являється достатньо низкою, порядку 0,5, оскільки величини приймаємих на гармоніках сигналів зависят, помімо своїх властивостей розсеивателя, от форм діаграм вторичного розсеивання НРС, котрі на різних гармоніках можуть відличатися між собою [2, 4]. Також затруднительно однозначно ідентифікувати розсеиватель ввиду суттєвої різниці виду зависимостей амплитуд нелінійних продуктів, отриманих на частотах $2f_0$ і $3f_0$, от амплитуды ЗС на частоті f_0 в случає складних вольт-амперних характеристик (ВАХ) напівпровідникових приборів, входящих в состав НРС (рис.1) [5]. Известно, что рассеивающие свойства НРС зависят от мощности ЗС НР. На рис. 1 приведены результаты экспериментальных исследований влияния мощности ЗС НР на искажение ВАХ напівпровідникового прибора, что связано с детекторным эффектом и разогревом свободных носителей зарядов [5].

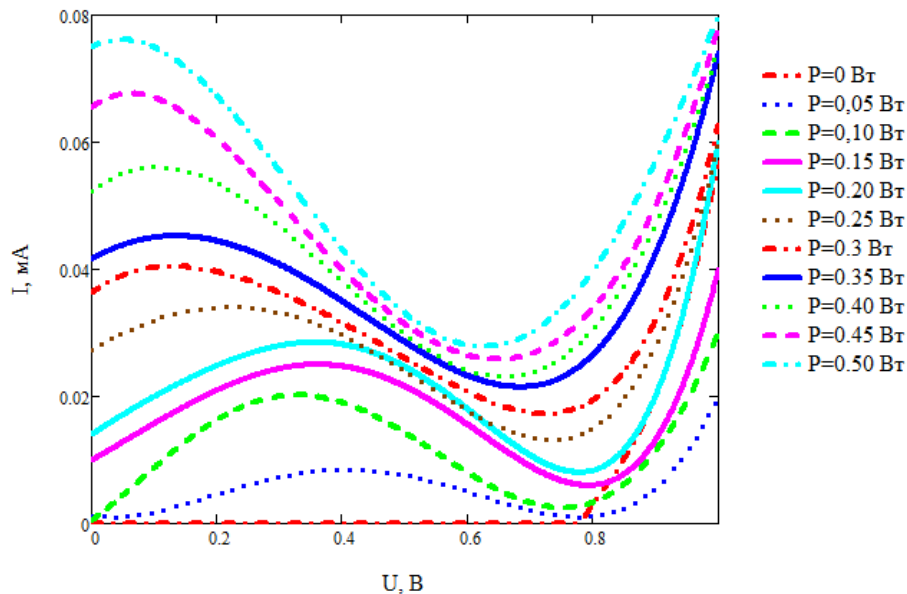


Рис.1. Искажение ВАХ СВЧ диода типа А606 при разных уровнях мощности ЗС НР

Таким образом, технология нелинейной радиолокации характеризуется недостаточной вероятностью правильной идентификации вида НРС из-за неустойчивости соотношений уровней принятых гармоник сигнала отклика по многим факторам. Оперативность поиска ЗУ рассматриваемой технологией зависит от навыков и опыта оператора, причем автоматизация процесса идентификации объекта поиска чрезвычайно усложнит аппаратуру. Задача усовершенствования технологии нелинейной радиолокации с целью повышения вероятности правильного распознавания вида НРС сводится к эффективному выявлению и анализу в процессе зондирования дополнительной информации о нелинейном объекте.

Основная часть

Для повышения вероятности правильного распознавания вида НРС рационально использовать зависимость интенсивности сигнала отклика на гармониках ЗС от амплитуды воздействующего сигнала [6]. Также в силу равенства Парсеваля [7] дополнительная информация для определения вида НРС имеется и в частотной области:

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} u^2(t) dt = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{+\infty} |S(w)|^2 dw,$$

где $u(t)$, E и $|S(w)|$ – соответственно принимаемый сигнал отклика от НРС, его энергия и амплитудно-частотный спектр:

$$|S(w)| = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \exp\{-j\omega t\} dt. \tag{1}$$

Для вычисления амплитудно-частотного спектра (1) на отрезке времени, в течение которого принимается радиоимпульс сигнала отклика от НРС, выбирается k равных по величине и равноотстоящих друг от друга временных интервалов. Каждый из k импульсов с периодом следования T имеет длительность t_0 , причем время принимаемого радиоимпульса сигнала отклика от НРС равно $t_{II} = kT$. Спектральный анализ принимаемого сигнала осуществляется преобразованием Фурье в течение временных

інтервалов от $(i-1)T$ до $t_0+(i-1)T$, где $i = \overline{1, k}$. Таким образом, на каждом из временных интервалов осуществляется получение амплитудно-частотного спектра:

$$|\mathfrak{S}_i(w)| = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{(i-1)T}^{t_0+(i-1)T} u(t) \exp\{-j\omega t\} dt, \quad (2)$$

а также выделяются спектральные составляющие $|\mathfrak{S}_1(w)|, |\mathfrak{S}_2(w)| \dots |\mathfrak{S}_k(w)|$, которые могут отображаться визуально как дополнительные информационные признаки о виде НРС, поскольку их последовательность обеспечивает отображение передаточной характеристики зондируемого объекта. При этом неизменными должны быть амплитуды ЗС $G_{3Ci} = const$ и сигнала отклика от НРС $u_{mi} = const$ в течение временных интервалов от $(i-1)T - t_3$ до $t_0+(i-1)T - t_3$ и от $(i-1)T$ до $t_0+(i-1)T$ соответственно ($t_0 \ll t_H$), где $t_3 = 2R_H/c$ – время задержки принимаемого сигнала отклика относительно ЗС, R_H – расстояние между НРС и НР, c – скорость света.

Выше сказанное имеет смысл и практическую применимость при выполнении условия, что НРС восприимчив к воздействию ЗС НР, т. е. имеем эффективное поглощение объектом энергии внешнего электромагнитного поля. Из чего следует необходимость в максимальном «навязывании» энергии ЗС НР исследуемому объекту.

Закладное устройство как НРС, в своем составе имеет токопроводящие элементы – ансамбль «случайных» антенн, в нагрузке которых могут находиться полупроводниковые приборы. При этом почти все «случайные» антенны с нелинейной нагрузкой «электрически малые», т. е. намного меньше длины волны ЗС НР. Наводимый в такой антенне ток будет незначителен и создаваемое им поле очень слабо исказит падающую волну, т. е. не будем иметь эффективного поглощения НРС энергии ЗС (при уменьшении приёмной антенны принимаемый сигнал существенно уменьшается) [8].

Представим зависимость поглощенной НРС энергии воздействующего импульсного СВЧ сигнала $J_{3C}(x)$ от длины «электрически малой» антенны x :

$$J_{3C}(x) = \int D(E) \cdot j(E) \cdot \exp(-m(E) \cdot x) dE, \quad (3)$$

где $D(E)$ – функция спектрального преобразования НРС; $j(E)$ – спектр импульсного ЗС НР; $m(E)$ – коэффициент ослабления принимаемого сигнала «электрически малой» антенной.

Уравнение (3) является уравнением Фредгольма 1-го рода относительно функции $j(E)$. Оно относится к классу некорректно поставленных задач, когда незначительные флуктуации величины $J_{3C}(x)$ могут вызвать существенные изменения $j(E)$.

Таким образом, энергия воздействующего поля поглощается «случайными электрически малыми» антеннами рассеивателя. Максимально эффективно поглощается объектом энергия тех спектральных составляющих зондирующего сигнала, длины волн которых соизмеримы с длинами «случайных» антенн. Поскольку для типичного НРС число «электрически малых» антенн, их длины и взаимная ориентация трудно прогнозируемы, а во многих случаях и неизвестны, то нельзя однозначно подобрать спектральный состав ограниченного по мощности ЗС. Увеличение уровней отдельных диапазонов частот спектра ЗС неэффективно, поскольку не известно, с какой вероятностью будут соизмеримы характерные им длины волн с длинами «случайных» антенн рассеивателя. Поэтому рациональной для практики есть реализация чередования разных по амплитуде и форме ЗС со сплошным спектром, причем длительность каждого сигнала должна быть больше или равна t_H .

При использовании как минимум двух различных по форме и/или амплитуде ЗС со сплошным спектром $x_1(t)$ и $x_2(t)$, преобразование рассеивателем ЗС является нелинейным, если не выполняется относительно $x_i(t)$ равенство

$$u_i(t) = h(t) * x_i(t),$$

где $u_i(t)$ – отклик объекта на i -й ЗС, $h(t)$ – импульсная характеристика НРС, $*$ – символ свертки, а знак равенства понимается как тождество относительно $x_i(t)$.

Характеристика нелинейности $e^*(t)$ преобразования сигналов НРС определяется выражением

$$e^*(t) = u_1(t) - F^{-1} |1/K(w)| * u_2(t), \quad (4)$$

где F^{-1} – обратное преобразование Фурье, $K(w)$ – передаточная функция фазового корректора между спектрами ЗС (различие форм ЗС связано с различием их фазовых спектров).

Характеристика нелинейности (4) отражает нелинейность преобразования сигналов не только собственно НРС, а совокупную нелинейность преобразования сигналов излучателем НР, рассеивателем и

приемником НР.

Нелинейные искажения ЗС излучателем НР могут быть учтены, если использовать двухканальный приемник: первый (опорный) канал регистрирует ЗС на выходе излучателя НР, а второй (измерительный) – отклики НРс. В таком случае характеристика нелинейности принимает следующий вид:

$$e^*(t) = Q_u[u_1(t)] - F^{-1} \left[F \{ Q_u[u_2(t)] \} / F \{ Q_x[x_2(t)] \} \right] * Q_x[x_1(t)], \quad (5)$$

где F – преобразование Фурье. Преобразование сигналов приемником учитывается при помощи нелинейного оператора измерительного канала Q_u , преобразующего временную функцию отклика объекта на входе измерительного канала приемника во временную функцию на его выходе, и нелинейного оператора опорного канала Q_x [9, 10].

В результате оказывается возможным применение ЗС со случайной (наперед не заданной) формой, что позволяет применять в качестве $x_1(t)$ и $x_2(t)$ сигналы, представляющие собой реализацию случайного процесса.

Учитывать искажения сигналов приемником возможно в случае линейного преобразования сигналов объектом, тогда (5) отражает нелинейность преобразования сигналов только приемником:

$$e_{II}^*(t) = Q_u[h(t) * x_1(t)] - F^{-1} \left[F \{ Q_u[h(t) * x_2(t)] \} / F \{ Q_x[x_2(t)] \} \right] * Q_x[x_1(t)].$$

Таким образом, выделенные спектральные составляющие $|S_1(w)|, |S_2(w)| \dots |S_k(w)|$ в течение нескольких (k) временных интервалов за период принимаемого радиоимпульса сигнала отклика от НРс $t_{II} = kT$, являются дополнительными информационными признаками о виде НРс, поскольку их последовательность отображает передаточную характеристику зондируемого объекта. Эффективное выявление дополнительных демаскирующих признаков НРс возможно при максимальном поглощении энергии ЗС НР исследуемым объектом путем чередования друг за другом разных по амплитуде и форме ЗС, представляющих реализацию случайного процесса со сплошным спектром длительностью равной или большей t_{II} .

Выводы

Вероятность правильной идентификации нелинейных рассеивателей (НРс) является достаточно низкой, поскольку величины принимаемых на гармониках сигналов зависят, помимо свойств рассеивателя, от форм диаграмм обратного рассеяния НРс, которые на различных гармониках могут отличаться между собой. Также затруднительно однозначно идентифицировать рассеиватель ввиду существенной разницы вида зависимостей амплитуд нелинейных продуктов от амплитуды зондирующего сигнала в случае сложных вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, входящих в состав НРс. Повышения точности распознавания вида НРс требует эффективного выявления и анализа в процессе зондирования дополнительной информации о нелинейном объекте.

Спектральные составляющие, полученные в течение нескольких временных интервалов за период принимаемого радиоимпульса сигнала отклика от НРс t_{II} , являются дополнительными информационными признаками о типе НРс, поскольку их последовательность отображает передаточную характеристику зондируемого объекта. Эффективное выявление дополнительных демаскирующих признаков возможно при максимальном поглощении энергии зондирующего сигнала исследуемым объектом. Максимально эффективно поглощается объектом энергия тех спектральных составляющих зондирующего сигнала, длины волн которых соизмеримы с длинами его «случайных» антенн. Поэтому рациональной для практики есть реализация чередования разных по амплитуде и форме зондирующих сигналов, представляющих реализацию случайного процесса со сплошным спектром длительностью равной или большей t_{II} .

Литература

1. Беляев В.В. Состояние и перспективы развития нелинейной радиолокации / В.В. Беляев, А.Т. Маюнов, С.Н. Разиньков // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 6. – С. 59–78.
2. Колбанов А.П. Распознавание нелинейных рассеивателей, содержащих несовершенные металлические контакты или полупроводниковые радиокомпоненты / А.П. Колбанов, А.А. Потапов, Е.Е. Степанов, Е.П. Чигин // Нелинейный мир. – 2005. – Т. 3, № 4. – С. 239–244.
3. Хорошко В.А. Методы и средства защиты информации / В.А. Хорошко, А.А. Чекатков – К. : «Юниор», 2003. – 504с.
4. Горбачев А.А. Амплитудные характеристики нелинейных рассеивателей / А.А. Горбачев, С.В. Ларцов, С.П. Тараканов, Е.П. Чигин // Радиотехника и электроника. – 1996. – Т. 41, № 5. – С. 558–562.
5. Зинченко М.В. Рассеивание плоских волн системой симметричных вибраторов с нелинейными нагрузками при воздействии нелинейного радиолокатора / М.В. Зинченко, Ю.Ф. Зиньковский // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. НТУУ «КПИ». – 2010. – Том 53. – № 10. – С. 24–34.

6. Пат. RU 2205419 С2, 7 G01S 13/00, 7/292, G08B 13/24. Способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности / Паньчев С.Н., Хакимов Н.Т. №2001110922/09. Заявлено 20.04.2001. Оpubл. 27.05.2003 // Бюл. №15.
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов / А.Б. Сергиенко. – 2-е изд.– СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
8. Пат. 2393493 С1 Российская Федерация, МПК G 01 R 29/08. Способ определения затухания сигнала в распределенной случайной антенне / Маслов О. Н., Раков А. С., Рябушкин А. В. – № 2009114611/09; заявл. 06.04.2009; опубл.27.06.2010.
9. Семенов Э.В. Исследование нелинейности преобразования детерминированных сверхширокополосных сигналов путем линейного комбинирования откликов объекта на линейно зависимые тестовые сигналы/Э.В. Семенов // Изв. Томск.политехн. ун-та. - 2004. - Т. 307, № 4. - С. 18-21.
10. Давенпорт В. Б. Введение в теорию случайных сигналов и шумов / В.Б. Давенпорт, В. Л. Рут. – М. : Изд-во Иностранной Литературы, 1960. – 468 с.

References

1. Beliaev V.V. Sostoianie i perspektivy razvitiia nelineinoi radiolokatsii / V.V. Beliaev, A.T. Maiunov, S.N. Razinkov // Zarubezhnaia radioelektronika. Uspekhi sovremennoi radioelektroniky. – 2002. – № 6. – S. 59–78. [in Russian]
2. Kolbanov A.P. Raspoznavanie nelineinykh rasseivatelei, sodержashchikh nesovershennye metallicheskie kontakty ili poluprovodnikovye radiokomponenty / A.P. Kolbanov, A.A. Potapov, E.E. Stepanov, E.P. Chihin // Nelineinyi mir. – 2005. – Т. 3, № 4. – S. 239–244. [in Russian]
3. Khoroshko V.A. Metody i sredstva zashchity informatsii / V.A. Khoroshko, A.A. Chekatkov – К. : «Yunior», 2003. – 504s. [in Russian]
4. Horbachev A.A. Amplitudnye kharakteristiki nelineinykh rasseivatelei / A.A. Horbachev, S.V. Lartsov, S.P. Tarakanov, E.P. Chihin // Radiotekhnika i elektronika. – 1996. – Т. 41, № 5. – S. 558–562. [in Russian]
5. Zinchenko M.V. Rasseivanie ploskikh voln sistemoi simmetrichnykh vibratorov s nelineinymi nahruzkami pri vozdeistvii nelineinogo radiolokatora / M.V. Zinchenko, Yu.F. Zinkovskii // Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Radioelektronika. NTUU «KPI». – 2010. – Tom 53. – № 10. – S. 24–34. [in Russian]
6. Pat. RU 2205419 S2, 7 G01S 13/00, 7/292, G08B 13/24. Sposob obnaruzheniia nelineinogo obekta s raspoznavaniem tipa nelineinosti / Panychev S.N., Khakimov N.T. №2001110922/09. Zaiavleno 20.04.2001. Opubl. 27.05.2003 // Biul. №15. [in Russian]
7. Serhienko A.B. Tsifrovaia obrabotka signalov: Uchebnik dlia vuzov /A.B.Serhienko. – 2-е изд.– СПб.: Питер, 2006. – 751 s. [in Russian]
8. Pat. 2393493 S1 Rossiiskaia Federatsia, MPK G 01 R 29/08. Sposob opredeleniia zatukhaniia signala v raspredelennoi sluchainoi antenne / Maslov O. N., Rakov A. S., Riabushkin A. V. – № 2009114611/09; zaiavl. 06.04.2009; opubl.27.06.2010. [in Russian]
9. Semenov Э.В. Issledovanie nelineinosti preobrazovaniia determinirovannykh sverkhshirokopolosnykh signalov putem lineinogo kombinirovaniia otklikov obekta na lineino zavisimye testovye signaly/E.V. Semenov // Izv. Tomsk.politekhn. un-ta. - 2004. - Т. 307, № 4. - S. 18-21. [in Russian]
10. Davenport V. B. Vvedenie v teoriu sluchainykh signalov i шумов / V.B. Davenport, V. L. Rut. – М. : Изд-во Inostrannoi Literatury, 1960. – 468 s. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 29.9.2015 p.

Надрукована/Printed :20.10.2015 p.

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ МАГНІТОТРАНЗИСТОРА ТА АКТИВНО – ІНДУКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТА

Анотація. Розроблено математичну модель частотного перетворювача з магнітотранзистором та активним індуктивним елементом, яка складається з біполярного та МДН-транзисторів та двох магнітотранзисторів в якості магніточутливих елементів, на основі якої отримано аналітичні залежності функції перетворення.

Ключові слова: магнітний перетворювач, біполярний транзистор, польовий транзистор.

V.S. OSADCHUK, O. V. OSADCHUK, O.O. SELETSKA, V.V. MARTYNYUK

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

FREQUENCY MAGNETIC TRANSDUCER WITH A MAGNETOTRANSISTOR AND AN ACTIVE INDUCTIVE ELEMENT

Abstract – The aim of the research - to increase the sensitivity of measurement of magnetic induction.

This work presents magnetic transducer with frequency output on the basis of semiconductor structures with negative resistance, the principle of which operation is based on the functional connection of reactive properties of transistor structures with negative resistance from the effects of magnetic induction, which enables creation and development competitive is models of this production.

The mathematical model of frequency magnetic transducer composed of bipolar and mosfet transistors with transistor as magnetosensitive element and an active inductive element has been developed. On the base of this model analytical dependences of function of transformation.

Keywords: magnetic transducer, bipolar transistor, field transistor.

Вступ

Застосування напівпровідникових структур з від'ємним опором в класичних схемах підсилювальних, перемикаючих, генераторних і логічних пристроях добре досліджено. Проте застосування магнітореактивного елемента на основі магнітотранзистора в структурах для створення мікроелектронних перетворювачів тільки починається. Існування додаткового каналу зв'язку суттєво підвищує функціональні можливості таких пристроїв, а мікроелектронна технологія дає можливість значно підвищити їх чутливість, діапазон вимірюваних параметрів, швидкодію і надійність [1-3]. В таких перетворювачах транзистор виступає як в якості магніточутливого елемента, так і в якості елемента, який утворює генерацію електричних коливань.

В даній роботі проведені дослідження повного вихідного опору від дії магнітного поля, а також запропоновано схему перетворювача магнітного поля з частотним виходом на основі магніточутливого транзистора та досліджена функція перетворення.

Математична модель

На рис. 1 представлена схема магнітного частотного перетворювача з чутливим елементом – магнітотранзистором VT3, яка складається з МДН-транзистора VT1 та біполярного транзистора VT2, живлення яких здійснюють джерела напруги U1 та U2. Роль індуктивної складової виконує біполярний магнітотранзистор VT3 з RC-колом, утвореним конденсатором C2 та резистором R4. Таким чином, коливальний контур утворено ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-стік транзисторів VT2 та VT1 та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор біполярного магнітотранзистора VT3.

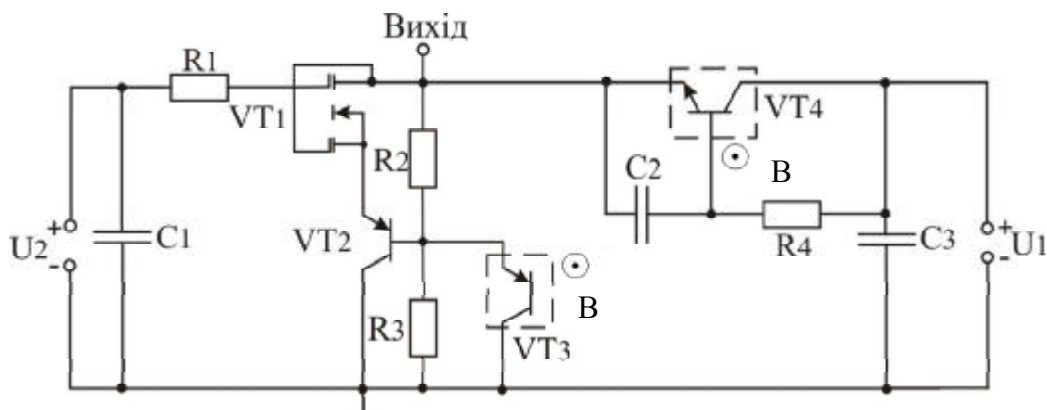


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача на основі магнітотранзистора та активно-індуктивного елемента

Для визначення функції перетворення перетворювача необхідно розрахувати повний опір на електродах колектор-стік транзисторів VT2 та VT1 згідно з його еквівалентною схемою для змінного струму (рис.2).

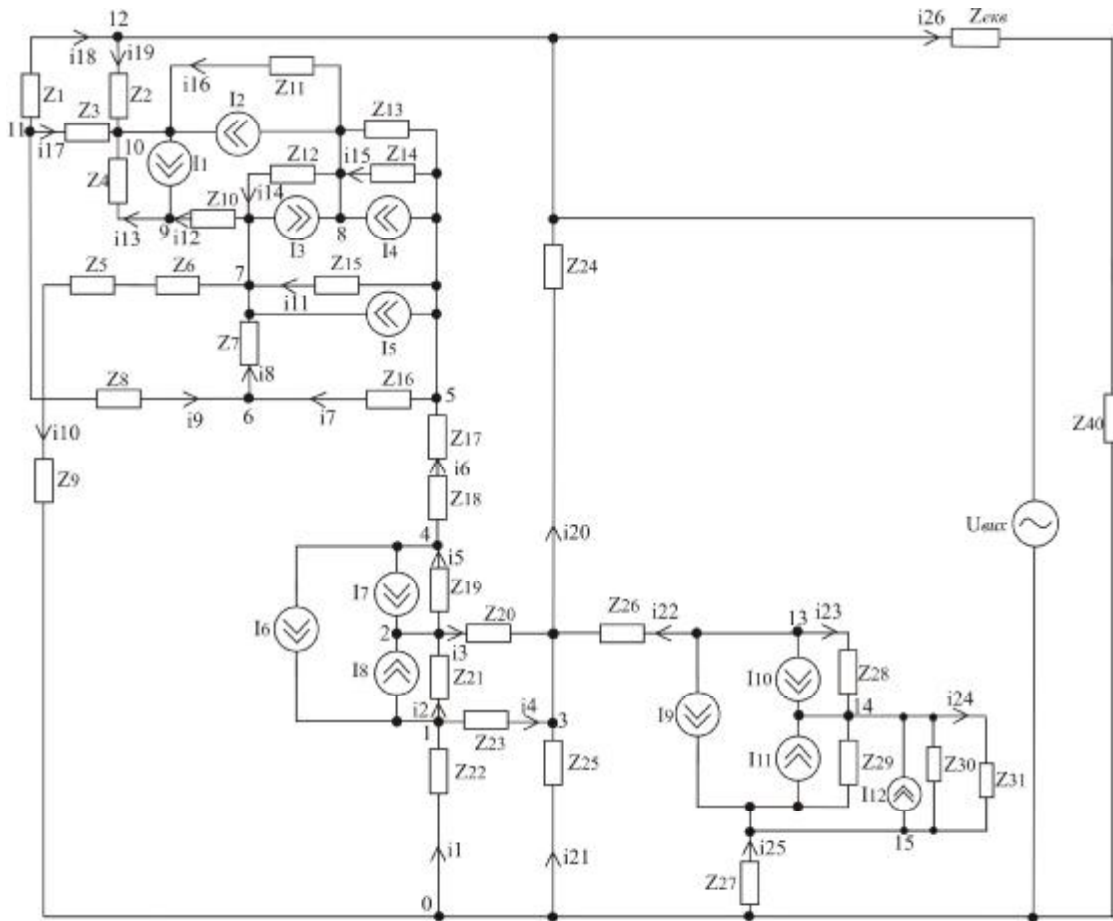


Рис. 2. Перетворена еквівалентна схема оптичного перетворювача по змінному струму

В еквівалентній схемі (рис. 2) використано наступні позначення:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R_1, \quad Z_2 = R_5, \quad Z_3 = R_2 / (1 + w^2 R_2^2 C_4^2) - jR_2^2 w C_4 / (1 + w^2 R_2^2 C_4^2), \quad Z_4 = R_3, \quad Z_5 = R_4, \\
 Z_6 &= R_7, \quad Z_7 = -j / (w C_8), \quad Z_8 = -j / w C_7, \quad Z_9 = -j / (w C_1), \quad Z_{10} = R_6, \quad Z_{11} = -j / (w C_3), \\
 Z_{12} &= -j / (w C_5), \quad Z_{13} = R_8, \quad Z_{14} = -j / (w C_6), \quad Z_{15} = R_9 / (1 + w^2 R_9^2 C_9^2) - jR_9^2 w C_9 / (1 + w^2 R_9^2 C_9^2), \\
 Z_{16} &= R_{10}, \quad Z_{17} = R_{11}, \quad Z_{18} = R_{12}, \quad Z_{19} = -j / (w C_{10}), \quad Z_{20} = R_{13}, \quad Z_{21} = -j / (w C_4), \quad Z_{22} = R_{14}, \\
 Z_{23} &= -j / (w C_{12}), \quad Z_{24} = R_{15}, \quad Z_{25} = R_{16}, \quad Z_{26} = R_{17}, \quad Z_{27} = R_{20}, \quad Z_{28} = -j / (w C_{17}), \quad Z_{29} = -j / (w C_{18}), \\
 Z_{30} &= R_{18} / (1 + w^2 R_{18}^2 C_{19}^2) - jR_{18}^2 w C_{19} / (1 + w^2 R_{18}^2 C_{19}^2), \quad Z_{31} = R_{19}, \quad Z_{32} = R_{21}, \quad Z_{33} = -j / (w C_2), \\
 Z_{34} &= -j / (w C_{13}), \quad Z_{35} = -j / (w C_{14}), \quad Z_{36} = R_{22} / (1 + w^2 R_{22}^2 C_{15}^2) - jR_{22}^2 w C_{15} / (1 + w^2 R_{22}^2 C_{15}^2), \\
 Z_{37} &= R_{23}, \quad Z_{38} = R_{25}, \quad Z_{39} = R_{24}, \quad Z_{40} = -j / (w C_{16}),
 \end{aligned}$$

де R_1 - опір другого затвору МДН-транзистора VT1; R_2 - опір стік-другий затвор двозатворного МДН-транзистора VT1; R_3, R_6, R_9 - опори витіку-стоку двозатворного МДН-транзистора VT1; R_4 - опір резистора R_1 на схемі на рис. 1; R_5 - опір р-п переходу стоку транзистора VT1; R_7 - омичний опір другого затвору двозатворного МДН-транзистора VT1; R_8 - опір підкладки МДН-транзистора VT1; R_{10} - опір витік-перший затвор двозатворного МДН-транзистора VT1; R_{11} - опір витіку МДН-транзистора VT1; R_{12}, R_{17}, R_{21} - опори емітера біполярного транзистора VT2 та магнітотранзисторів VT2 та VT3 відповідно; R_{13} - опір бази біполярного транзистора VT2; R_{14}, R_{20}, R_{25} - опори колектора біполярного транзистора VT2 та магнітотранзисторів VT2 та VT3 відповідно; R_{15} - опір резистора R_2 на схемі на рис. 1; R_{16} - опір резистора R_3 на схемі на рис. ; R_{18} та R_{22} - шунтуючий опір, що входить до складу магнітотранзистора

VT3 та магнітотранзистора VT4 відповідно; R_{19} та R_{23} - опір р-п переходу діода, що входить до складу магнітотранзистора VT3 та магнітотранзистора VT4 відповідно; R_{24} - опір резистора R_4 на схемі на рис. 3.17. C_1 , C_2 та C_{16} - ємності конденсаторів C_1 , C_2 та C_3 на схемі на рис. 1 відповідно; C_3 та C_5 - ємності підкладка-стік МДН-транзистора VT1; C_4 та C_9 - ємності перший затвор-стік МДН-транзистора VT1; C_6 - ємність підкладка-витік МДН-транзистора VT1; C_7 - ємність між першим і другим затвором МДН-транзистора VT1; C_8 - ємність затвор-стік МДН-транзистора VT1; C_{10} , C_{11} - ємність переходу база-емітер та база-колектор транзистора VT2 відповідно; C_{12} - ємність між зовнішнім виводом бази і колектора транзистора VT2; C_{13} , C_{14} - ємність переходу база-емітер та база-колектор магнітотранзистора VT4 відповідно; C_{15} та C_{19} - ємності р-п переходів діодів магнітотранзисторів VT4 та VT3 відповідно; C_{17} , C_{18} - ємність переходу база-емітер та база-колектор магнітотранзистора VT3 відповідно.

Струми, I_6 , I_7 , I_9 , I_8 , I_{10} , I_{11} , I_{13} , I_{14} , I_{15} , що входять до складу еквівалентних схем біполярного транзистора VT2 та магнітотранзисторів VT3 і VT4 відповідно та струми МДН-транзистора I_1 , I_3 , I_4 , I_5 , I_{12} , I_{16} описані в роботі [4].

На основі перетвореної еквівалентної схеми (рис. 2) для розрахунку повного опору схеми складемо систему рівнянь Кірхгофа, використавши метод вузлових потенціалів. Система рівнянь Кірхгофа для змінного струму має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_8 - I_6 = -j_1(y_1 + y_2 + y_4) + j_2 y_2 + j_3 y_4; \\ -(I_7 + I_8) = j_1 y_2 - j_2(y_2 + y_3 + y_5) + j_3 y_3 + j_4 y_5; \\ 0 = j_1 y_4 + j_2 y_3 - j_3(y_{20} + y_{21} + y_4 + y_3 + y_{22}) + j_{12} y_{20} + j_{17} y_{22}; \\ I_7 + I_6 = j_2 y_5 - j_4(y_5 + y_6) + j_5 y_6; \\ I_5 + I_4 = j_4 y_6 - j_5(y_6 + y_7 + y_{11} + y_{15}) + j_6 y_7 + j_7 y_{11} + j_8 y_{15}; \\ 0 = j_5 y_7 - j_6(y_7 + y_8 + y_9) + j_7 y_8 + j_{11} y_9; \\ I_3 - I_5 = j_5 y_{11} + j_6 y_8 - j_7(y_8 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{14}) + j_8 y_{14} + j_9 y_{12}; \\ I_2 - I_3 - I_4 = j_5 y_{15} + j_7 y_{14} - j_8(y_{15} + y_{16} + y_{14}) + j_{10} y_{16}; \\ -I_1 = j_7 y_{12} - j_9(y_{12} + y_{13}) + j_{10} y_{13}; \\ I_1 - I_2 = j_8 y_{16} + j_9 y_{13} - j_{10}(y_{13} + y_{16} + y_{17} + y_{19}) + j_{11} y_{17} + j_{12} y_{19}; \\ 0 = j_6 y_9 + j_{10} y_{17} - j_{11}(y_9 + y_{17} + y_{18}) + j_{12} y_{18}; \\ U_{\text{вих}}(y_{18} + y_{19} + y_{20} + y_{26}) = j_3 y_{20} + j_{10} y_{19} + j_{11} y_{18}; \\ I_{10} + I_9 = j_3 y_{22} - j_{13}(y_{22} + y_{23}) + j_{14} y_{23}; \\ -I_{10} - I_{11} - I_{12} = j_{13} y_{23} - j_{14}(y_{23} + y_{24}) + j_{15} y_{24}; \\ -I_9 + I_{11} + I_{12} = j_{14} y_{24} - j_{15}(y_{25} + y_{24}), \end{array} \right. \quad (1)$$

де провідності гілок схеми визначаються за формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = 1/Z_{22}; \quad y_2 = 1/Z_{21}; \quad y_3 = 1/Z_{20}; \quad y_4 = 1/Z_{23}; \quad y_5 = 1/Z_{19}; \quad y_6 = 1/(Z_{17} + Z_{18}); \\ y_7 = 1/Z_{16}; \quad y_8 = 1/Z_7; \quad y_9 = 1/Z_8; \quad y_{10} = 1/Z_9; \quad y_{11} = 1/Z_{15}; \quad y_{12} = 1/Z_{10}; \quad y_{13} = 1/Z_4; \\ y_{14} = 1/Z_{12}; \quad y_{15} = (Z_{13} + Z_{14})/(Z_{13}Z_{14}); \quad y_{16} = 1/Z_{11}; \quad y_{17} = 1/Z_3; \quad y_{18} = Z_1; \quad y_{19} = 1/Z_2; \\ y_{20} = 1/Z_{24}; \quad y_{21} = 1/Z_{25}; \quad y_{22} = 1/Z_{26}; \quad y_{23} = 1/Z_{28}; \quad y_{24} = (Z_{29} + Z_{30} + Z_{31})/(Z_{29}Z_{30}Z_{31}); \\ y_{25} = 1/Z_{27}; \quad y_{26} = 1/(Z_{\text{екв}} + Z_{40}). \end{array} \right. \quad (2)$$

На основі системи рівнянь (1) за допомогою програмного пакету Matlab 6.5. розрахована активна та реактивна складові повного опору, теоретичні та експериментальні залежності яких від величини магнітного поля показані на рис. 3 та 4.

З рис. 4 та 5 видно, що із збільшенням індукції активна і реактивна складова повного опору збільшуються.

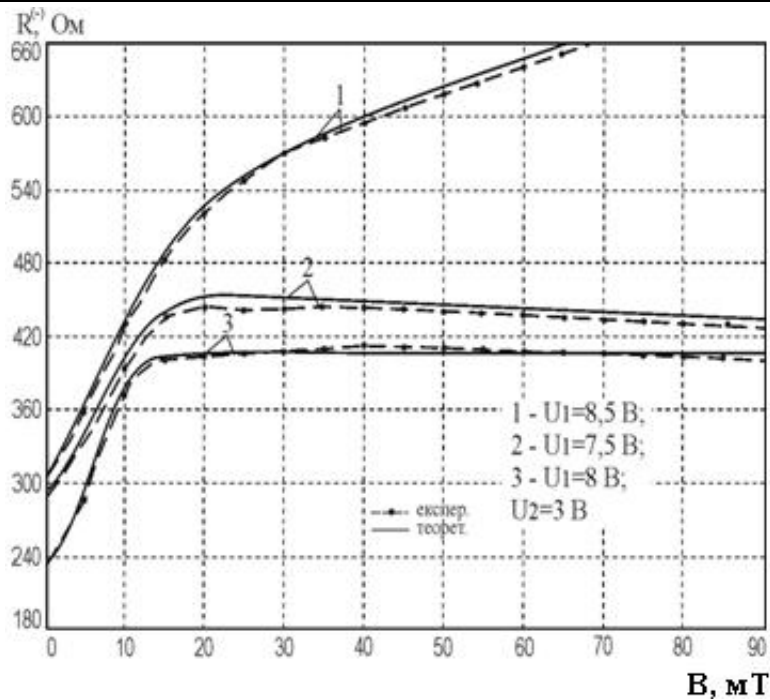


Рис. 3. Теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного опору від індукції

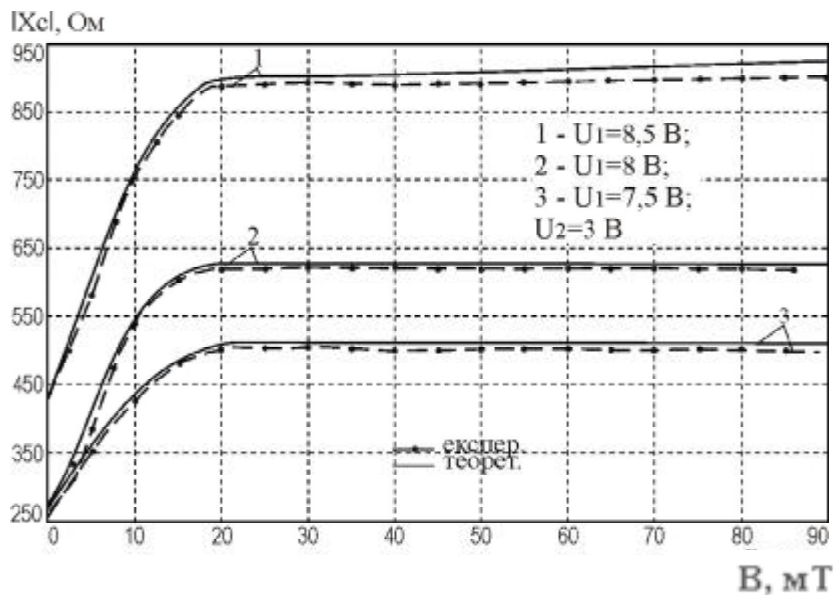


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору

Для визначення функції перетворення необхідно на основі розв'язку системи рівнянь Кірхгофа (1) знайти залежність частоти генерації від потужності оптичного випромінювання. Функція перетворення в цьому випадку буде мати вигляд:

$$F = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2} \sqrt{L_{екв}(B)C_{17}(-L_{екв}(B)C_{17} + R_{19}^2(B)C_{19}^2(B) + R_{19}^2(B)C_{19}(B)C_{17} + A)}}{L_{екв}(B)C_{19}(B)C_{17}R_{19}(B)}, \quad (3)$$

де

$$A = \sqrt{L_{екв}^2(B)C_{17}^2 + 2L_{екв}(B)C_{19}^2(B)C_{17}R_{19}^2(B) - 2L_{екв}(B)C_{17}^2C_{19}(B)R_{19}^2(B) + R_{19}^4(B)C_{19}^4(B) + 2R_{19}^4(B)C_{19}^3(B)C_{17} + R_{19}^4(B)C_{19}^2(B)C_{17}^2},$$

де $L_{екв}$ - значення активного індуктивного елемента, що визначається із повного опору.

Висновки

Розроблена математична модель частотного перетворювача, на основі автогенератора з біполярного то польового транзисторів з магнітотранзистором в якості чутливого елемента та активним індуктивним

елементом На основі моделі отримано залежності активної та реактивної складової повного опору від індукції магнітного поля та аналітичний вираз функції перетворення.

Література

1. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками/ П. В. Новицкий, В. Г. Кнорринг, В. С. Гутников // Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
2. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
3. Осадчук В. С. Оптичний мікроелектронний перетворювач з фототранзистором для контролю плазмохімічних процесів / В. С. Осадчук, Ю. С. Кравченко, О. О. Селецька // Вісник ХНУ. – №5. – 2009. – С.226-231.
4. Викулин И. М. Двухколлекторные магнитотранзисторы / И. М. Викулин, М. А. Глауберман, Г. А. Егизарян // ПиСУ. – 1981. – №10. – С. 34 – 35.
5. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники / А. А.Каяцкас –М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.

Literature

1. Novitsky P. V. Digital devices with frequency sensors/ P. V. Novitsky, V. G. Knorring, V. S. Gutnikov // Leningrad: Energiya, 1970. – 424 p.
2. Osadchuk A.V. microelectronic frequency converters on the basis of transistor structures with negative resistance / A. V. Osadchuk, Vinnitsa, "Universum-Vinnitsya", 2000. – 303 p.
3. Osadchuk V. S. microelectronic Optical transducer with a phototransistor for the control of plasma-chemical processes / V. S. Osadchuk, Yu. P. Kravchenko, A. Seletsky, A. // Bulletin of KhNU. – No. 5. – 2009. – P. 226-231.
4. Vikulin S. M. Dvukhkoridornye magnetotransistor / S. M. Vikulin, N. A. Glauberman. // The Record. – 1981. – No. 10. – S. 34 – 35.
5. Kajackas, A. A. Basics of electronics / A. Kajackas, A. –M.: Higher school, 1988. – 464 p.

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 681.325

Г.Г. БОРТНИК, О.Г. БОРТНИК, Н.О. ПУНЧЕНКО

Вінницький національний технічний університет, Україна

ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ

У роботі представлено швидкодійний аналого-цифровий перетворювач високочастотних сигналів з розширеним динамічним діапазоном, який побудовано на базі принципу паралельного перетворення. Доведено згідно запровадженого критерію ефективності, що цей перетворювач характеризується широким динамічним діапазоном при збереженні високої швидкодії та незначному ускладненні схемотехнічної реалізації.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, високочастотні сигнали, динамічний діапазон.

G.G. BORTNYK, O.G. BORTNYK, N.O. PUNCHENKO

Vinnitsa National Technical University, Ukraine

FAST-ACTING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER IS WITH THE EXTENDED DYNAMIC RANGE

Fast-acting analog-to-digital converter (ADC) of high-frequency signals is in-process presented with the extended dynamic range which is built on the base of principle of parallel transformation.

The generalized criterion of efficiency of base ADC is offered, which takes into account a dynamic range, fast-acting and structural complication of transformer.

It is in-process developed parallel ADC, in which due to adaptation of levels of supporting tension to the value of entrance signal, expansion of dynamic range (increase of number of initial digits), does not result in sharp apparatus complication.

The analysis of efficiency of developed fast-acting ADC allowed to assert that an improvement of the inculcated generalized criterion is at the increase of number of digits, at the same time apparatus complication of transformer remains at acceptable enough level.

Key words: analog-digital converter, high-frequency signals, dynamic range.

Вступ

Швидкодійні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) високочастотних сигналів є обов'язковими компонентами сучасної комп'ютерної та телекомунікаційної техніки [1, 2]. Проблема розробки та виготовлення швидкодійних АЦП з розширеним динамічним діапазоном є однією з найактуальніших проблем комп'ютерної техніки, від вирішення якої безпосередньо залежить ефективність інформаційно-вимірювальних систем швидкоплинних технологічних процесів, комп'ютерних систем цифрового оброблення високочастотних сигналів у складі радіотехнічних комплексів та широкосмугових телекомунікаційних мереж [3,4].

Незважаючи на ряд вже вирішених питань, при застосуванні швидкодійних АЦП високочастотних сигналів з покращеними параметрами існує ще багато проблем, які стримують широке використання АЦП в

комп'ютерних системах. А саме: обмежений динамічний діапазон у смузі високих частот вхідних сигналів (від 10 МГц і вище), недостатньо розроблені принципи побудови швидкодіючих АЦП, що спричиняє обмеження ефективної розрядності перетворювачів [5, 6].

На основі вищевикладеного актуальною задачею є розвиток принципів побудови високоефективних структур швидкодіючих АЦП високочастотних сигналів, які дозволяють виконувати перетворення сигналів у смузі високих частот і характеризуються широким динамічним діапазоном.

Метою роботи є розробка швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача ВЧ-сигналів, що характеризується широким динамічним діапазоном.

Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити критерій ефективності швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача;
- розробити структуру швидкодіючого АЦП ВЧ-сигналів з розширеним динамічним діапазоном;
- виконати комп'ютерне моделювання розробленого АЦП;
- здійснити аналіз ефективності швидкодіючого АЦП ВЧ-сигналів з розширеним динамічним

діапазоном.

Критерій ефективності швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача

Ефективність швидкодіючого АЦП з розширеним динамічним діапазоном можна оцінити за допомогою узагальненого критерія, який би враховував основні чинники при побудові перетворювача.

Найпоширенішими узагальненими критеріями у цьому випадку є критерії виду $Q = \frac{E_{\text{ефект}}}{\text{Витрати}}$ [4]. 3

точки зору врахування на алгоритмічному рівні основних параметрів АЦП: динамічного діапазону, швидкодії та структурної складності, пропонується критерій такого виду:

$$Q = \frac{D_n}{m_e \cdot t_{cn}}, \quad (1)$$

де D_n – нормований динамічний діапазон АЦП; m_e – кількість умовних типових елементів АЦП;

$t_{cn} = \frac{t_c}{T_s}$ – нормований безрозмірний час перетворення АЦП; t_c – час перетворення одного

ступеня

АЦП; T_s – період дискретизації паралельного АЦП.

Нормований динамічний діапазон АЦП з урахуванням шумів квантування дорівнює:

$$D_n = 10^{\frac{6n+1,8}{20}}. \quad (2)$$

Значення m_e визначається кількістю нормованих структурних одиниць АЦП, що еквівалентно кількості елементів, структурна складність яких прийнято за одиницю. Такими елементами в паралельних АЦП є аналогові компаратори. Значення m_e може слугувати також частинним критерієм складності АЦП. Для розробленого АЦП цей критерій дорівнює:

$$m_e = 2^{n_1} + 2^{n_2} - 2. \quad (3)$$

де n_1, n_2 – кількість компараторів відповідно старших і молодших розрядів АЦП.

Для класичного АЦП зчитування $t_{cn} = 1$, а для розроблюваного паралельного АЦП з урахуванням двоступеневого перетворення сигналу $t_{cn} = 2$.

З урахуванням (2) та (3) узагальнений критерій ефективності АЦП набуває вигляду

$$Q_{BADC} = \frac{10^{\frac{6n+1,8}{20}}}{(2^{n_1} + 2^{n_2} - 2) \cdot \frac{t_c}{T_s}}. \quad (4)$$

Цей вираз є справедливим для вихідної розрядності АЦП від 4 бітів і вище.

Структура швидкодіючого АЦП паралельного типу

Для розширення динамічного діапазону АЦП пропонується використовувати багатоступеневу структуру, у якій перетворення аналогового сигналу у цифровий здійснюється за декілька етапів. Основою побудови таких АЦП є базові АЦП зчитування. В серійних високочастотних АЦП використовується від 3 до 7 базових АЦП, що ґрунтуються на паралельному принципі побудови [1]. Базові АЦП паралельного типу набули широкого поширення в конвеєрних перетворювачах завдяки таким перевагам: максимальна швидкодія при мінімальній динамічній похибці, відсутність аналогових лінійних вузлів та регулярність структури. Водночас, паралельні АЦП мають суттєвий недолік, а саме: збільшення розрядності АЦП (розширення динамічного діапазону) супроводжується різким ускладненням схеми, тобто число

компараторів у таких n -розрядних АЦП пропорційна 2^n [4].

У роботі пропонується паралельний АЦП, у якому за рахунок комутації шин джерела опорної напруги, розширення динамічного діапазону (збільшення числа вихідних розрядів), не призводить до різкого апаратного ускладнення.

На рис. 1 наведено структурну схему швидкодіючого АЦП паралельного типу. Пристрій містить: шину напруги E_{in} , вхід стробуючого сигналу E_c , $2^{n-n_1} - 1$ компараторів (К) старших розрядів з прямими (+), інверсними (-) і стробуючими (С) входами, малорозрядний паралельний аналого-цифровий перетворювач (МАЦП), елементи пам'яті (П), зокрема D-тригери, виходи Q_{n1} молодших розрядів, перетворювач коду (ПК), аналоговий комутатор (АК), джерело опорної напруги ДОН, джерело стробуючого сигналу (ДСЕ), елемент І-АБО, шина джерела стробуючого сигналу, дві шини джерела опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача.

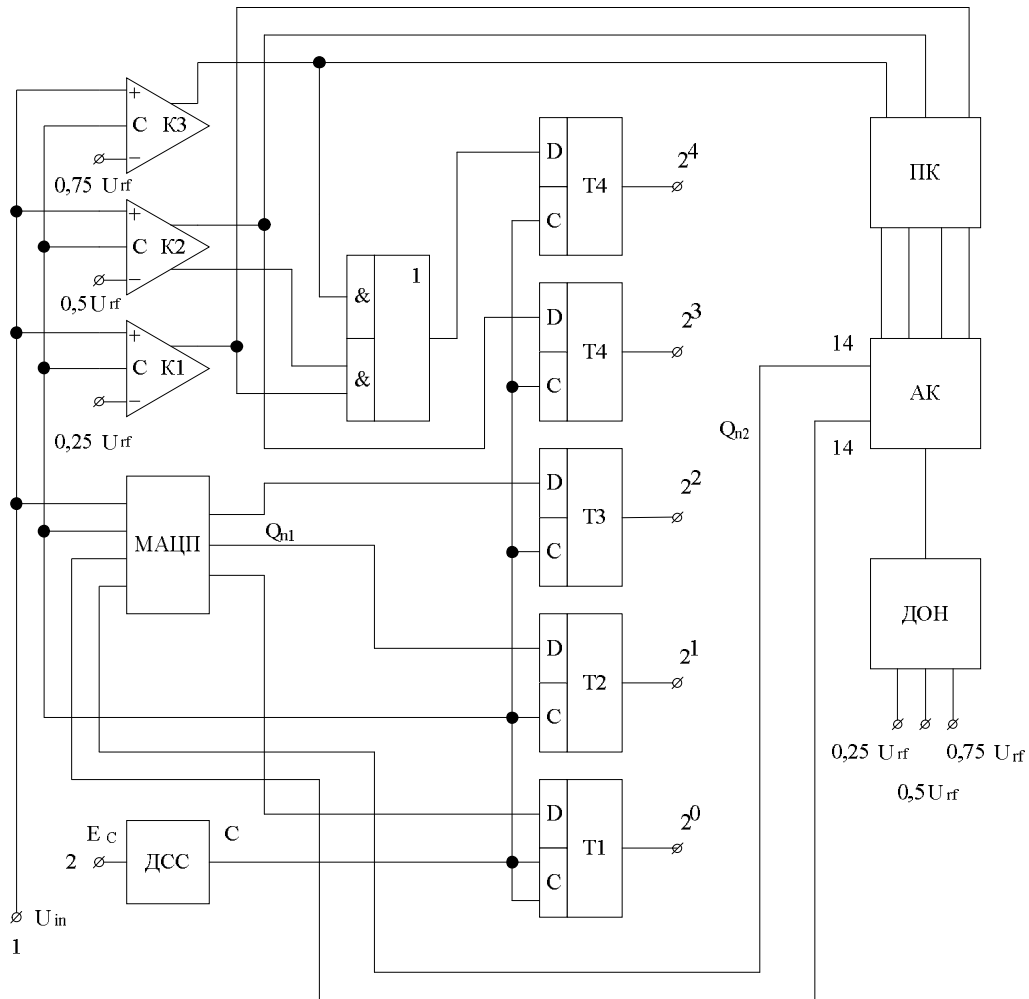


Рис. 1. Структурна схема швидкодіючого АЦП паралельного типу

Число компараторів старших розрядів залежить як від вибраного числа n двійкових розрядів аналого-цифрового перетворювача, так і від числа n_1 розрядів малорозрядного паралельного АЦП і дорівнює $2^{n-n_1} - 1$. У даному випадку число компараторів старших розрядів дорівнює 3, тому що число двійкових розрядів аналого-цифрового перетворювача дорівнює 5 і число розрядів малорозрядного паралельного АЦП дорівнює 3.

Аналого-цифровий перетворювач працює наступним чином. Вхідний сигнал U_{in} , який перетворюється, через вхідну шину надходить на прямі входи компараторів старших розрядів і на сигнальний вхід малорозрядного паралельного АЦП. Опорна напруга, яка формується джерелом опорної напруги, на малорозрядний паралельний АЦП подається по двом шинам джерела опорної напруги, потенціали яких змінюються залежно від цифрового коду на вході аналогового комутатора. Сигнал з виходу компараторів старших розрядів через елемент І-АБО надходить до першого елемента пам'яті. В залежності від значення вхідної напруги U_{in} відбувається зміна вхідних рівнів компараторів старших розрядів і малорозрядного паралельного АЦП, опорна напруга якого визначається кодовою комбінацією перетворювача коду.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0 < U_{in} < 0,25U_{ref}$, на виходах

компараторів формується код 000, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно 0 і $0,25U_{in}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,25U_{rf} - 0 = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 00.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,25U_{rf} < U_{in} < 0,5U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 001, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,25U_{rf}$ і $0,5U_{rf}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,5U_{rf} - 0,25U_{rf} = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 01.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,5U_{rf} < U_{in} < 0,75U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 011, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,5U_{rf}$ і $0,75U_{rf}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,75U_{rf} - 0,5U_{rf} = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 10.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,75U_{rf} < U_{in} < U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 111, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,75U_{rf}$ і U_{rf} . При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 11.

Виходячи з наведеного опису алгоритму функціонування АЦП, значення опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача на кожній із шин джерела опорної напруги змінюється, а різниця потенціалів ΔU між ними залишається постійною, тому що АЦП працює з незмінним кроком квантування.

Виконання паралельного АЦП згідно наведеної схеми з використанням аналогового комутатора, який змінює значення опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача дозволяє підвищити розрядність паралельних аналого-цифрових перетворювачів з одночасним спрощенням пристрою в цілому.

Комп'ютерне моделювання АЦП з розширеним динамічним діапазоном

Найоптимальнішим для моделювання розробленої схеми АЦП є пакет схемотехнічного моделювання NI Multisim 12.0. Моделювання АЦП здійснювалось на рівні принципової електричної схеми, тобто на рівні елементів, що є найбільш точним і адекватним наближенням до реального пристрою, при цьому враховувались динамічні властивості окремих мікросхем. Для кількісного оцінювання якості функціонування швидкодіяного АЦП використовуються результати моделювання вихідного сигналу АЦП у частотному вимірі. Спектр вихідного сигналу АЦП наведено на рис. 2, при цьому знаходяться числові параметри спектра аналогового еквівалента вихідного сигналу досліджуваного перетворювача.

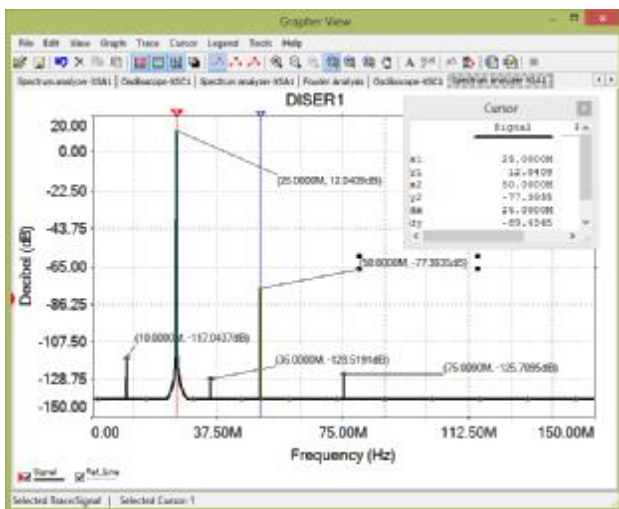


Рис. 2. Спектр вихідного сигналу АЦП

Аналіз результатів моделювання дозволяє стверджувати, що у смузі нижніх частот динамічний діапазон розробленого АЦП на 12 дБ ширший порівняно з класичною структурою АЦП зчитування, а зі збільшенням частоти вхідного сигналу цей виграв зростає і на граничній частоті 50 МГц досягає значення 18 дБ.

Аналіз ефективності швидкодіяного АЦП з розширеним динамічним діапазоном

На базі запропонованого критерію ефективності (4) можна знайти його чисельні значення для конкретних реалізацій швидкодіяних АЦП. У таблиці 1 наведено результати розрахунку критеріїв ефективності розробленого АЦП паралельного типу та класичного АЦП зчитування.

Таким чином, в результаті послідовного використання узагальненого та частинного критеріїв на різних етапах розробки розв'язується задача оптимізації розроблюваних АЦП. Як видно з таблиці 1, АЦП зчитування характеризується високими апаратними витратами, які різко зростають при збільшенні розрядності, а узагальнений критерій набуває низьких значень, які практично не залежать від числа розрядів.

Критерієм якості розробленого АЦП є реальний динамічний діапазон, який у частотному вимірі знаходиться як [4]

$$D_r = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_{\max}} \right) \text{ [дБ]}, \quad (5)$$

де U_1 – амплітуда основної гармоніки вихідного сигналу АЦП; U_{\max} – максимальна амплітуда по усім складовим спектра вихідного сигналу АЦП, окрім основної гармоніки.

Використовуючи процедуру визначення U_1 та U_{\max} для кількох значень частоти вхідного синусоїдального сигналу, можна отримати залежність реального динамічного діапазону АЦП від частоти вхідного сигналу.

Результати розрахунку ефективності АЦП

Число розрядів, n		4	6	8	10
АЦП зчитування	m_e	15	63	255	1023
	Q	1,3	1,23	1,21	1,2
Паралельний АЦП	m_e	6	14	30	32
	Q	1,6	2,8	5,2	9,9

У розробленому швидкодіючому АЦП спостерігається покращення узагальненого критерію ефективності при збільшенні числа розрядів, водночас апаратурна складність перетворювача залишається на достатньо прийнятному рівні.

Висновки

Встановлено, що швидкодіючі АЦП з широким динамічним діапазоном використовують багатоступеневі структури, які будуються на базі АЦП зчитування. Водночас базові АЦП паралельного типу мають суттєвий недолік, а саме: збільшення розрядності АЦП (розширення динамічного діапазону) супроводжується різким ускладненням схеми.

Запропоновано узагальнений критерій ефективності базового АЦП, який враховує динамічний діапазон, швидкодію та структурну складність перетворювача.

У роботі розроблено паралельний АЦП, у якому за рахунок адаптації рівнів опорної напруги до значення вхідного сигналу, розширення динамічного діапазону (збільшення числа вихідних розрядів), не призводить до різкого апаратурного ускладнення.

Аналіз ефективності розробленого швидкодіючого АЦП дозволив стверджувати, що спостерігається покращення запровадженого узагальненого критерію при збільшенні числа розрядів, водночас апаратурна складність перетворювача залишається на достатньо прийнятному рівні.

Література

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование : пер. с англ. / Уолт Кестер. – М. : Техносфера, 2007. – 1016 с. – ISBN 978-5-94836-146-8.
2. Bortnik G. Phase jitter estimation in radio channels of telecommunication systems / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012. – 2012. – P. 307.
3. Bortnik G. Correction of clock jitter in analog-digital equipment of telecommunication system / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M., Cheloyan, V. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010. – 2010. – P. 221.
4. Бортник Г.Г. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с. – ISBN 978-966-641-537-3.
5. Бортник Г.Г. Метод аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів з додатковим шумоподібним сигналом / Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, К.О. Боярський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1. – С.100-105.
6. Бортник Г.Г. Аналого-цифровий тракт комп'ютерних систем з цифровим обробленням високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, О.І. Паламарчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С.74-78.

References

1. Kester W. Analogo-cifrovoe preobrazovsnie / Walt Kester. – M.: Technosphere, 2007. – 1016 p.
2. Bortnik G. Phase jitter estimation in radio channels of telecommunication systems / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012. – 2012. – P. 307.
3. Bortnik G. Correction of clock jitter in analog-digital equipment of telecommunication system / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M., Cheloyan, V. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010. – 2010. – P. 221.
4. Bortnyk G.G. Metodu ta zasobu analogo-cifrovogo peretvoreny vusokochastotnuh signaliv / G.G. Bortnyk, S.G. Bortnyk, V.M. Kuchak. – Vinnytsya: VNTY, 2013. – 128 p.
5. Bortnyk G.G. Analo-cifroviy trakt kompiuternykh system z tsyfrovym obroblienniam vysokochastotnykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, K.O. Boyskey // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 1. – P. 100-105.
6. Bortnyk G.G. Metod analogo-cifrovogo peretvoreny vusokochastotnuh signaliv z dodatkovum shumopodobnum signalom / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, O.I. Palamarchuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 2. – P. 74-78.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Метод багатократної коінциденції є перспективним методом для реалізації вимірювальних пристроїв, в яких час вимірювання є достатнім ресурсом. В статті показано побудову вимірювального пристрою на базі програмованої логіки та оцінка його інструментальної похибки.

Ключові слова: коінциденція, програмована логіка, похибка

I.V. GULA, K.L. HORYASCHENKO, V.V. MISHAN

Khmelnytsky national university, Ukraine

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ

The method is repeated coincidence promising method for the implementation of measurement devices in which the measurement is sufficient resource. The article shows the construction of the measuring device based on programmable logic and scores his instrumental error. By using Altera Baseline software was created electric schematics of proposed device. MAX700 series of PLD was selected for hardware implementation. The main task of the research is to determine the stability of the method of coincidences to errors related to the omission or erroneous detection of matches.

Keywords: coincidence, programmable logic, error

Вступ

Основною перевагою багатократного ноніуса є можливість використання в процесі вимірювання для оцінки всіх розрядів цифрового еквівалента (ЦЕ) вимірювальної величини вихідних величин мір, близьких по значенню до вихідної величини міри, яка використовується для оцінки старшого розряду.

Метод багатократного ноніуса може бути використаний для вимірювання самих різноманітних параметрів (частоти, тривалості інтервалів часу, тривалості імпульсів), а також відношення двох величин і параметрів, наприклад, кута зсуву фаз, шпаруватості імпульсів, процентного відхилення значення перетворювальної величини від номінального її значення.

Конкретний вид перетворювальної величини не змінює послідовності і змісту операції перетворення, тому опис метода багатократного ноніуса доцільно привести для випадку перетворення в код деякої узагальненої величини X .

Метод коінциденції є одним з видів багатократних методів вимірювання до яких відносяться ноніусні методи. Ключовою особливістю метода коінциденції, яка його відрізняє від ноніусних методів є те, що в ньому використовується не одне співпадіння, як в ноніусному та в методі багатократного ноніуса, а два. Ноніусні методи та метод коінциденції мають спільні риси: спільним з одношкальним ноніусом є використання одного генератора опорних частот, з багатократним ноніусом є те що, в методі коінциденції використовується декілька шкал які одночасно порівнюються з одною опорною шкалою. Як і в ноніусних методах в ньому використовується певне співвідношення шкал розміри поділок яких відрізняються на потрібну ступінь квантування (розмір оцінюваного розряду відліків).

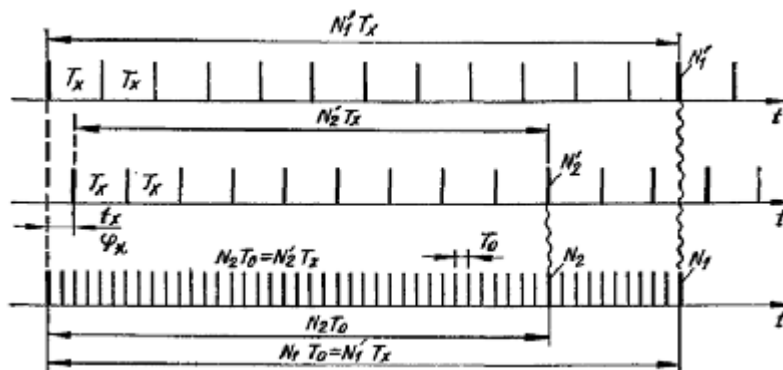


Рис. 1. Вимірювання фази сигналів φ_x методом коінциденції [1]

В роботі [2] було показано, що визначення кута зсуву фази в методі багатократної коінциденції базується на такому фундаментальному явищі як визначення моменту співпадіння. Так, вираз (1) показує загальний вираз для визначення кута зсуву фази:

$$\varphi = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1} \right). \quad (1)$$

де N_1 – перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_2 – друга періодична

послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_1 – перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_x ; N_2 – друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_x .

В випадку помилки у визначенні моменту співпадіння між опорним сигналом та вхідними сигналами виникає похибка, а тоді значення кута зсуву фази вже складе:

$$\varphi_x = (\varphi \pm \Delta\varphi). \quad (2)$$

На рис. 2. показана схема утворення імпульсів збігу на якій три схеми для формування тривалості імпульсів збігу, причому дві схеми – формувачі тривалості імпульсів вхідних сигналів, третя – формувач тривалості імпульсів опорної послідовності. На входи in1, in2 поступає еталонний сигнал, на входи in3, in4 сигнал зсунутий по фазі, на входи in5, in6 поступає сигнал опорного генератора. Формувачі тривалості імпульсів формують короткі імпульси збігу. Сигнал in2 формується з сигналу in1 за допомогою елемента затримки. Таким чином, за допомогою елементів "XOR" (позиція 1) "AND2" (позиція 20) формуються короткотривалі сигнали. Аналогічно формуються імпульси з in3 – in4, in5 – in6.

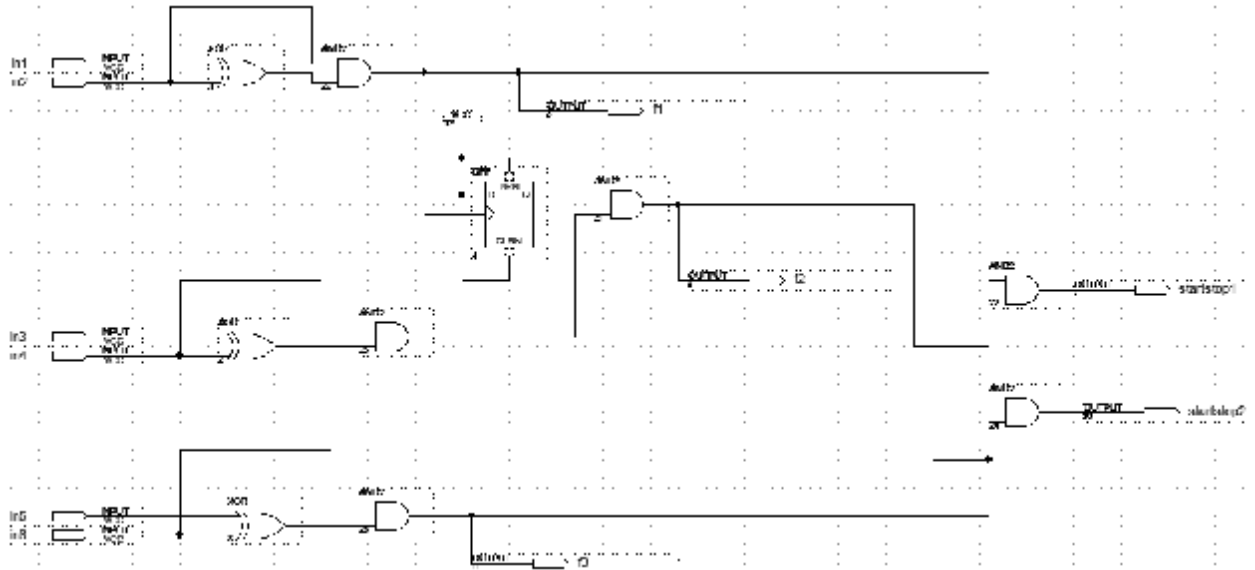


Рис. 2. Схема утворення імпульсів збігу (Середовище Altera Baseline. Проект для MAX7000)

Далі за допомогою елементів "AND2" одночасно порівнюються вхідні сигнали з виходів f1 та f2 з сигналом від опорного генератора f3. В результаті на виході елементів "AND2" (позиції 22 та 24) ми отримуємо короткі імпульси збігу: startstop1, startstop2. Це імпульси збігу вхідних сигналів з сигналом від генератора опорних сигналів. Для того щоб зафіксувати який канал є опорним, в схемі використаний d-тригер з елементом "I", який пропускає сигнал з другого входу після того, як сигнал з'явився на першому. Діаграми роботи схеми представлені на рис. 3.

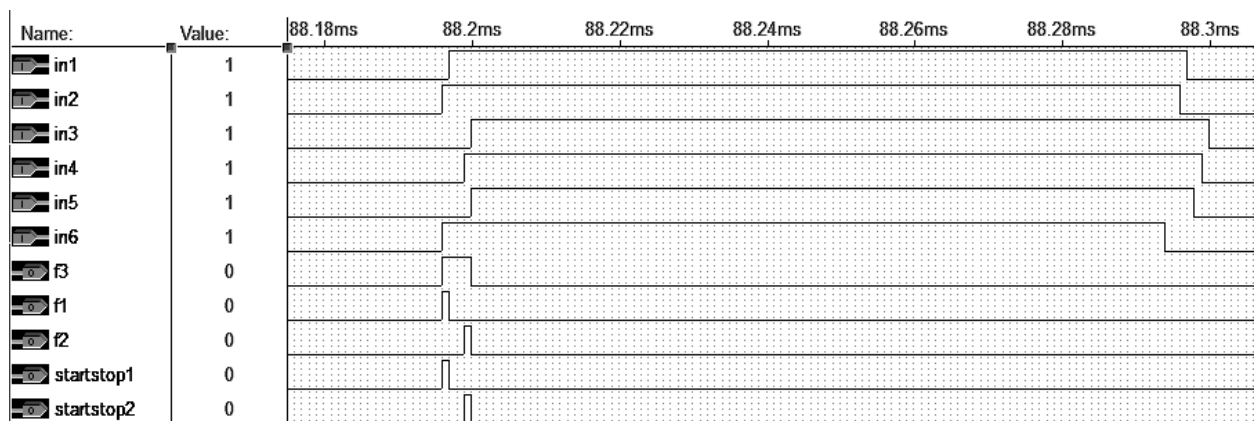


Рис. 3. Діаграми роботи схеми утворення імпульсів збігу

На рис. 3 показано результат моделювання, в якому видно, що сигнали подаються на вхід пристрою у дискретизовані моменти часу. А тому й сигнали співпадіння мають гарантовану тривалість. В реальних умовах сигнали можуть поступати у довільний момент, а отже й при співпадінні може виникнути ситуація пропуску.

Основна частина

Для визначення джерел похибки для методу коінциденції визначимо аналітично найбільш впливові

складові виразу (1). Для визначення похибки виконаємо перетворення виразу (1) використовуючи дії з логарифмами:

$$\ln \varphi = \ln \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1} \right),$$

звідки отримаємо:

$$\ln \varphi = \ln (N_1' N_2 - N_2' N_1) - \ln N_1.$$

Далі розкриємо різницю $N_1' N_2 - N_2' N_1$, та отримаємо

$$\ln \varphi = \ln \left(N_1' N_2 \left[1 - \frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} \right] \right) - \ln N_1,$$

а отже буде

$$\ln \varphi = \ln (N_1' N_2) + \ln \left(1 - \frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} \right) - \ln N_1.$$

Подальші перетворення дозволяють отримати

$$\ln \varphi = \ln N_1' + \ln N_2 + \ln \left(1 - \frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} \right) - \ln N_1 =$$

Прийнявши, виходячи з рис. 1, що $N_2' N_1 > N_1' N_2$, якщо вважати, що N_1, N_2 починаються згідно схеми рис. 2 одночасно, а сигнал співпадіння N_1' буде отримано раніше за N_2' . Тоді $\frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} > 1$. Відповідно,

$$\ln \left(1 - \frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} \right) < 0. \text{ Також, за вищевказаних умов можна прийняти, що } \ln \left(1 - \frac{N_2' N_1}{N_1' N_2} \right) = -\text{const}.$$

Надалі, визначимо похибку визначення кута зсуву фази як диференціал логарифму, використовуючи відоме співвідношення $\Delta(\ln N) = \Delta N / N$, тобто:

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = \frac{\Delta N_1'}{N_1'} + \frac{\Delta N_2}{N_2} - \text{const} - \frac{\Delta N_1}{N_1}. \quad (3)$$

або, згідно правил визначення відносної похибки, заміняємо знаки для максимізації похибки як:

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = \frac{\Delta N_1'}{N_1'} + 2 \frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const}. \quad (4)$$

Для визначення значущості кожної зі складових виразу (4), виконаємо аналіз умов застосування на практиці цього виразу у відношенні до виразу (1).

При опорній частоті f_{on} більшій за вхідну $f_{сиг}$, кількість опорних імпульсів N_1, N_2 буде більша за кількість імпульсів співпадіння N_1', N_2' . А тому відношення $\frac{\Delta N_1'}{N_1'} \rightarrow 0$. Тому отримаємо наступний вираз:

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = 2 \frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const}. \quad (4)$$

При опорній частоті f_{on} наближено рівній вхідній $f_{сиг}$, кількість опорних імпульсів N_1, N_2 буде одного порядку з імпульсами співпадіння N_1', N_2' . А тому відношення $\frac{\Delta N_1'}{N_1'}; \frac{\Delta N_1}{N_1}$. Тому отримаємо наступний вираз:

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = 3 \frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const}. \quad (4)$$

Проведене моделювання дозволило отримати наступний графік абсолютних значень похибок визначення кута зсуву фази.

Висновок

В результаті аналітичної оцінки виразу (1) та моделювання встановлено, що метод багатократної коінциденції є стійким до виникнення поодиноких помилок при визначенні моментів співпадіння в наслідок своєї надлишковості. Як видно з рис. 4, для методу характерно експоненційне наближення до дійсного значення результату вимірювання. З рис. 4 також видно, що наявність хибних спрацювань виду $N_{1,2}' \pm n$ в

цілому може впливати на знак похибки, але зростання кількості відліків усуває цю проблему.

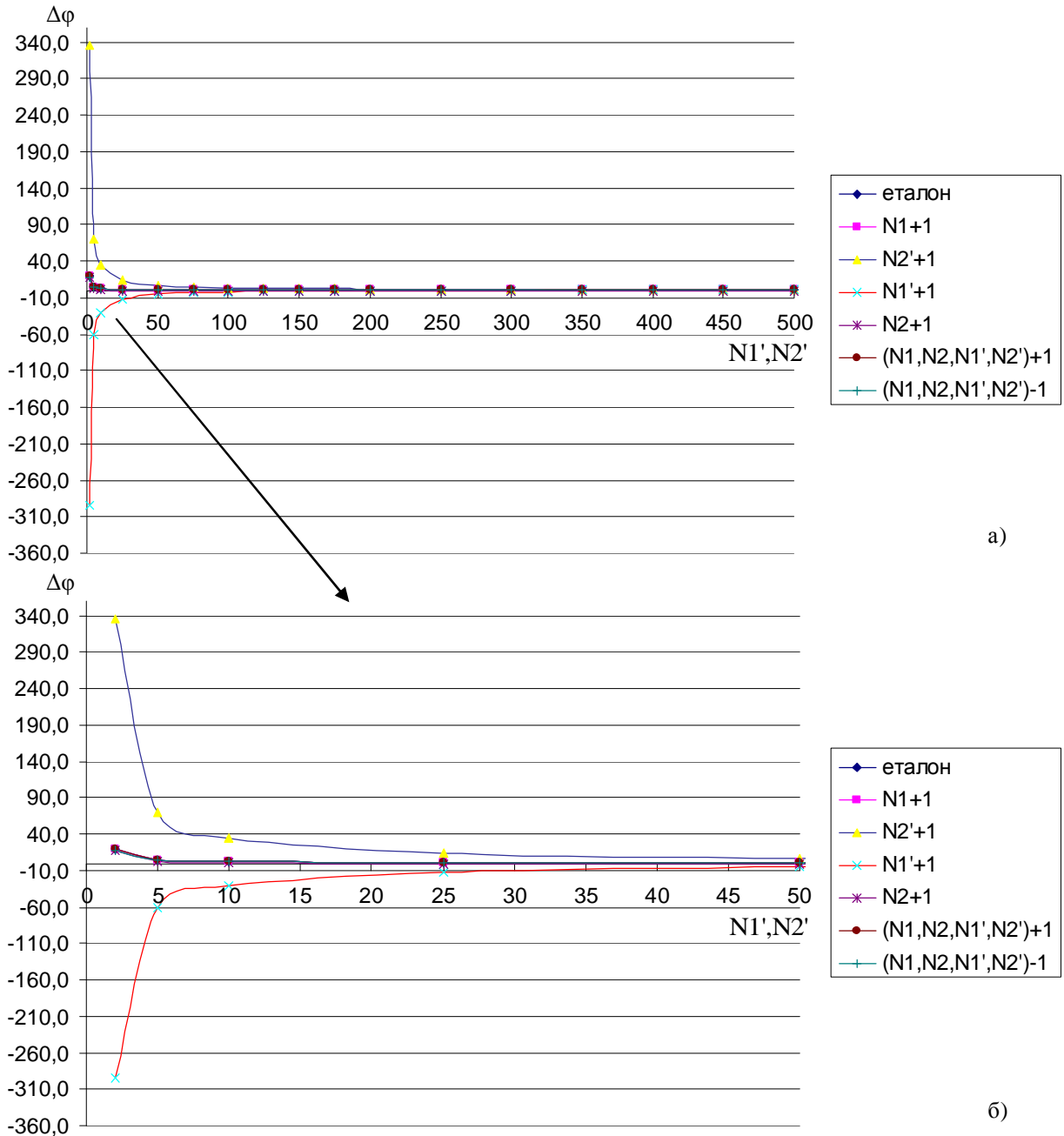


Рис. 4. Моделювання визначення кута зсуву фази при наступних параметрах: $T_{\text{сиг}}=1000$ нс, $T_{\text{оп}}=999,72$ нс, $\varphi=24,00^\circ$. Показано загальний вид від 0 до 500 співпадінь (а), та частина від 0 до 50 співпадінь (б)

Література

1. Гула І.В. Побудова ноніусного фазометру із застосуванням мікропроцесорної техніки / І.В. Гула, К.Л. Горященко, Л.В. Карпова, В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №4. – С. 41-44
2. Горященко К.Л. Похибки методу багатократної коінциденції пакетів імпульсів / К.Л. Горященко, І.В. Гула // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах": сб. наук. пр. – Одеса, 6-12 червня 2014 р. – С.83-84

References

1. Hula I.V., Horiashchenko K.L., Karpova L.V., Strelbitskiy V.V. Phase measurer based on microprocessor. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2014. Issue 4. Pp. 41-44
2. Horyaschenko K.L., Gula I.V. Errors of measuring in method of multicoincidence. Proceedings of the International Scientific Conference "Measuring and computing in technological processes." Odessa, 6-12 June 2014 - S.83-84

Рецензія/Peer review : 12.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 18.10.2015 р.

ВДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

В статті розглянуто вдосконалену систему вимірювання середнього енергоспоживання мікроконтролерів (або мікропроцесорів) під час виконання інструкцій, програм або їх фрагментів. Система забезпечує високу точність і завадостійкість. Її перевагою є те, що значення середнього енергоспоживання мікроконтролерів розраховується як добуток значень результатів вимірювань, проведених прецизійними засобами вимірювання постійної напруги та струму.

Ключові слова: Мікроконтролер, вимірювання енергоспоживання.

O.R. OSOLINSKIY

Ternopil National Economic University

ADVANCED SYSTEM MEASURING ENERGY CONSUMPTION OF MICROCONTROLLERS

The work shows advanced system for measuring average power consumption microcontroller (or microprocessor) during the implementation instructions, programs or their fragments. The system provides high accuracy and noise stability. Its advantage is that the value of the average power consumption microcontrollers calculated by multiplying the values of measurement results conducted by means of precision measuring DC voltage and current.

Keywords: Microcontroller, energy consumption.

Постановка задачі

Вбудовані комп'ютерні системи з автономним живленням використовуються щоразу ширше. Однією з актуальних задач при розробленні таких систем є збільшення часу роботи без відновлення заряду акумуляторів. Це вимагає оптимізації як апаратного, так і програмного забезпечення. Для оптимізації програмного забезпечення необхідно достатньо точно вимірювати енергоспоживання обчислювальних засобів при виконанні команд, інструкцій, фрагментів програм та програм в цілому. Через те, що характер енергоспоживання сучасних мікроконтролерів та мікропроцесорів (в подальшому МК) носить характер піків, прив'язаних о фронтів імпульсів тактового генератора [1, 2], вимірювання як миттєвої, так і середньої споживаної енергії є складною задачею.

В [1, 2] проведено аналіз методів та засобів вимірювання як миттєвого, так і середнього енергоспоживання МК і показано, що при вимірюванні миттєвого енергоспоживання найвищу точність забезпечує схема [3]. Однак у [2, 4] показано, що вона, по-перше, має відносно низьку завадостійкість (електромагнітні завади від електричної мережі впливають на результат вимірювання), а, по-друге, при вимірюванні енергоспоживання фрагментів програм та програм в цілому схемі [3] властиве накопичення похибки. Тому, як запропоновано у [2, 4], результати дослідження енергоспоживання МК при виконанні окремих інструкцій та команд за допомогою схеми [3] слід контролювати шляхом їх порівняння з результатами вимірювання середнього енергоспоживання, наприклад, за допомогою системи, описаної у [2, 4]. Додатковою перевагою системи, описаної у [2, 4], є те, що її структура близька до схеми пристрою, описаного у [3]. Це дозволяє без застережень порівнювати отримані результати вимірювань миттєвого і середнього енергоспоживання – адже схема живлення МК та елементи, що суттєво впливають на похибки вимірювання обох видів енергоспоживання, залишаються тими ж самими.

Запропонований в [4] метод вимірювання середнього енергоспоживання МК зберігає переваги запропонованого у [3] методу вимірювання миттєвого енергоспоживання МК:

Нормальний режим роботи МК – він заземлений і в колі його живлення є конденсатор.

Через те, що МК живиться від джерела струму, баланс струму в колі живлення строго описується першим законом Кірхгофа.

Однак система, описана у [2, 4], значно складніша, за пристрій, описаний у [3]. В її склад входить система вимірювання інтегралу спаду напруги на струмовідвідному резисторі, що захищає МК від перевищення допустимої напруги на ньому під час малого енергоспоживання.

Метою статті є розроблення системи вимірювання середнього енергоспоживання МК, що базується на структурах, які описані у [2 - 4], і зберігає їх переваги, але дає змогу розрахувати середнє енергоспоживання МК лише за результатами вимірювань, проведених прецизійними засобами вимірювання постійної напруги та струму.

Обґрунтування запропонованого методу вимірювання

Узагальнена структурна схема системи, що реалізує запропонований у [4] та описаний у [2] метод, подана на рис. 1. Основна ідея методу полягає в тому, що, якщо живити досліджуваний МК від джерела струму (а не традиційно, від джерела напруги), то суму струмів у вузлі, куди приєднані стабілізатор струму, МК, конденсатор С в колі його живлення та захисний еквівалент стабілітрона (на базі операційного підсилювача) можна записати строго відповідно до першого закону Кірхгофа. При цьому баланс генерованої

та спожитої енергії можна записати наступним чином

$$E_{REFI} = E_{MK} + E_C + E_{ST} + E_{VYM}, \quad (1)$$

де E_{REFI} – енергія стабілізатора струму (генерована, поступає у вузол); E_{MK} – енергія МК (спожита, виходить з вузла); E_C – енергія конденсатора (спожита, виходить з вузла, коли напруга на конденсаторі росте і повернута, поступає у вузол, коли напруга на конденсаторі падає); E_{ST} – енергія, відведена через еквівалент стабілітрона під час захисту МК при перевищенні напруги в колі живлення (на конденсаторі) допустимого значення (спожита, виходить з вузла); E_{VYM} – енергія, спожита вимірвальними колами, мала порівняно з переліченими, нею можна нехтувати.

Відповідним підбором ємності конденсатора в колі живлення МК можна добитися, що максимальні відхилення його напруги живлення будуть настільки малі (не більше 0,5-1%), що не спотворюють енергоспоживання МК.

При реалізації пропонованого у [4] методу спочатку, за допомогою підсистеми регулювання ПСР, налаштовують струм стабілізатора струму I_{REF} таким чином, щоби інтеграл відхилення напруги на МК від початкового значення (що задається джерелом опорної напруги U_{REF}) за час вимірювання T_{VYM} прямував

до нуля, тобто $\int_0^T (U_i - U_{REF}) dt \rightarrow 0$. Тоді зміна енергії, накопиченої конденсатором, буде прямувати до

нуля, тобто $\Delta E_C \rightarrow 0$. Таким чином, конденсатор, створюючи штатні умови роботи МК, практично не змінює баланс енергії генерування-споживання (використовуються керамічні конденсатори, що мають малі струми витоку та інші втрати). Тобто енергію E_C можна виключити з (1) і переписати (1) як

$$E_{MK} = E_{REFI} - E_R, \quad (2)$$

В свою чергу енергія E_{REFI} , генерована джерелом струму I_{REF} , не залежить від енергії споживання МК. Вона може бути визначена як

$$E_{REFI} = U_{REF} \cdot I_{REFI} \cdot T_{VYM}, \quad (3)$$

Якщо МК деякий час споживає мало енергії (виконується набір команд, кожна з яких вимагає відносно мало енергії), напруга на конденсаторі C може зрости вище допустимої для цього МК. Тоді еквівалент стабілітрона спрацьовує та „відводить” надлишковий струм з вузла живлення МК. Цю „відведену” надлишкову енергію при реалізації методу, запропонованого у [4], враховують шляхом контролю струму через еквівалент стабілітрона. Для цього послідовно з еквівалентом стабілітрона увімкнено резистор R (шунт), спад напруги на якому вимірюється вимірвальною підсистемою ВПС. Через те, що струм через еквівалент стабілітрона протікає не постійно, а тільки коли напруга на МК перевищує допустиму, при реалізації методу, запропонованого у [4], необхідно інтегрувати цю енергію за час вимірювання енергоспоживання.

Однак, якщо так підібрати ємність конденсатора C та струм стабілізатора струму I_{REF} , що будуть виконуватися наступні вимоги:

1. напруга на конденсаторі C під час вимірювання енергоспоживання МК буде постійно наближатися до напруги джерела опорної напруги U_{REF} ;
 2. напруга на конденсаторі C під час вимірювання енергоспоживання МК буде постійно нижчою за напругу спрацювання еквівалента стабілітрона;
 3. зміна напруги на конденсаторі C під час вимірювання енергоспоживання МК буде настільки малою (не більше 0,5-1%), що не буде спотворювати енергоспоживання МК;
- то враховувати енергію, яку „відводить” еквівалент стабілітрона не потрібно (вона рівна нулю). В такому випадку (2) можна переписати як

$$E_{MK} = E_{REFI}, \quad (4)$$

і обчислювати спожиту МК енергію згідно (3).

Слід відзначити, що наперед підібрати ємність конденсатора C та струм стабілізатора струму I_{REF} так, щоби виконувалися всі три перелічені вище умови, практично неможливо. Слід врахувати також те, що високочастотний конденсатор C , для виконання вимоги п. 3, повинен мати доволі значну ємність (0,1 – 1 мкФ). Це вимагає використання керамічних конденсаторів на основі титанату барію, які мають відносно великий температурний коефіцієнт. Тому необхідно забезпечити автоматизований підбір ємності конденсатора C в процесі вимірювання енергоспоживання МК.

Структурна схема вдосконаленої системи

Структурна схема вдосконаленої системи вимірювання середнього енергоспоживання МК подана

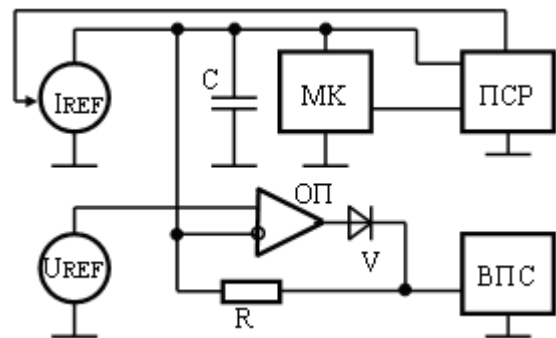


Рис. 1. Узагальнена структурна схема системи вимірювання середнього енергоспоживання МК

на рис. 2. В її склад входять стабілізатор струму СтС, система регулювання його струму СР, прецизійний амперметр постійного струму А, керований магазин ємності Маг.С, досліджуваний МК, стабілізатор опорної напруги СтН, два цифро-аналогових перетворювачі ЦАП1 і ЦАП2, два компаратори напруги КП1 і КП2 та пристрій керування, в склад якого входять два послідовно ввімкнуті перемножувачі Х1 і Х2, блок визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів U_c та лічильник ЛЧ часу виконання досліджуваної інструкції, команди або програми.

Пристрій працює наступним чином. Перед початком експерименту (перед ввімкненням) ємність магазину Маг.С встановлюють максимальною (щоби надлишковий струм СтС не міг зарядити Маг.С до напруги, небезпечної для МК) а струм СтС встановлюють мінімальним. Також межі спрацювання компараторів КП1 і КП2 встановлюють максимальними (шляхом задання відповідних кодів на входах ЦАП1 і ЦАП2).

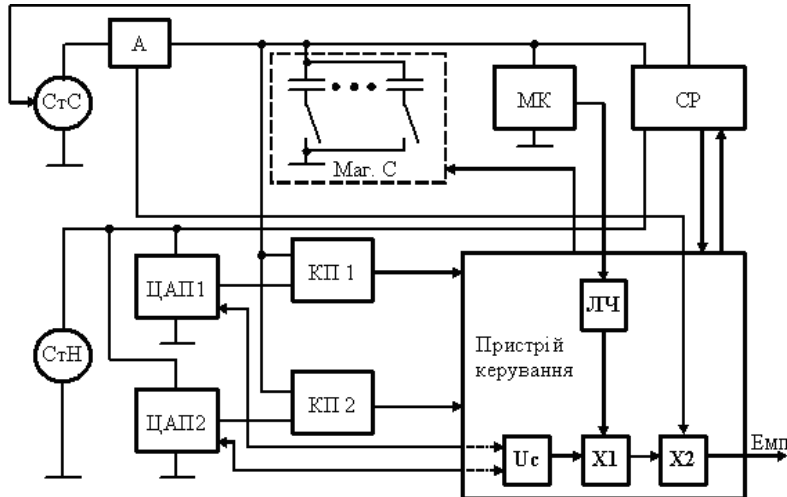


Рис. 2. Структурна схема вдосконаленої системи вимірювання середнього енергоспоживання МК

В пам'ять МК записують підпрограму його самоналаштування (встановлення потрібного режиму роботи своїх вузлів) та послідовність команд, середнє енергоспоживання яких досліджують (це може бути як багатократно повторена одна з команд, так і досліджувана програма або її фрагмент). Перед початком виконання досліджуваної команди (програми), МК посилає регулюючій та вимірювальній системі код старту дослідження. Система регулювання починає інтегрувати відхилення напруги живлення МК від напруги СтН (остання рівна номінальній напрузі живлення МК). Після виконання записаних в пам'ять МК команд (програми) на пристрій керування поступає сигнал закінчення дослідження. Лічильник ЛЧ визначає час виконання програми і перемножувачі Х1 і Х2, згідно (7), визначають енергію, спожиту МК.

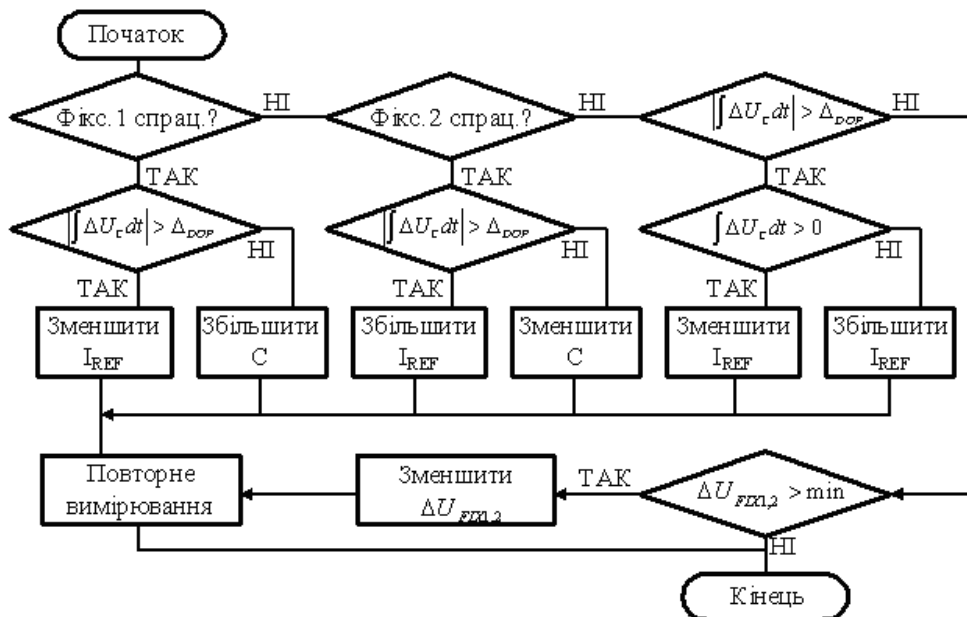


Рис. 3. Алгоритм ітераційного процесу автоматизованого підбору ємності конденсатора С в процесі вимірювання енергоспоживання МК

В процесі налаштування пристрій керування змінює струм СтС та ємність магазину Маг.С згідно алгоритму, поданого на рис. 3. Спочатку пристрій керування аналізує стан першого компаратора, що фіксує

перевищення напругою на МК верхнього допустимого значення. Якщо КП1 спрацював, то пристрій керування опитує систему регулювання. Якщо інтеграл відхилення напруги на МК за час вимірювання перевищує допустиму зміну, то необхідно зменшити струм стабілізатора струму живлення МК (формований стабілізатором струм надто великий, що і викликало перевищення напругою на МК верхнього допустимого значення). Якщо інтеграл відхилення напруги на МК за час вимірювання не показав її зростання, то причиною спрацювання КП1 не є струм стабілізатора струму, а ємність магазину ємності $Mag.C$, її необхідно збільшити, щоби зміни напруги живлення від коливання струму споживання МК стали менші.

Якщо КП1 не спрацював, проводиться аналогічний аналіз спрацювання КП2. Однак в цьому випадку рішення приймаються протилежні, адже КП2 фіксує вихід напругою на МК за нижнє допустиме значення.

Далі аналізується перевищення допустимого значення інтегралом відхилення напруги на МК за час вимірювання. Якщо допустиме значення перевищене та інтеграл зріс, то струм стабілізатора струму живлення МК необхідно зменшити, якщо інтеграл зменшився – то струм слід збільшити.

Якщо перелічені перевірки не ствердили вихід напруги на МК та інтегралу її зміни за допустимі межі, то алгоритм передбачає зменшення допустимого рівня відхилення напруги на МК, що фіксуються компараторами КП1 і КП2. Для цього пристрій керування зменшує різницю напруг на виходах ЦАП1 і ЦАП2. Далі описаний процес налаштування схеми повторюється до того часу, доки допустимий рівень відхилення напруги на МК від напруги StH та зміни напруги на МК за час вимірювання не стане настільки малим, що не впливатиме на результат вимірювання енергії. Тоді ітераційний процес автоматизованого підбору ємності конденсатора C закінчується.

Пристрій керування обчислює значення спожитої МК енергії згідно (3). Для цього він використовує середнє значення вихідних напруг ЦАП1 і ЦАП2. Це середнє значення повинно бути рівне вихідній напрузі стабілізатора StH (при виконанні алгоритму рис. 3 зменшення різниці напруг на виходах ЦАП1 і ЦАП2 повинно проводитися симетрично до напруги StH). Але в деяких випадках, в процесі ітераційного зменшення різниці напруг на виходах ЦАП1 і ЦАП2, може виникнути несиметричність зміни напруг на виходах ЦАП1 і ЦАП2. Хоча ця несиметричність не перевищує одиниці молодшого розряду, використання при обчисленні, згідно (3), спожитої МК енергії середнього значення напруг на виходах ЦАП1 і ЦАП2 забезпечує вищу точність, ніж використання номінальної напруги живлення МК (яка рівна напрузі StH). Струм IREF стабілізатора струму StC вимірюється прецизійним амперметром A після закінчення процесу вимірювання (щоби зменшити вплив імпульсного характеру споживання МК на результат вимірювання). Час вимірювання T_{VYM} визначається за частотою тактового генератора МК та кількістю тактових імпульсів, що поступили на лічильник ЛЧ за час виконання заданої кількості інструкцій, команд або програми. Таким чином, всі співмножники, що входять у (3), відомі з високою точністю – вони можуть бути виміряні на постійному струмі за допомогою прецизійних вимірювальних приладів. Час вимірювання T_{VYM} визначається за частотою кварцового генератора, яку також можна виміряти прецизійним частотоміром.

Висока завадостійкість результатів вимірювань, як і в системі, описаній у [2, 4], визначається вибором часу вимірювання T_{VYM} , по-перше, достатньо великим, і, по-друге, кратним періоду мережі живлення.

Слід відзначити, що вдосконаленій системі вимірювання середнього енергоспоживання МК, як і системі, описаній у [2, 4], притаманна методична похибка, пов'язана з припущенням: коли після виконання

налаштування $\int_0^T (U_i - U_{REF}) dt \rightarrow 0$, то можна вважати, що $\int_0^T u_i \cdot i_i \cdot dt = U_{REF} \cdot I_{REF} \cdot T_{VYM}$.

Остання рівність безумовно має місце, коли МК був би лінійним споживачем енергії (його еквівалентний опір не залежав би від споживаного струму або напруги живлення). Однак, напівпровідникові елементи, з яких складається МК, є нелінійними елементами, в зв'язку з чим і виникає згадана методична похибка. Але її значення, оцінене у [2], буде досить малим. Допустимі межі зміни напруги на досліджуваному МК вибирають таким чином, щоби зміни напруги на ньому під час вимірювання не перевищували $\pm 1\%$. Тоді, згідно [2], методична похибка не буде перевищувати $0,02\%$.

Висновки і плани подальших досліджень

Розроблена система вимірювання енергоспоживання МК дозволяє виміряти середню споживану ними енергію з високою точністю. Разом із системою, описаною в [1] вона дозволяє надійно вимірювати енергію виконання окремих інструкцій. Самостійно вона дає змогу досить точно вимірювати енергію, спожиту при виконанні програм у цілому або їх фрагментів. Як було показано вище, система, за рахунок самоналаштування в процесі вимірювання, забезпечує високу точність результатів вимірювання енергоспоживання МК.

За рахунок вибору часу вимірювання, кратного періоду мережі живлення, система має високу завадостійкість.

В подальшому необхідно буде більш детально оцінити залежності методичної похибки від характеру енергоспоживання МК та амплітуди зміни напруги під час вимірювання спожитої енергії. Також треба буде дослідити завадостійкість як системи, описаної у [2, 4], так і запропонованої у даній статті.

Література

1. Боровий А.М. Інформаційно-вимірювальна система дослідження параметрів енергоспоживання мікропроцесорів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти // Андрій Модестович Боровий. – Тернопіль : ТНЕУ, 2012. – 266 С.
2. Осолінський О.Р. Система вимірювання енергоспоживання мікроконтролерів / О.Р. Осолінський, В.В. Кочан, П.Є. Биковий, М.І. Чирка // Міжнародний науково-технічний журнал Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах - Хмельницький, 2014. №4 (49). –С. 109-113.
3. Патент 90922 України, МПК7 G05F 5/00, G01K 17/00. Пристрій вимірювання енергії імпульсних споживачів / А. М. Боровий, І. М. Майків, Р. В. Кочан, З. І. Домбровський, В. В. Кочан; заявник і патентовласник А. М. Боровий, І. М. Майків, Р. В. Кочан, З. І. Домбровський, В. В. Кочан — № а2008 06325; заявл. 13.05.08; опубл. 10.06.10, Бюл. №11. — 4 с.: іл.
4. Спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача та пристрій для його реалізації: Заявка: № а201403292 Україна: G01R 5/00; заявники Осолінський Олександр Романович, Кочан Володимир Володимирович, Домбровський Збішек Іванович, Кочан Орест Володимирович; заявл. 31.03.2014

References

1. Borovyi A.M. Informatsiino-vymiriuvalna systema doslidzhennia parametriv enerhospozhyvannia mikroprotsesoriv: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.13.05 - kompiuterni systemy ta komponenty // Andrii Modestovych Borovyi. – Ternopil : TNEU, 2012. – 266 S.
2. Osolinskyi O.R. Systema vymiriuvannia enerhospozhyvannia mikrokontroleriv / O.R. Osolinskyi, V.V. Kochan, P.Ie. Bykovyi, M.I. Chyrka // Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal Vymiriuvalna ta Obchysliuvalna Tekhnika v Tekhnolohichnykh Protsesakh - Khmelnytskyi, 2014. №4 (49). –S. 109-113.
3. Patent 90922 Ukrainy, MPK7 G05F 5/00, G01K 17/00. Prystrii vymiriuvannia enerhii impulsnykh spozhyvachiv / A. M. Borovyi, I. M. Maikiv, R. V. Kochan, Z. I. Dombrovskiy, V. V. Kochan; zaiavnyk i patentovlasnyk A. M. Borovyi, I. M. Maikiv, R. V. Kochan, Z. I. Dombrovskiy, V. V. Kochan — № а2008 06325; zaiavl. 13.05.08; opubl. 10.06.10, Biul. №11. — 4 s.: il.
4. Sposib vymiriuvannia serednoi enerhii impulsnoho spozhyvacha ta prystrii dlia yoho realizatsii: Zaiavka: № а201403292 Ukraina: G01R 5/00; zaiavnyky Osolinskyi Oleksandr Romanovych, Kochan Volodymyr Volodymyrovych, Dombrovskiy Zbyshek Ivanovych, Kochan Orest Volodymyrovych; zaiavl. 31.03.2014

Рецензія/Peer review : 12.9.2015 р.

Надрукована/Printed :27.10.2015 р.
Рецензент:

УДК 004.891.2:004.7

С.М. БАБЧУК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ
СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИБОРУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ
КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Визначено, що ефективним засобом вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж може бути відповідна комп'ютерна система підтримки прийняття рішень.

В результаті проведеної роботи розроблено два алгоритми роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств.

Отримані під час дослідження результати сприятимуть подальшому створенню спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж, яка забезпечить прийняття ефективних рішень щодо подальшої модернізації АСУ ТП підприємства.

Ключові слова: спеціалізовані комп'ютерні мережі, промислові мережі, HART-протокол, Interbus, CAN, WorldFIP, EtherNet/IP, автоматизовані системи управління технологічними процесами.

S. BABCHUK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**DECISION SUPPORT SYSTEM ALGORITHMIC SOFTWARE ON SPECIALIZED
COMPUTER NETWORK (FIELDBUS) SELECTION FOR TECHNOLOGICAL
PROCESSES AUTOMATION SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

There has been determined that the respective decision support system can be an effective way of selection of specialized computer networks.

As a result of carried out work there were developed two algorithms of work of decision support system on specialized computer network selection for technological processes automation systems of industrial enterprises.

The received results will contribute to further creation of the specialized decision support system on specialized computer network selection that will provide effective decision making in terms of further modernization of automation management systems of industrial enterprises.

Keywords: fieldbus, specialized computer networks, industrial networks, HART-protocol, Interbus, CAN, WorldFIP, EtherNet / IP, automated process control systems.

Постановка проблеми

Промисловість є найважливішим структурним сектором господарського комплексу України. На промисловість України припадає третина основних фондів. На промислових підприємствах працює понад 35 % населення, зайнятого в народному господарстві України. Провідна роль промисловості в економіці України визначається, перш за все, тим, що вона забезпечує всі галузі народного господарства знаряддями праці, матеріалами та сировиною.

За офіційними даними Держкомстату України більше 70 % основних засобів усіх підприємств країни є застарілими. Так, рівень спрацювання техніки, обладнання, транспортних засобів і інших активів становить 80-90 % [1]. Вони вже не забезпечують ефективного та інтенсивного виробництва, а це відповідно призводить до великих виробничих витрат.

На багатьох вітчизняних підприємствах оновлення активної частини виробничих основних засобів не проводилося впродовж багатьох років, а технології виробництва залишаються на рівні другої половини минулого століття і не відповідають сучасним вимогам.

В глобалізаційних та інтеграційних умовах основною вимогою для ефективного функціонування українських підприємств та конкурентоспроможності їхньої продукції на світовому ринку є вимога оновлення основних виробничих фондів та застосування новітніх технологій у процесі виробництва. Оскільки якісний склад виробничих основних засобів прямо визначає технічний рівень продукції, що виготовляється, а ефективність використання безпосередньо впливає на кінцеві результати господарської діяльності підприємства.

Використання нової техніки і технології у виробничому процесі є запорукою ефективного і рентабельного функціонування підприємства. Досвід більшості розвинених країн свідчить, що понад 80% зростання ВВП забезпечується технологічними нововведеннями, які здійснюються через технічне переозброєння виробництва.

Важливою складовою частиною сучасних підприємств є системи автоматизації керування технологічними процесами та виробництвами. Тому одним з основних напрямків модернізації виробничих

потужностей підприємства є модернізація систем автоматизації [2,3].

В умовах бурхливо зростаючого виробництва мікропроцесорних пристроїв ефективним рішенням стали системи автоматизації на базі спеціалізованих комп'ютерних мереж (fieldbus), що складаються з багатьох вузлів, обмін між якими здійснюється цифровим способом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час підприємствами світу використовується більше сотні різних спеціалізованих комп'ютерних мереж, протоколів і інтерфейсів, застосовуваних у системах автоматизації [4-10]. Проте, інформація про них в українських засобах інформації майже відсутня. Тому, керівництво підприємств та служб КВП і А обмежені в інформації, яка необхідна для прийняття зважених і обґрунтованих рішень. Сьогодні рішення щодо вибору тієї чи іншої спеціалізованої комп'ютерної мережі приймаються керівництвом підприємства-споживача на обмеженій інформаційній базі або на основі інформації, отриманої від одного зацікавленого джерела (продавця обладнання одного виробника), що не дозволяє зробити оптимальний вибір.

На сьогоднішній день в умовах складного динамічного середовища, що характеризується постійною невизначеністю та мінливістю політичних, економічних і соціальних факторів, основою успішного функціонування господарюючих суб'єктів є ухвалення ефективних управлінських рішень. Сучасні системи підтримки прийняття рішення є системами, максимально пристосованими до вирішення задач повсякденної управлінської діяльності, і є інструментом, покликаним надати допомогу особам, що приймають рішення [11].

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) – це інтерактивні комп'ютерні системи, які призначені для підтримки різних видів діяльності та прийняття рішень із слабоструктурованих або неструктурованих проблем.

Інтерес до СППР як до перспективного напрямку використання обчислювальної техніки і як до інструментарію підвищення ефективності праці у сфері управління постійно зростає. За допомогою систем підтримки прийняття рішень, в яких сконцентровані потужні методи математичного моделювання, теорії управління, інформаційних технологій, може здійснюватися вибір рішень деяких неструктурованих і слабоструктурованих задач, у тому числі й багатокритеріальних. Тому системи підтримки прийняття рішень, як правило, є результатом ґрунтовних досліджень та включають елементи теорії баз даних, штучного інтелекту, інтерактивних комп'ютерних систем.

В [12] описано дослідження в результаті яких було створено базу знань “Спеціалізовані комп'ютерні мережі”. Дана база знань може стати складовою частиною спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств.

В даний час необхідно розробити алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж з вже наявної бази знань “Спеціалізовані комп'ютерні мережі”.

Формулювання завдання дослідження

В зв'язку з вищевказаним, метою досліджень було розробити алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств.

Розробка алгоритмічного забезпечення спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств

З метою, вироблення стратегії створення алгоритму спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств було проведено аналіз існуючих спеціалізованих комп'ютерних мереж.

Встановлено, що в спеціалізованих комп'ютерних мережах виробниками нормована неоднакова кількість та перелік показників роботи мережі. Даний факт ускладнює процеси порівняння та вибору необхідної мережі. Крім того, в одній мережі може бути вищий один показник роботи, а в іншій даний показник нижчий, і навпаки для іншого показника роботи:

- в мережі SDS (Smart Distributed Systems) максимальна допустима довжина одного сегменту 457 метрів (1500 футів) при максимальній швидкості передавання даних 125 кбіт/с;
- в мережі ВІТBUS максимальна допустима довжина одного сегменту 1200 метрів при максимальній швидкості передавання даних 62,5 кбіт/с.

Таким чином максимальна довжина одного сегменту в мережі ВІТBUS довша від максимальної довжини одного сегменту мережі Smart Distributed Systems в 2,6 рази. Проте, максимальна швидкість передавання даних в мережі ВІТBUS (при довжині сегменту 457 метрів) менша від максимальної швидкості передавання даних мережі Smart Distributed Systems в 2 рази.

Складність у порівнянні мереж також створює той факт, що в деяких мережах швидкість передавання даних при будь-якій довжині сегмента залишається сталою (наприклад, мережі CC-Link ІЕ, FL-

net, INTERBUS-S), а у великій кількості промислових мереж максимальна швидкість передавання даних змінюється в залежності від довжини сегменту. Крім того, різними виробниками ці довжини сегментів можуть встановлюватись різними, як за кількістю варіантів довжини сегменту, так і за довжиною можливих сегментів. Для прикладу розглянемо дві вищезгадані мережі BITBUS та SDS:

- в мережі BITBUS передбачено два варіанти довжини сегменту: 300 м (швидкість передавання даних – 375 кбіт/с) і 1200 м (швидкість передавання даних – 62,5 кбіт/с).
- в мережі SDS передбачено чотири варіанти довжини сегменту: 22,8 м (швидкість передавання даних – 1 Мбіт/с), 91 м (швидкість передавання даних – 500 кбіт/с), 183 м (швидкість передавання даних – 250 кбіт/с), 457 м (швидкість передавання даних – 125 кбіт/с).

Необхідно відмітити, що при виборі спеціалізованої комп'ютерної мережі замовник може первинно поставити ряд високих вимог до показників роботи мережі, які на практиці взаємовиключають один одного. Наприклад, що б спеціалізована комп'ютерна мережа забезпечувала високу швидкість передавання даних 10 Мбіт/с і була сертифікована у відповідності до міжнародного стандарту IEC 61158-2, як така яка може працювати у вибухонебезпечній зоні. Проте, мережі які відповідають міжнародному стандарту IEC 61158-2 працюють із швидкістю передавання даних тільки 31,25 Кбіт/с.

Також, можна спрогнозувати, що при певних заданих критеріях пошуку необхідної мережі їм може відповідати велика кількість спеціалізованих мереж, а при інших заданих критеріях пошуку може скластись ситуація, коли жодна з мереж не буде відповідати заданим критеріям.

В зв'язку з вищевказаним та враховуючи проведений аналіз існуючих спеціалізованих комп'ютерних мереж прийнято рішення, що доцільно передбачити два режими роботи системи підтримки прийняття рішень:

- "ручний" режим;
- автоматизований режим.

В "ручному" режимі спочатку в спеціалізовану комп'ютерну систему вводиться значення показника роботи мережі, який замовником (користувачем) вибраний як найважливіший. По даному введеному показнику вибираються спеціалізовані комп'ютерні мережі, які йому відповідають. Потім в спеціалізовану комп'ютерну систему вводиться значення другого показника роботи мережі, який замовником (користувачем) вибраний як другий за важливістю. По другому введеному показнику вибираються спеціалізовані комп'ютерні мережі, які йому відповідають. І так процес вибору повторюється до того часу, поки не відбудеться одна з подій:

- будуть введені всі показники, які є визначені замовником (користувачем) до шуканої спеціалізованої комп'ютерної мережі. В такому випадку замовнику (користувачу) необхідно вибрати одну з мереж, яка задовольняє всім його вимогам з наявного переліку. В даному випадку може бути врахований, наприклад, географічний фактор (географічна близькість виробника до споживача, знання мови країни виробника) або інші фактори які мають мережі і які роблять їх використання більш привабливим (наприклад, легка і зручна процедура об'єднання з вже існуючими на підприємстві системами автоматизації);

- після введення чергового показника роботи мережі виявляється, що жодна мережа не відповідає йому на даний момент (наприклад, якщо на попередньому етапі пошуку замовником (користувачем) було вибрано мережі, які забезпечують швидкість передавання даних 10 Мбіт/с, а після цього робиться пошук в мережах, що залишились такої мережі, яка сертифікована у відповідності до міжнародного стандарту IEC 61158-2, як така яка може працювати у вибухонебезпечній зоні. Проте, необхідні мережі були виключені з пошуку на попередньому етапі, адже вони працюють із швидкістю передавання даних тільки 31,25 Кбіт/с, яка менша 10 Мбіт/с.

Якщо процес пошуку завершується першим варіантом і ми отримуємо рекомендацію з вибору необхідної нам спеціалізованої комп'ютерної мережі, то на цьому процес пошуку завершується. Якщо процес пошуку завершується

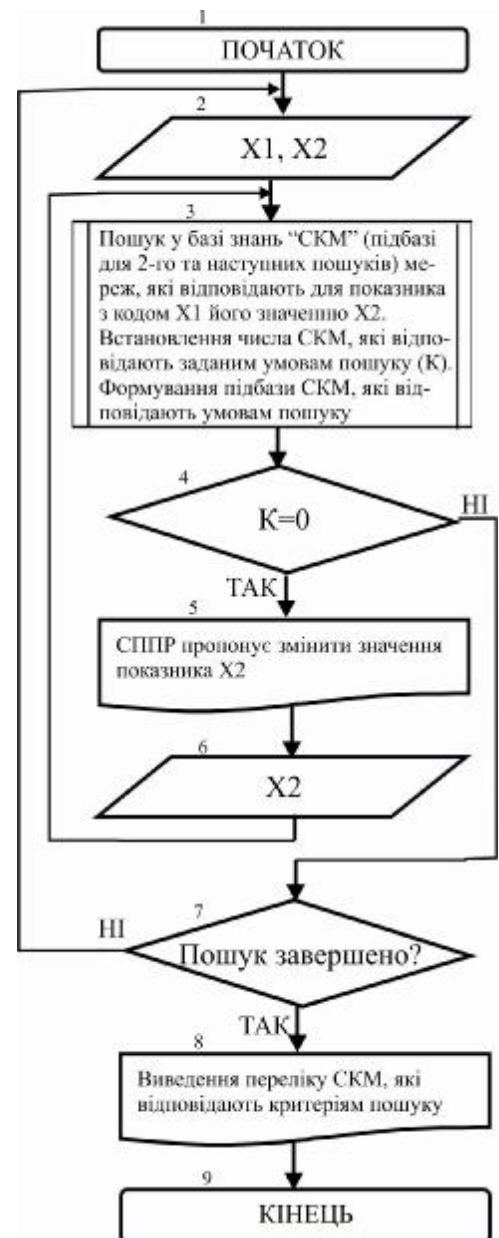


Рис. 1. X1 – код показника СКМ, який є критерієм пошуку; X2 – значення показника СКМ, який є критерієм пошуку; K – кількість СКМ, яка відповідає заданим умовам пошуку

Рис. 1. Алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (в "ручному" режимі) з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств

другим варіантом, то ми отримуємо рекомендацію переглянути попередній критерій пошуку і повертаємось на крок назад.

Алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (в "ручному" режимі) з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств зображений на рис. 1.

Для роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств в автоматизованому режимі замовник (користувач) вводить в систему (в порядку від найбільш пріоритетного до найменш пріоритетного):

- коди показників СКМ, які виступатимуть критеріями пошуку (наприклад, довжина сегменту);
- значення показника СКМ (наприклад, максимальна довжина сегменту – 1200 м).

Якщо процес пошуку в автоматизованому режимі завершується результативним варіантом, то ми отримуємо рекомендацію з вибору необхідної нам спеціалізованої комп'ютерної мережі, та на цьому процес пошуку завершується. Якщо процес пошуку завершується варіантом, коли відсутня мережа, яка задовольняє критеріям пошуку, то ми отримуємо рекомендацію переглянути попередній критерій пошуку і повертаємось на крок назад.

Алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (в автоматизованому режимі) з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств зображений на рис.2.

Висновки

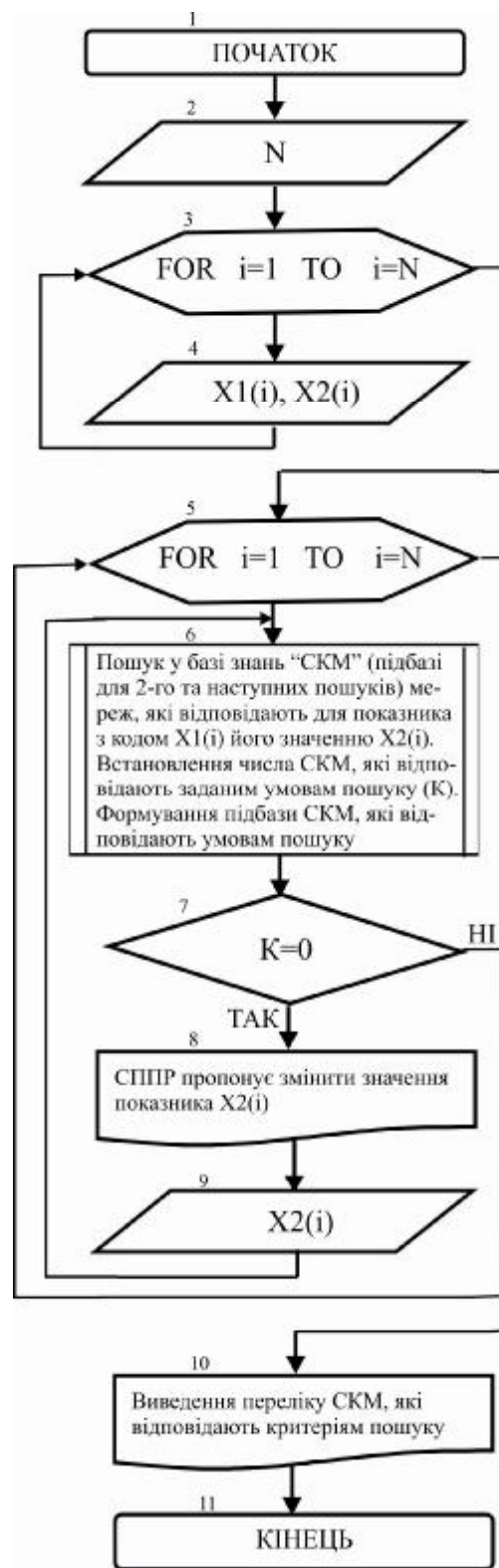
В результаті проведеного аналізу існуючих спеціалізованих комп'ютерних мереж встановлено, що в спеціалізованих комп'ютерних мережах виробниками нормована неоднакова кількість та перелік показників роботи мережі. Вищевказане та ряд інших встановлених факторів ускладнюють процеси порівняння та вибору необхідної мережі.

В результаті проведеної роботи розроблено два алгоритми роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств.

Отримані під час дослідження результати сприятимуть подальшому створенню спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств, яка забезпечить прийняття ефективних рішень щодо подальшої модернізації АСУ ТП підприємства.

Література

1. Осіпчук Г. С. Відтворення основних засобів в системі управління підприємством / Г.С. Осіпчук // Наукові конференції. – 2011. – №8. – С. 18-21
2. Бабчук С. М. Визначення напрямків модернізації існуючих автоматизованих систем управління технологічними процесами, які розміщені у вибухонебезпечних зонах / С.М. Бабчук // Міжнародний науково-технічний журнал "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – 2014. – №2. – С. 103-107.



N – кількість показників роботи СКМ, які є критеріями пошуку; X1 – код показника СКМ, який є критерієм пошуку; X2 – значення показника СКМ, який є критерієм пошуку; K – кількість СКМ, яка відповідає заданим умовам пошуку

Рис. 2. Алгоритм роботи спеціалізованої комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (в автоматизованому режимі) з вибору спеціалізованих комп'ютерних мереж для систем автоматизації технологічних процесів промислових підприємств

3. Бабчук С. М. Вибір спеціалізованої комп'ютерної мережі для систем автоматизації у вибухобезпечних зонах промислових підприємств. // Міжнародний науково-технічний журнал "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – 2015. – №1. – С. 127-132.
4. Guochen, A. Design of Intelligent Transmitter Based on HART Protocol [Text] / A. Guochen, M. Zhiyong, M. Hongtao, S. Bingdong // Intelligent Computation Technology and Automation. – 2010. – Vol. 2. – P. 40–43.
5. Pereira, J. HART protocol analyser based in LabVIEW [Text] / J. Pereira, O. Postolache, P. Girao // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2003. – P. 174–176.
6. Бабчук С. М. Мікропроцесорна система управління процесом буріння на базі промислової комп'ютерної мережі / С. М. Бабчук , О. І. Іванкевич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №4/3 (34). – С. 15-17.
7. Cavalieri, S. Definition of a fault recovery protocol compliant with Interbus-S standard [Text] / S. Cavalieri // Industrial Electronics. – 2003. – P. 821–823.
8. Бабчук С. М. Класифікація промислових комп'ютерних мереж / С. М. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №4/2(40). – С. 49-51.
9. Zhang, L. Research of EtherNet/IP and development of its network node [Text] / L. Zhang , N. Xie // Consumer Electronics, Communications and Networks . – 2012. – P. 486–489.
10. Ping, L. Ethernet/IP Analysis [Text] / Journal of Yangtze University. – 2010. – Vol. 7, № 1. – P. 254-255.
11. Бабчук С. М. Спеціалізована експертна комп'ютерна система ідентифікації кадмію / С. М. Бабчук , Л. Р. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №2/10(62). – С. 18-20.
12. Бабчук С. М. Синтез бази знань "спеціалізовані комп'ютерні мережі" для об'єктів нафтогазового комплексу / С. М. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №3/2(69). – С. 14-18.

References

1. Osipchuk G. S. Vidtvorennya osnovnyx zasobiv v systemi upravlinnya pidpryyemstvom / G.S. Osipchuk // Naukovi konferenciyi. – 2011. – #8. – S. 18-21.
2. Babchuk S. M. Vyznachennya napryamkiv modernizaciyi isnuyuchykh avtomatyzovanykh system upravlinnya texnologichnymy procesamy, yakі rozmishheni u vybuxonebezpechnykh zonax / S.M. Babchuk // Mizhnarodnyj naukovu-texnichnyj zhurnal "Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna texnika v texnologichnyx procesax". – 2014. – #2. – S. 103-107.
3. Babchuk S. M. Vybir specializovanoi kompyuternoyi merezhi dlya system avtomatyzaciyi u vybuxobezpechnykh zonax promyslovykh pidpryyemstv. // Mizhnarodnyj naukovu-texnichnyj zhurnal "Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna texnika v texnologichnyx procesax". – 2015. – #1. – S. 127-132
4. Guochen, A. Design of Intelligent Transmitter Based on HART Protocol [Text] / A. Guochen, M. Zhiyong, M. Hongtao, S. Bingdong // Intelligent Computation Technology and Automation. – 2010. – Vol. 2. – P. 40–43.
5. Pereira, J. HART protocol analyser based in LabVIEW [Text] / J. Pereira, O. Postolache, P. Girao // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2003. – P. 174–176.
6. Babchuk S. M. Mikroprocesorna sistema upravlinnya procesom burinnya na bazi promyslovoyi kompyuternoyi merezhi / S. M. Babchuk , O. I. Ivankevych // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh texnologij. – 2008. – #4/3 (34). – S. 15-17
7. Cavalieri, S. Definition of a fault recovery protocol compliant with Interbus-S standard [Text] / S. Cavalieri // Industrial Electronics. – 2003. – P. 821–823.
8. Babchuk S. M. Klyasifikaciya promyslovykh kompyuternykh merezh / S. M. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh texnologij. – 2009. – #4/2(40). – S. 49-51.
9. Zhang, L. Research of EtherNet/IP and development of its network node [Text] / L. Zhang , N. Xie // Consumer Electronics, Communications and Networks . – 2012. – P. 486–489.
10. Ping, L. Ethernet/IP Analysis [Text] / Journal of Yangtze University. – 2010. – Vol. 7, № 1. – P. 254-255.
11. Babchuk S. M. Specializovana ekspertna kompyuterna sistema identyfikaciyi kadmiyu / S. M. Babchuk , L. R. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh texnologij. – 2013. – #2/10(62). – S. 18-20.
12. Babchuk S. M. Syntez bazy znan "specializovani kompyuterni merezhi" dlya obyektiv naftogazovogo kompleksu. // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh texnologij. – 2014. – #3/2(69). – S. 14-18.

Рецензія/Peer review : 18.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ "INTERFEYS" ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Исследована применение программы "Interfeys", предназначенная для ввода многоканальных данных, их визуализации и сохранения. Приводится вид графического интерфейса пользователя программы. Показано использование программы в составе мобильной измерительной лаборатории для мониторинга атмосферных загрязнений

Ключевые слова: программированный интерфейс, датчик влажности, мультигазоанализатор, анализатор шума и вибрации, мобильная измерительная лаборатория.

E.M. RUDOY, M.M. GADZHYIEV

Odessa national academy of telecommunication nm.A.S.Popov, Ukrain

MUSTAZADE NAIRA KH.

Azerbaijan National Aerospace Agency - Space Research Institute of Natural Resources, Azerbaidjan

THE APPLICATION OF PROGRAM "INTERFEYS" FOR ATMOSPHERIC POLLUTION MONITORING

In the article the program "Interfeys" for multichannel data input, visualization and storage, is described. The graphic user interface of program is shown. The program is successfully using in mobile measuring laboratory for atmospheric pollution monitoring. The monitoring data is entered into GIS database and becomes the source to build models of pollution.

Key words: programmed interface, humidity sensor, multilateralization, the analyzer of noise and vibration, mobile measuring laboratory.

В настоящее время проблема охраны окружающей среды во многих странах возведена в ранг государственной политики. В связи с этим возрастает роль научных исследований, направленных на разработку новых инструментов мониторинга состояния экологической обстановки, в том числе контроля загрязнений атмосферы. К таким инструментам относятся:

- наборы первичных датчиков концентраций загрязнителей атмосферы, а также основных параметров окружающей среды;
- программы сбора, визуализации и сохранения полученных данных;
- программы обработки измерительных данных;
- программы моделирования исследуемых процессов;
- программы прогнозирования на основе разработанных моделей;
- программы представления результатов исследований.

Путем объединения вышеуказанных приборов и программ был создан подобный инструмент, а именно, программно-приборный комплекс для мониторинга и моделирования загрязнения атмосферы, как в отдельном районе, так и в крупном современном индустриальном городе.

Уже несколько лет в Азербайджанском Национальном Аэрокосмическом Агентстве функционирует мобильная измерительная лаборатория для мониторинга различных параметров окружающей среды. Лаборатория создана на базе автомобиля УАЗ производства Российской Федерации. Среди измеряемых параметров – данные о концентрации некоторых токсичных и взрывоопасных газов, в том числе в виде аэрозолей, о радиационной обстановке в месте проведения съемки, о других метеорологических параметрах (влажность и температура воздуха, направление и скорость ветра и др.).

Данные измерений вводятся в компьютер с помощью специального программного обеспечения и сопровождаются навигационной информацией, что позволяет регистрировать время и место проведения измерительных экспериментов. Состав приборного комплекса несколько раз изменялся: некоторые приборы выходили из строя, на их место покупались более современные, комплекс дополнялся другими устройствами. Иногда это приводило к несовместимости с существующей программой. Было принято решение самим разработать подходящее программное обеспечение для ввода и сохранения данных мониторинга.

Несколько лет назад коллективом разработчиков Института Космических Исследований Природных Ресурсов были созданы программы для управления и ввода данных гидролокатора бокового обзора [1] и для сейсмографа [2]. Учитывая определенную схожесть алгоритмов этих программ, их графических интерфейсов, отдельных объектов и модулей, нами было предложено создать одну унифицированную программу, которая имела бы настраиваемый интерфейс, и с успехом применялась для измерения параметров различных процессов. Такая программа была разработана и получила название "Interfeys" [3, 4]. Программа получает данные от различных датчиков, (в том числе о концентрациях вредных примесей в атмосфере), обеспечивает ввод, визуализацию и сохранение данных на жестком диске компьютера. Ввод данных осуществляется с помощью контроллера E14-140 производства фирмы "L-Card"

(Россия) [5]. Особенностью программы является то, что она может работать в двух режимах: режиме конструктора и в режиме измерения. В первом режиме пользователь настраивает основные параметры процесса измерения и отображения его на экране компьютера, что отражается на внешнем виде программы (графическом интерфейсе пользователя) во время работы. К числу настраиваемых параметров относятся:

- число входных каналов (максимально 32);
- коэффициенты усиления каналов (могут быть заданы индивидуально для каждого канала), которые определяют входные диапазоны ($\pm 10V$, $\pm 2,5V$, $\pm 0,6V$, $\pm 0,15V$);
- название программы и каждого из каналов в отдельности;
- частота дискретизации АЦП контроллера (максимально 100 кГц);
- режимы ввода и сохранения данных;
- число выюпортов для визуализации сигналов (от 1 до 4);
- длительность измерения (может быть задано число кадров или общее время измерения).

Все эти настройки называют пользовательскими. Их можно сохранить в файле. Тогда в следующий раз пользователь программы может просто загрузить файл со своими настройками, и программа откроется с необходимым графическим интерфейсом. Внешний вид программы в режиме конструктора приведен на рис. 1.

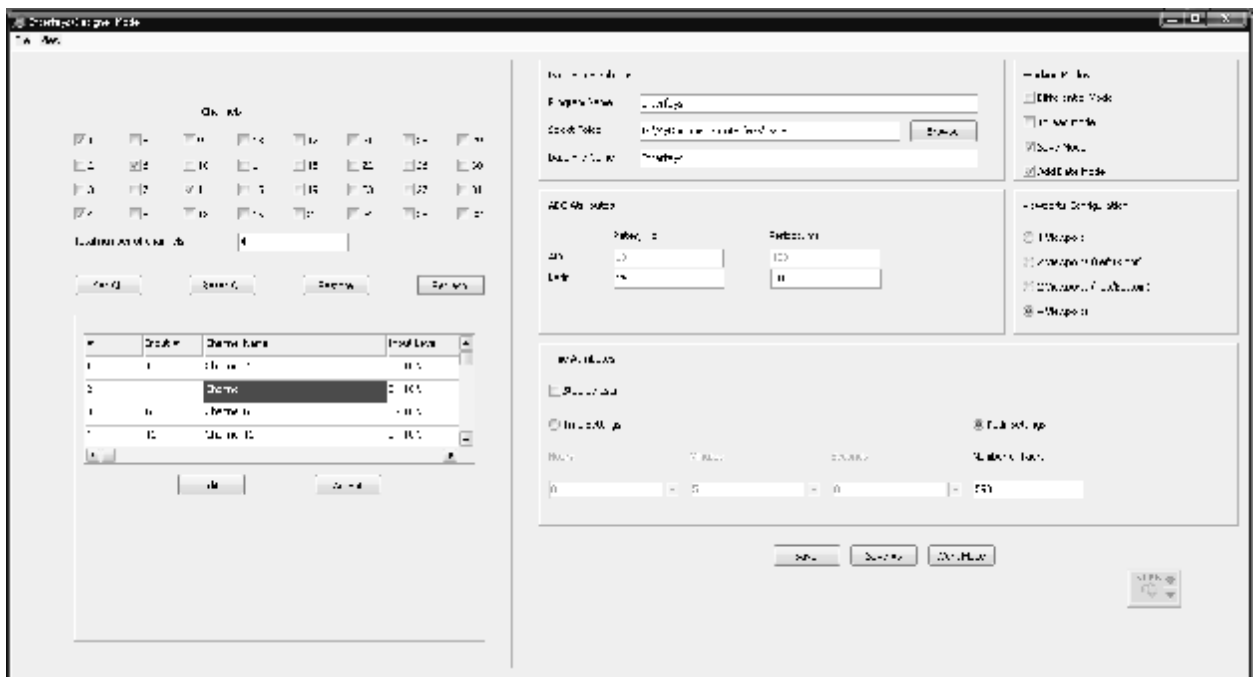


Рис. 1. Внешний вид программы в режиме конструктора

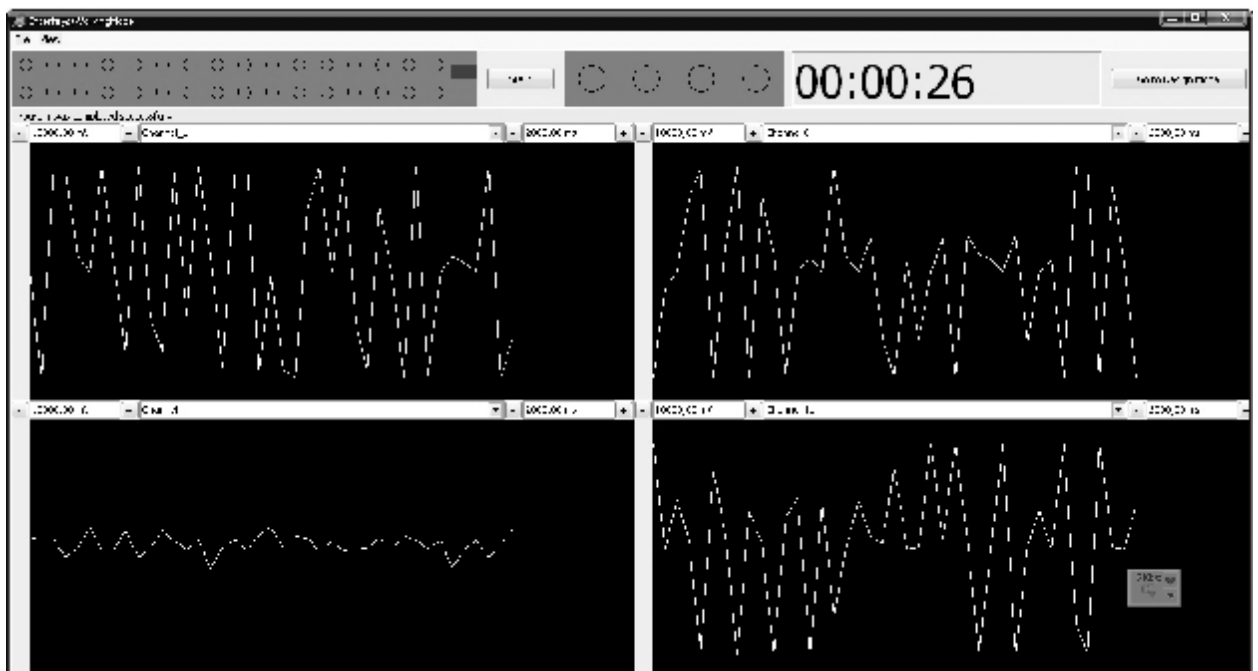


Рис. 2. Внешний вид программы в режиме измерения

После настройки параметров пользователь переходит в режим измерения. Как отмечалось выше, интерфейс программы в этом режиме зависит от сделанных изменений в конструкторском режиме. Так, на экране может находиться одновременно от 1 до 4 выюпортов. Под выюпортом понимается область экрана дисплея, содержащая контейнер для показа изображения сигнала вместе с элементами управления масштабами изображения по вертикали и по горизонтали, и регулятором выбора нужного канала. Внешний вид программы в режиме измерения приведен на рис. 2.

Измеряемые сигналы одновременно с выводом на экран записываются в файл. В название файла данных включается имя программы и дата-время измерения. Файлы данных сопровождаются файлами со статусной информацией. Все записанные файлы можно открыть и по окончании измерения. С помощью утилит конвертации их можно преобразовать в форматы, используемые в таких программах, как Excel или MATLAB.

Удобный графический интерфейс пользователя, возможность самому, без помощи программиста перестраивать входные каналы, оперативное отображение выбранных каналов на экране, наличие утилит конвертации с целью последующей обработки в MATLAB или Excel предопределили решение использовать программу "Interfeys" для ввода информации от первичных датчиков в компьютер, а также для визуализации хода экспериментов в реальном масштабе времени. Это позволило не только сохранить информацию, поступающую от ранее задействованных приборов, но и дополнить ее измерениями от новых измерительных устройств. Таким образом, в настоящее время в состав лаборатории входят следующие измерительные приборы:

- датчик влажности и температуры ИВТМ-7К измеряет влажность в диапазоне $0 \div 99\%$, и температуру от -20° до $+60^\circ$ [6];
- мультигазоанализатор МХ6iBrid контролирует до 6 различных токсичных и взрывоопасных газов (O_2 , H_2S , CO , CO_2 , LEL, PID) [7];
- пробоотборный зонд ПЗ БП «Атмосфера» измеряет концентрацию загрязняющих веществ в аэрозольном состоянии [8];
- газоанализатор непрерывного определения метана ГНОМ-1 предназначен для оперативного контроля содержания дозврывоопасных концентраций метана в атмосфере [9];
- дозиметр-радиометр МКС-АЕ1125 контролирует радиационную обстановку [10];
- анализатор шума и вибрации «Ассистент» измеряет и анализирует инфразвук, звук, ультразвук, общую и локальную вибрации [11];
- радиометр аэрозолей РАА-10 предназначен для экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона и ЭРОА торона [12].

Следует отметить, что предыдущая версия "Interfeys" была спроектирована для приема сигналов только от аналоговых устройств. Однако, имеющиеся возможности контроллера "Е14-140" обеспечивали одновременно подключение и 16 цифровых каналов, дополнительно к 32 аналоговым. После модернизации программы, возможности мобильной измерительной лаборатории возросли и позволили применять измерительные приборы, как с аналоговым, так и цифровым выходом.

Проведенные испытания показали работоспособность программы и всего программно-приборного комплекса. В настоящее время с помощью описанной выше мобильной измерительной лаборатории и функционирующей в ее составе программы "Interfeys" в нескольких точках города Баку регулярно проводятся измерения таких параметров загрязнения атмосферы, как концентрация пыли, сернистого газа, сульфида водорода, диоксида и тетраоксида азота, а также таких метеорологических параметров, как температура, давление и влажность воздуха, скорость и направление ветра, количество осадков. Затем с помощью регрессионного анализа статистических данных, собираемых в результате мониторинга, строятся модели загрязнения атмосферы. Моделирование проводится с помощью метода группового учета аргументов (МГУА). Метод получил широкое применение для решения различных задач обработки экспериментальных данных [13]. Многие ученые мира присоединились к разработке теории МГУА и приложений на основе этого метода. Нами тоже предложен модифицированный алгоритм для решения подобных задач [14]. Преимуществом МГУА является то, что он позволяет строить модели по неполным или зашумленным данным. При этом структура модели определяется автоматически согласно заданному критерию.

Построение моделей дает возможность делать кратко- и средне-срочные прогнозы загрязнения, исходя из ожидаемых значений вышеуказанных метеорологических факторов. Прогнозируемые и измеряемые значения параметров загрязнений атмосферы ложатся в основу базы данных географической информационной системы на базе быстро набирающей в последнее время популярность свободно распространяемой программы qGIS [15].

Литература

1. Гулузаде Р.К. Использование модуля Е14-140 и программы "Sonar" для управления гидролокатором бокового обзора / Р.К. Гулузаде, М.А. Абдуллаева, С.В. Свеженцева, И.Г. Захаров // Известия АНАКА, том 12, №3(12), 2009, с.49-53. Баку, 2009.
2. Ибадов А.А. Оперативная обработка сейсмической информации программой «SEYSMOQRAF» /

- А.А. Ибадов, Н.Х.Мустафазаде, Р.К.Гулузаде, М.А.Абдуллаева // Известия АНАКА, том 16, №4(16), 2013, с.29-33. Баку, 2013.
3. Гулузаде Р.К. Программа ввода данных с настраиваемым интерфейсом / Р.К. Гулузаде, М.А. Абдуллаева, И.Г. Захаров, Н.Х. Мустафазаде // – Известия АНАКА, том 17, №1(17), 2014, с.32-35. Баку, 2014.
4. Агаев Ф.Г. Объектная модель программы “Interfeys” / Ф.Г. Агаев, Р.К. Гулузаде, Н.Х. Мустафазаде, М.А. Абдуллаева // Известия АНАКА, том 18, №2(18), 2015, с.57-63. Баку, 2015.
5. “E14-140 Руководство пользователя”. <http://lcard.ru>.
6. Портативный термогигрометр ИВТМ-7К. <http://www.tehno.com/product.phtml?uid=B00120031585>.
7. Газоанализатор мультигазовый МХ-6 iBrid. <http://www.geo-ndt.ru/pribor-1765-gazoanalizator-myrtigazovii-mx-6-ibrid.htm>.
8. Пробоотборный зонд ПЗ БП «Атмосфера». http://granat-e.ru/zond_pz_bm_atmosfera.html.
9. Газоанализатор непрерывного определения метана ГНОМ-1. <http://granat-e.ru/gnom-1.html>.
10. Дозиметры-радиометры МКС-АТ1125, МКС-АТ1125А. <http://www.atomtex.com/ru/products/dozimetry-radiometry/dozimetry-radiometry-mks-at1125-mks-at1125a>.
11. Анализатор шума и вибрации «Ассистент». <http://ntm.ru/control/106/7316>.
12. Радиометр аэрозолей РАА-10. <http://ntm.ru/products/133/7278>.
13. Ивахненко А.Г., Ивахненко Г.А. Обзор задач, решаемых по алгоритмам Метода Группового Учета Аргументов. <http://www.gmdh.net>.
14. Мамедов М.И., Мустафазаде Н.Х., Гафаров Р.Т. Модификация алгоритма GNM (Модифицированная Нумерация Геделя) для построения линейных регрессионных моделей. – Известия АНАКА, том 18, №2(18), 2015, с.64-67, Баку, 2015.
15. Geographic Information System qGIS. <http://qgis.org>.

References

1. R.K. Guluzade, M.A. Abdullaeva, S.V. Svezhenceva, I.G. Zaharov. Ispol'zovanie modulja E14-140 i programmy “Sonar” dlja upravlenija gidrolokatorom bokovogo obzora. Izvestija ANAKA, tom 12, №3(12), 2009, s.49-53. Baku, 2009.
2. A.A. Ibadov, N.H. Mustafazade, R.K. Guluzade, M.A. Abdullaeva. Operativnaja obrabotka sejsmicheskoj informacii programmoj «SEYSMOGRAF». – Izvestija ANAKA, tom 16, №4(16), 2013, s.29-33. Baku, 2013.
3. R.K. Guluzade, M.A. Abdullaeva, I.G. Zaharov, N.H. Mustafazade. Programma vvoda dannyh s nastroivaemym interfejsom. – Izvestija ANAKA, tom 17, №1(17), 2014, s.32-35. Baku, 2014.
4. F.G. Agaev, R.K. Guluzade, N.H. Mustafazade, M.A. Abdullaeva. Ob'ektnaja model' programmy “Interfeys”. – Izvestija ANAKA, tom 18, №2(18), 2015, s.57-63. Baku, 2015.
5. “E14-140 Rukovodstvo pol'zovatelja”. <http://lcard.ru>.
6. Portativnyj termogigrometr IVTM-7K. <http://www.tehno.com/product.phtml?uid=B00120031585>.
7. Gazoanalizator mul'tigazovij MX-6 iBrid. <http://www.geo-ndt.ru/pribor-1765-gazoanalizator-myrtigazovii-mx-6-ibrid.htm>.
8. Probootbornyj zond PZ BP «Atmosfera». http://granat-e.ru/zond_pz_bm_atmosfera.html.
9. Gazoanalizator nepreryvnogo opredelenija metana GNOM-1. <http://granat-e.ru/gnom-1.html>.
10. Dozimetry-radiometry MKS-AT1125, MKS-AT1125A. <http://www.atomtex.com/ru/products/dozimetry-radiometry/dozimetry-radiometry-mks-at1125-mks-at1125a>.
11. Analizator shuma i vibracii «Assistent». <http://ntm.ru/control/106/7316>.
12. Radiometr ajerozolej RAA-10. <http://ntm.ru/products/133/7278>.
13. Ivahnenko A.G., Ivahnenko G.A. Obzor zadach, reshaemyh po algoritmam Metoda Gruppovogo Ucheta Argumentov. <http://www.gmdh.net>.
14. Mamedov M.I., Mustafazade N.H., Gafarov R.T. Modifikacija algoritma GNM (Modificirovannaja Numeracija Gedelja) dlja postroenija linejnyh regressionnyh modelej. – Izvestija ANAKA, tom 18, №2(18), 2015, s.64-67, Baku, 2015.
15. Geographic Information System qGIS. <http://qgis.org>.

Рецензія/Peer review : 13.12.2014 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ WEB-СЕРВЕРА

Статья описывает алгоритм разработки системы автоматического управления нагрузкой web-сервера. В качестве объекта управления выбран web-сервер Apache под управлением ОС Linux.

В статье проведено обоснование структуры системы автоматического управления. Система управления использует многомерный линейно-квадратичный регулятор. Переходные процессы показывают высокое качество регулирования при типовых возмущениях.

Применение данной системы позволяет увеличить эффективность использования ресурсов корпоративных серверов. Разработанная система также может быть использована для противодействия DDoS-атакам.

Ключевые слова: система управления, регулятор, Web-сервер, Apache.

A. A. Stopakevych, K. U. Komarov

Odessa National Academy of Telecommunications n.a O.S. Popov, Odessa, Ukraine

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC LOAD CONTROL SYSTEM FOR THE WEB-SERVER

The article describes the design algorithm of web-server load control system. The web-server Apache under OS Linux control is chosen as a control plant.

The structure of control system is grounded in the article. The control system uses multivariable linear-quadratic regulator. The process dynamics shows good control quality with typical disturbances.

The implementation of the developed system increases resource usage efficiency of corporative servers. The control system may be also used for DDoS attacks resistance.

Keywords: control system, controller, Web-server, Apache.

Вступлення. Использование систем автоматического управления с обратной связью в компьютерных системах является актуальной задачей, поскольку позволяет более эффективно использовать ресурсы компьютерной техники, подбирая требуемые настройки серверных программ исходя из текущей нагрузки на сервер, которая имеет тенденцию меняться во времени, особенно при DDoS-атаках. Такой подбор практически нереализуем вручную и, как правило, не проводится системными администраторами.

Известно, что любой сервер ограничен определенным количеством оперативной памяти (ОЗУ) и мощностью центрального процессора (ЦП), поэтому основным требованием к серверному программному обеспечению является максимально эффективное их использование. Отказ от обслуживания клиентов может приводить к экономическим потерям компании. Поэтому, кроме увеличения ресурсов серверов и их количества, современные крупные компьютерные корпорации, такие как Microsoft, IBM и Google, исследуют вопросы масштабирования и оптимизации использования ресурсов серверами с помощью математических методов. Так, например, сотрудниками корпорации IBM проводились исследования использования систем автоматического регулирования для управления СУБД, серверами каталогов, почтовыми серверами, Web-серверами, файловыми хранилищами, кластерами и т.п. Исследования показали эффективность применения теории автоматического управления и перспективность данной тематики [1].

Постановка проблемы. Типичный корпоративный сервер, как правило, одновременно выполняет несколько функций: Web-сервер, почтовый сервер, сервер баз данных, обеспечение работы корпоративных систем электронного документооборота, работа других приложений. Для обеспечения эффективной параллельной работы Web-сервера и других служб целесообразно балансировать нагрузку, выделив каждому программному серверу определенную часть ресурсов. Серверные операционные системы не имеют эффективных средств для такой балансировки, поэтому применение системы автоматического регулирования для данной задачи является целесообразным.

Web-сервер как объект управления. Наиболее распространенными web-серверами являются Apache HTTP Server, IIS (Internet Information Services), Nginx (Engine X) [2]. Apache HTTP Server – наиболее распространенный, функционально развитый кроссплатформенный Web-сервер. Он доступен для таких серверных операционных систем (ОС) как Linux, FreeBSD, ряда других UNIX-подобных ОС, а также Microsoft Windows Server. Среди поддерживаемых языков программирования для разработки Web-сайтов – PHP, Python, Ruby, Perl, также возможно использование языков программирования общего назначения: C, C++, Java [3].

Таким образом, использование Apache для решения поставленной задачи является наиболее целесообразным. Наиболее часто Apache используется в окружении ОС Linux [2]. Построим структурную модель выбранного объекта управления. Поскольку основными ресурсами сервера, как было сказано выше, являются доступная память и загрузка ЦП, то в качестве управляемых переменных системы целесообразно использовать именно их.

Основные параметры, которые непосредственно влияют на уровень нагрузки на аппаратное обеспечение серверного компьютера в пределах Apache HTTP Server, являются параметры MaxClients (MC)

и KeepAliveTimeout (*KAT*). Значение *MC* позволяет задать ограничение на размер пула процессов (pool of worker processes), что в свою очередь определяет количество клиентских подключений, которые сервер может обрабатывать одновременно. Чем выше это значение, тем выше нагрузка на аппаратное обеспечение (в пределах данной задачи, на ЦП и ОЗУ) и тем выше одновременное подключение к рассматриваемому серверу. Однако чрезмерно высокое значение может привести к значительному падению производительности. Параметр *KAT* (в секундах) определяет время ожидания запущенным процессом возможного запроса от того же самого клиента без установления повторного соединения. В случае, когда значение *KAT* слишком высокое, можно наблюдать спад нагрузки на ЦП и ОЗУ, однако увеличивается шанс, что клиенты вообще не смогут подключиться к серверу. Таким образом, увеличение данной настройки приводит к уменьшению нагрузки, но приводит к увеличению времени между обработками запросов [4].

Для общего представления о величинах, действующих в пределах рассматриваемой системы управления на объект, нарисуем параметрическую схему объекта управления. На схеме обозначим объект в виде блока, а также величины, которые непосредственно влияют на ход выполнения процесса: управляющие воздействия и управляемые переменные. Параметрическая схема рассматриваемого объекта представлена на рис. 1.

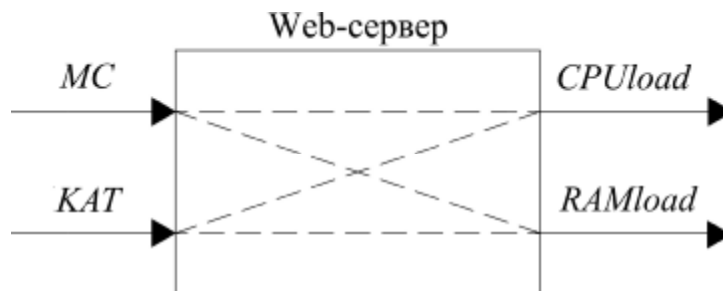


Рис. 1. Параметрическая схема рассматриваемого Web-сервера

Исполнительная подсистема. Для реализации рассчитанных управлений, параметры (настройки) Web-сервера должны иметь возможность изменяться динамически без перезагрузки самого сервера. Однако Apache HTTP Server не поддерживает данную возможность, поэтому в стандартной поставке для изменения параметров Web-сервера, которые записываются в файлы конфигурации, необходима его перезагрузка. Решением данной проблемы является разработка программного модуля, который обеспечит динамическое изменение входных параметров без перезагрузки Web-сервера. Структурная схема компонентов Apache HTTP Server вместе с указанным модулем представлена на рис. 2.

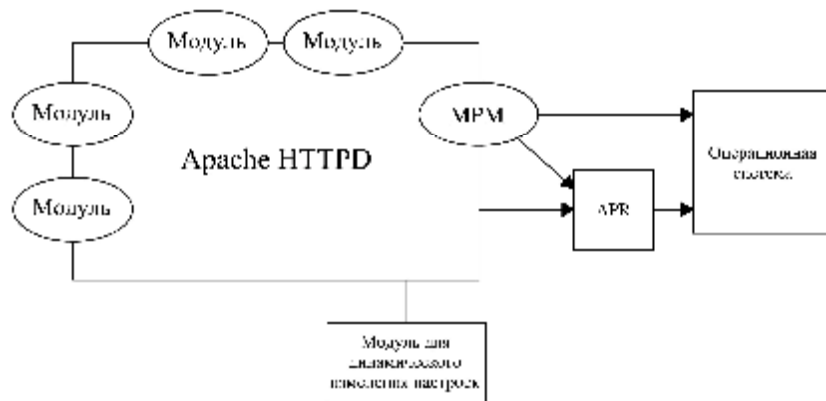


Рис. 2. Структурная схема компонентов Apache HTTP Server с подключенным модулем для динамического применения измененных параметров сервера

MPM (Multi-Processing Module) является модулем специального назначения, предназначенным для оптимизации Apache-сервера под операционную систему, на которой он установлен. В основном, данный модуль служит для доступа сервера к ОС.

APR (Apache Portable Runtime) является набором библиотек, обеспечивающим единый интерфейс разработки для всех платформ. Целью такой библиотеки является необходимость предотвращения ошибок при работе разработанного модуля, связанных с особенностями той или иной ОС. Так как программное обеспечение должно разрабатываться в среде определенной операционной системы, то наличие такой библиотеки является необходимым.

Измерительная подсистема. Кроме разработки программного модуля существует и дополнительная задача – определение величин загруженности ресурсов аппаратного обеспечения с помощью измерительной системы. Поскольку алгоритмы и способы получения данных параметров зависят от операционной системы, а также её настроек, целесообразно разработать измерительную систему с реконфигурируемой структурой [5]. Для решения этой задачи в ОС Linux разработана программа-скрипт,

созданная с использованием языка программирования высокого уровня Python [6]. Программа позволяет считывать записи операционной системы о количестве и характеристиках запущенных процессов и измерять выходные параметры объекта управления – загрузку ЦП и ОЗУ.

Среда исполнения. Для сборки исходного кода и запуска необходимого программного обеспечения был выбран такой дистрибутив ОС Linux как Ubuntu Server. Данный дистрибутив является свободным для загрузки и использования, а также поставляется со всеми необходимыми программными пакетами для работы с сетью и компиляции исходного кода как на языке C (на котором написан исходный код Apache), так и на множестве других языков.

Разработка экспериментальной математической модели динамики сервера. Построение экспериментальной математической модели будет проводиться методом активного эксперимента [7]. Для этого задействованы два персональных компьютера, соединенные сетью. Один компьютер играет роль серверного компьютера, второй – клиентского. Так как отсылка всего лишь одного пользовательского запроса на объект управления не позволит оценить его динамические характеристики, то на клиентскую машину необходимо установить специальное сетевое программное обеспечение для тестирования надежности серверов. Суть данного ПО – эмулировать одновременную посылку множества запросов на указанный сетевой адрес. Его использование помогает имитировать различные, приближенные к реальным, ситуации нагрузки на сервер.

Конфигурация клиентского и серверного компьютера приведена в табл. 1. В таблице перечислены параметры оборудования, существенные для поставленной задачи.

Таблица 1

Конфигурация основных комплектующих серверного и клиентского персональных компьютеров

	Сервер	Клиент
ЦП	Intel Core i3, 2 ядра по 2,53 ГГц	Intel Core2Duo, 2 ядра по 2,0 ГГц
ОЗУ	4 Гб	2 Гб
ОС	Linux Ubuntu Server версия 14.04	Windows 7 Professional

Среди большого количества программного обеспечения для тестирования надежности Web-серверов, наиболее функционально развитой и подходящей для поставленной задачи является программа JMeter [8].

Активный эксперимент проходит следующим образом. После запуска созданной задачи, к сетевому адресу, указанному в компоненте “HTTP-запрос”, подключается заданное количество пользователей и проводит загрузку страницы. Затем, когда процент загрузки CPU и RAM – $CPUload$ и $RAMload$ становится почти постоянным, проводится изменение количества пользователей сначала в сторону увеличения, а затем в сторону уменьшения. Все параметры записываются на сервере и после усреднения разгонных характеристик, а также их аппроксимации, была получена математическая модель в форме пространства состояний вида:

$$y_{k+1} = A \cdot y_k + B \cdot u_k, A = \begin{bmatrix} 0.72 & -0.147 \\ -0.0305 & 0.75 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -84.5 & 4.39 \\ -2.48 & 2.81 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

где u_k – текущая величина вектора $[MC, KAT]^T$, стандартные единицы настройки сервера Apache;

y_k и y_{k+1} – текущая и последующая выходные величины, вектора $[CPUload, KATload]^T$, в долях единицы.

Обоснование структуры системы автоматического управления и её технической реализации.

Для регулирования многомерных и многосвязных объектов управления с известной математической моделью рекомендуется использовать многомерные регуляторы [9].

Структурная схема многомерной автоматической системы управления с отрицательной обратной связью представлена на рис. 3.

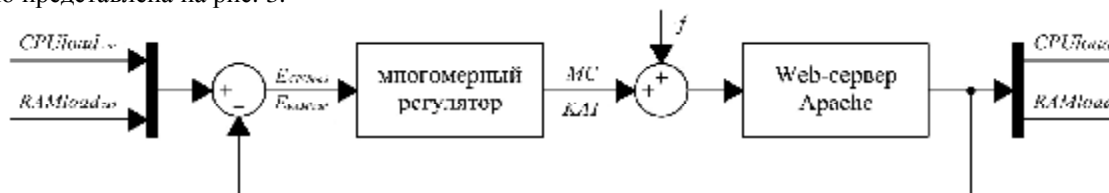


Рис. 3. Структурная схема многомерной САУ с Web-сервером Apache

Заданием системы управления является требуемая загрузка ЦП ($CPUload_{зад}$) и требуемая загрузка оперативной памяти ($RAMload_{зад}$), задаваемые в долях единицы, которые передаются в регулятор. Регулятор реализован как фоновая служба, которая с заданным периодом получает текущие параметры загрузки с помощью вызова программы-скрипта на Python. Затем, программа вычисляет необходимые управляющие

воздействия (требуемые значения *MaxClients* и *KeepAliveTime*) и отправляет их с помощью механизма сокетного соединения, подключенного к Apache-модулю, в таблицы настройки Apache. Поскольку заданная модель, по которой рассчитан регулятор, не может точно отражать динамику объекта управления, то в системе присутствуют неконтролируемые возмущения (содержание траффика, работа других служб, работа операционной системы), для эффективного устранения которых необходимо использовать специальные методики расчета регуляторов.

Обоснование выбора типа многомерного регулятора. Для обеспечения регулирования процесса был выполнен синтез системы управления с дискретным линейно-квадратичным регулятором.

Структурная схема регулятора представлена на рис. 4. Регулятор включает матрицы пропорциональной (*K1*) и интегральной (*K2*) составляющих.

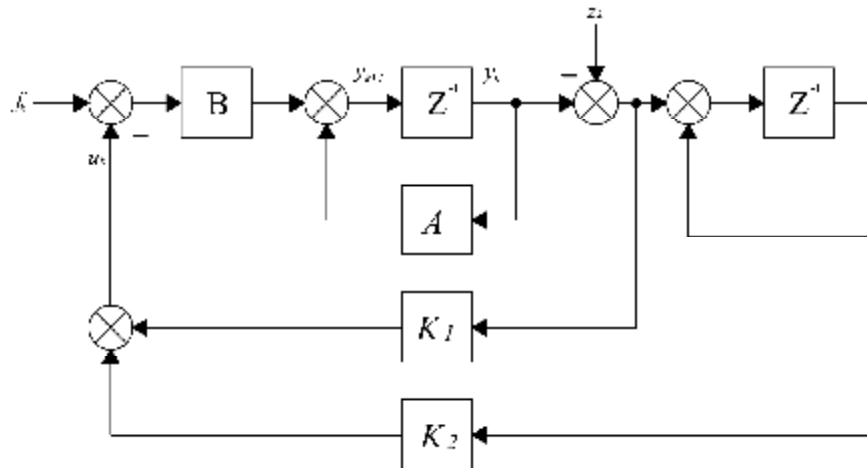


Рис. 4. Структурная схема линейно-квадратичного ПИ-регулятора, подключенного к системе управления

Для расчета цифрового линейно-квадратичного ПИ-регулятора используется уравнение Риккати. Алгоритм расчета регулятора выполняется следующим образом. В начале, формируется расширенная модель системы, включающая последовательно соединенные модели исходной системы и возмущений:

$$Ad = \begin{bmatrix} A & 0 \\ I & I \end{bmatrix}, \quad Bd = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где *I* – единичная матрица.

Следующим шагом является решение дискретного уравнения Риккати (в программе Matlab):

$$K = [K_1, K_2] = dlqr(Ad, Bd, Q, R) \quad (3)$$

где *Q, R* – диагональные настроечные матрицы регулятора.

После этого, формируются матрицы регулятора *A_r, B_r* и *C_r*:

$$A_r = I, B_r = I, C_r = -K_2, D_r = -K_1 \quad (4)$$

для расчета управляющего воздействия по закону:

$$x_{k+1} = A_r \cdot x_k + B_r(y_k - z_k), \quad u_{k+1} = C_r \cdot x_k + D_r(y_k - z_k) \quad (5)$$

Собирается система управления и моделируется переходной процесс при подаче максимальных возмущений и/или отклонении задания.

Настройка регулятора проводится следующим образом. Если выходы системы отклоняются больше регламентных значений, то увеличивается диагональный элемент матрицы *Q*, соответствующий номеру отклоненного выхода. Если управляющее воздействие превышает ограничение, то увеличивают диагональный элемент матрицы *R*, соответствующий номеру превысившего управления и снова решают уравнение Риккати. Если не удастся подобрать матрицы *Q* и *R*, то уменьшают максимальную величину отклонения задания и возмущения так, чтобы выполнялись требования. После этого делают вывод о том, что система способна парировать только найденные максимальные возмущения и отклонения задания.

В результате функционирования замкнутой системы управления с объектом управления были получены графики переходных процессов при возмущении максимальным изменением количества клиентов, изображенные на рис. 5. Анализ графиков показывает, что система управления справилась с возмущением и вернулась к установленным значениям заданий.

Выводы

Синтез регуляторов для систем автоматического управления компьютерными системами является перспективной темой исследований. В работе показано, что разработанная система автоматического управления нагрузкой web-сервера Apache под управлением ОС Linux способна справиться с поставленной задачей, что позволяет использовать её для балансирования нагрузки на многофункциональных корпоративных серверах. Использование предложенного подхода к построению системы управления позволяет уменьшить количество незапланированных отказов в обслуживании. Он может быть применен

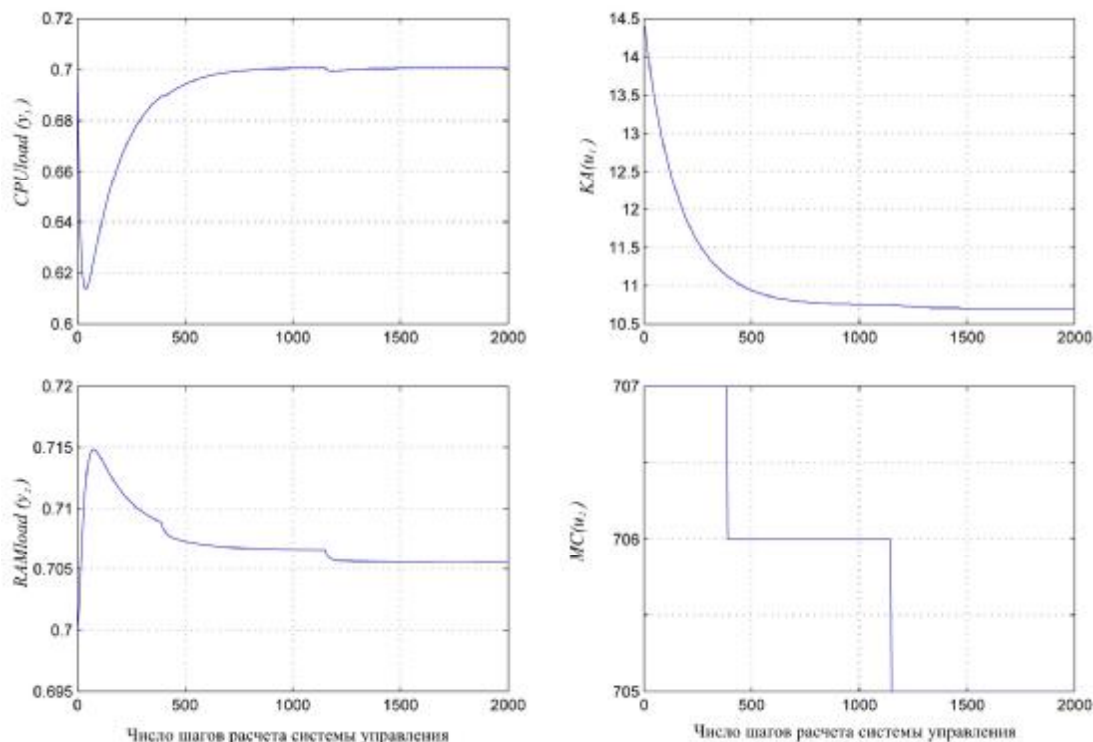


Рис. 5. Результаты работы линейно-квадратичного ПИ-регулятора в исследуемой системе управления

Литература

1. Yixin Diao. Control of Large Scale Computing Systems / D. Yixin, J. Hellerstein, S. Parekh, T. Watson, ACM SIGBED Review.–2006.–V.3.–P.17-22.
2. Netcraft. August 2015 Web Server Survey [Электронный ресурс] – Режим доступа.– URL: <http://news.netcraft.com/archives/2015/08/13/august-2015-web-server-survey.html>
3. Kew N. The Apache Modules Book .– NJ, USA: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2007.
4. Gandhi N. MIMO control of an apache web server: Modeling and controller design / N. Gandhi, D. Tilbury, Y. Diao, J. Hellerstein, S. Parekh//Proc. of 6-th American Control Conference.- 2002.-P. 4922-4927
5. Кондратов В.Т. Определение и базовая классификация измерительных систем/В.Т.Кондратов //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2014. – № 3. – С. 85-100.
6. Alvarez T. How Can Apache Help to Teach And Learn Automatic Control / T.Alvarez, H. D. Herrero, J. Francisco, D. Madrigal//IEEE Education Engineering (EDUCON).–2010.–С.1539-1546.
7. Дилигенская А. Н. Идентификация объектов управления .– Самара: Самарский государственный технический университет, 2009.
8. Apache JMeter Manual [Электронный ресурс] – Режим доступа.– URL: <http://jmeter.apache.org/usermanual/get-started.html>
9. Стопакевич А.А. Системный анализ и теория сложных систем управления.– Одесса: Астропринт, 2013.

References

1. Yixin Diao. Control of Large Scale Computing Systems / D. Yixin, J. Hellerstein, S. Parekh, T. Watson, ACM SIGBED Review.– 2006.–V.3.–P.17-22.
2. Netcraft. August 2015 Web Server Survey [E'lektronnyj resurs] – Rezhim dostupa.– URL: <http://news.netcraft.com/archives/2015/08/13/august-2015-web-server-survey.html>
3. Kew N. The Apache Modules Book .– NJ, USA: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2007.
4. Gandhi N. MIMO control of an apache web server: Modeling and controller design / N. Gandhi, D. Tilbury, Y. Diao, J. Hellerstein, S. Parekh//Proc. of 6-th American Control Conference.- 2002.-P. 4922-4927
5. Кондратов В.Т. Определение и базовая классификация измерительных систем/В.Т.Кондратов // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tehnika v tekhnolohichnykh protsesakh.– 2014. – № 3. – С. 85-100.
6. Alvarez T. How Can Apache Help to Teach And Learn Automatic Control / T.Alvarez, H. D. Herrero, J. Francisco, D. Madrigal//IEEE Education Engineering (EDUCON).–2010.–С.1539-1546.
7. Diligenskaya A. N. Identifikaciya ob"ektov upravleniya .– Samara: Samarskij gosudarstvennyj texnicheskij universitet, 2009.
8. Apache JMeter Manual [E'lektronnyj resurs] – Rezhim dostupa.– URL: <http://jmeter.apache.org/usermanual/get-started.html>
9. Stopakevich A.A. Sistemnyj analiz i teoriya slozhnyx sistem upravleniya.– Odessa: Astroprint, 2013.

Рецензія/Peer review : 7.11.2014 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

Рецензент: Загребнюк В.И.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ ОБЧИСЛЕНЬ НА GPU З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ АРХІТЕКТУР

У статті проведено порівняльний аналіз відеоадаптерів з різними архітектурами – Tesla, Fermi, Kepler. Проаналізовано особливості новітньої архітектури Kepler у порівнянні з попередніми. Проведено чисельні експерименти розпаралелення на GPU з використанням різних архітектур.

Ключові слова: графічний процесор, GPU, розпаралелення, паралельні обчислення, Kepler, Fermi.

I.P. STRUBYTSKA

Ternopil National Economic University

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF PARALLIZATION OF COMPUTING ON GPU WITH USING DIFFERENT ARCHITECTURES

The comparative analysis of video adapters with different architectures (Tesla, Fermi, Kepler) are conducted in this article. The features of the modern architecture of Kepler are compared to previous ones. Numerical experiments of parallelization on GPU using different architectures are conducted.

Keywords: graphics processor, GPU, parallelization, parallel computing, Kepler, Fermi.

Вступ

Ріст частот універсальних процесорів зупиняють фізичні обмеження і високе енергоспоживання. Збільшення їх продуктивності все частіше відбувається за рахунок розміщення декількох ядер в одному процесорі. Присутні зараз на ринку процесори містять лише до чотирьох ядер (подальше зростання не буде швидким) і призначені для звичайних програм, які використовують архітектуру MIMD. Кожне ядро працює окремо від інших, виконуючи різні інструкції для різних процесів.

Спеціалізовані векторні можливості появилися в універсальних процесорах, в першу чергу, через високі вимоги графічних програм. Саме тому для певних задач (виконання однотипних дій з різними даними) застосування GPU (Graphics Processing Unit) вигідніше ніж CPU (Central Processing Unit).

Сучасні GPU - це багатоядерні системи SIMD-архітектури з достатньо високою (до 1 Тфлопс) піковою продуктивністю. Порівняно з традиційними архітектурами, вони мають порівняно низьку характеристику «ціна/продуктивність», що викликає зацікавлення використовувати GPU не тільки для обробки графічної інформації, але й для вирішення будь-яких обчислювальних задач [1].

На сьогодні на ринку графічні процесори, як окремі компоненти персональних комп'ютерів, випускають дві компанії: NVIDIA і AMD. Є ще Intel, проте вона спеціалізується на випуску GPU для вбудованих відеокарт. Тому при розгляді графічних процесорів для використання їх у обчисленнях будемо використовувати продукцію цих двох компаній.

AMD FireStream — це потоковий процесор, розроблений компанією AMD, призначений для збільшення ефективності розв'язку задач, з високим ступенем паралелізму. Обчислювальні прискорювачі FireStream доступні в системах усіх провідних виробників серверів і можуть використовуватись в масштабуючих серверах, блейд-серверах.

GeForce — сімейство GPU і чіпсетів материнських плат компанії NVIDIA, яке орієнтується на споживацький ринок. GeForce переважно використовується у відеоадаптерах для персональних і переносних комп'ютерів.

Quadro — це лінія відеоадаптерів для професійних дизайнерів, які надають багато можливостей для обробки зображень та відео [2].

Tegra — сімейство GPU, яке використовується в мобільних рішеннях (мобільних телефонах, смартфонах, планшетах).

Tesla — це сімейство обчислювальних систем NVIDIA, які можна використовувати для наукових і технічних обчислень загального призначення. Tesla не може повністю замінити звичайний універсальний процесор, але дозволяє використовувати обчислювальний ресурс множини своїх ядер для розв'язку ресурсомістких задач. Перевагами цих процесорів є велика енергоефективність, недоліком — менша універсальність [3].

Сьогодні компанія NVIDIA пропонує підтримку обчислень на всіх рівнях: апаратному (універсальні процесори GPU, висока швидкість обміну даними), драйверному (використання універсальних механізмів не прив'язаних до конкретних технологій), користувацькому (розробка бібліотек, компіляторів і SDK з прикладами програм і документацією) [4].

На даний час обчислення на графічних процесорах з технологією CUDA — це інноваційне поєднання обчислювальних особливостей нового покоління графічних процесорів NVIDIA, що обробляють відразу тисячі потоків з високим рівнем інформаційного завантаження, які доступні через стандартну мову програмування C [5].

Порівняльний аналіз різних архітектур графічних процесорів

У праці [6] порівняно часову складність виконання програми на різних графічних процесорах. Швидкодія виконання залежить від кількості ядер графічного процесора. З швидким розвитком багатоядерних процесорів змінюється і їх архітектура, що якісно впливає на продуктивність обчислень.

Для позначення можливостей GPU CUDA використовують поняття Compute Capability, яке позначається парою цілих чисел: major.minor. Перше число позначає глобальну архітектурну версію, друге – модифікацію.

На сьогодні існують такі CUDA Compute Capability:

1. Покоління Tesla (не слід плутати з лінією продуктів для HPC):
 - 1.1 – базові можливості CUDA, атомарні операції з глобальною пам'яттю;
 - 1.2 – атомарні операції зі спільною пам'яттю, warp vote-функції;
 - 1.3 – обчислення з подвійною точністю;
2. Покоління Fermi:
 - 2.0 – нова архітектура чіпа, асинхронне виконання ядер;
 - 2.1 – нова архітектура warp scheduler-ів;

3. Покоління Kepler:
 - 3.0, 3.2 – нова архітектура чіпа, Unified memory programming;
 - 3.0 – динамічний паралелізм, Hyper Queue;
4. Покоління Maxwell:

- sm_50 and sm_52 – нова архітектура чіпа.

Для ефективного програмування з використанням GPU потрібно враховувати Compute Capability пристрою, що використовується. Проведемо порівняння трьох архітектур: Tesla, Fermi та Kepler.

«Одиницею»

побудови пристрою графічного процесора (як ядро в CPU) є потоковий мультипроцесор (Streaming Multiprocessor, SM). Мультипроцесор об'єднує основні обчислювальні потужності GPU: текстурні блоки, геометричний двигун PolyMorph Engine і масив ядер CUDA.

Кожне ядро CUDA представляє собою повністю конвейеризований процесор з одним цілочисельним ALU і блоком обчислень з плаваючою комою. За допомогою сотень таких ядер GPU виконує шейдерні програми та обчислення для неграфічних додатків з API OpenCL, DirectCompute, PhysX і, власне, CUDA API.

В середині SM ядра CUDA (рис. 1) використовується спільно з іншими обчислювальними компонентами: блоками Load/Store (LD/ST),

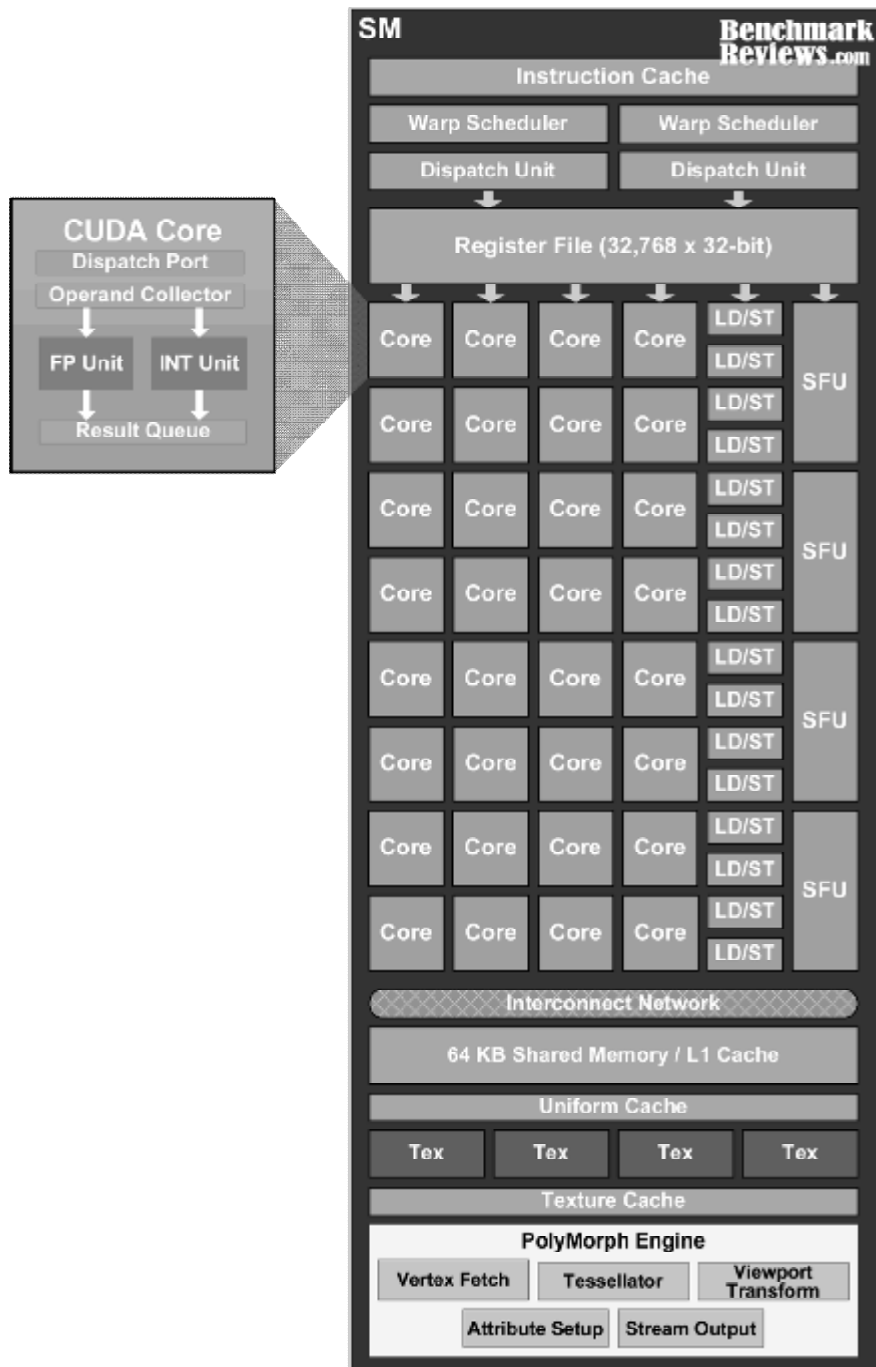


Рис. 1. Потоковий мультипроцесор і ядро CUDA [8]

Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах
 текстурними блоками, блоками інтерполяції, блоками обчислення спеціальних функцій (Special Function Units, SFU). Всі ці компоненти отримують інструкції для виконання від одних і тих же диспетчерів [7].

У Fermi наявні [8]:

- 32 скалярних ядра CUDA Core, ~1.5ГГц;
- 2 Warp Scheduler;
- файл реєстрів, 128KB;
- 3 кеша – текстурний, глобальний (L1), константний (uniform);
- PolyMorphEngine – графічний конвеєр;
- текстурні юніти;
- 16 x Special Function Unit (SFU) – інтерполяція і трансцендентна математика одинарної точності
- 16 x Load/Store

У Fermi чіп з максимальною конфігурацією має 16 SM, що рівне 512 ядрам CUDA.

Архітектура Fermi представлена на рис. 2.

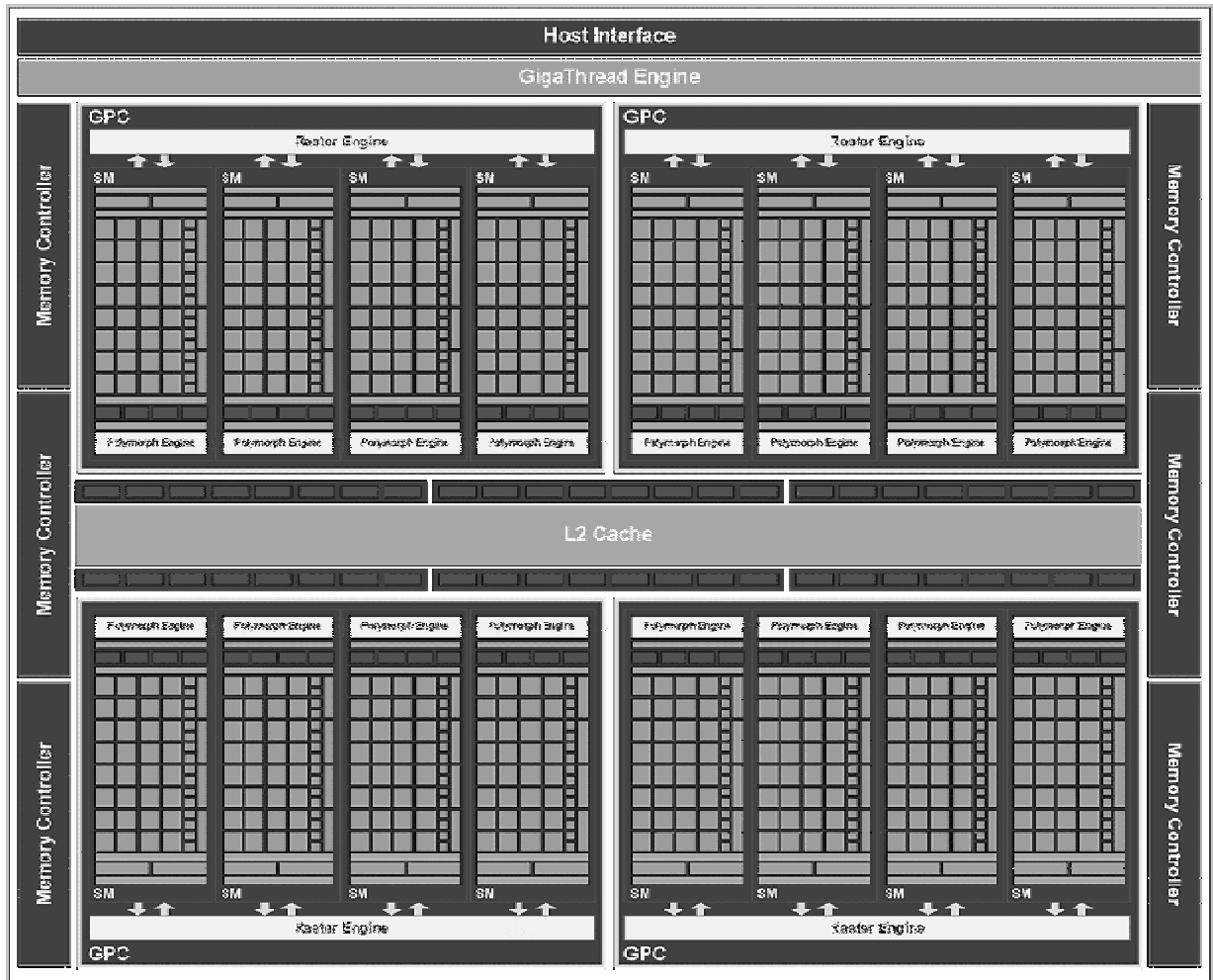


Рис. 2. Архітектура Fermi [8]

У Kepler потокові мультипроцесори були дуже перероблені. Тому до їх абревіатури добавили літеру X (SMX). Як і у Fermi, мультипроцесор об'єднує основні обчислювальні потужності графічного процесора: текстурні блоки, геометричний двигун PolyMorph Engine і масив ядер CUDA.

У Kepler всі блоки SMX (рис. 3) працюють на одній частоті і їх стало більше. Конфігурація мультипроцесора наступна[8]:

- 192 ядра CUDA;
- 2 Warp Scheduler;
- 32 блоків інтерполяції;
- 32 блоків LD/ST;
- 64 x DP Unit;
- 32 x SFU;
- 256KB реєстрів.

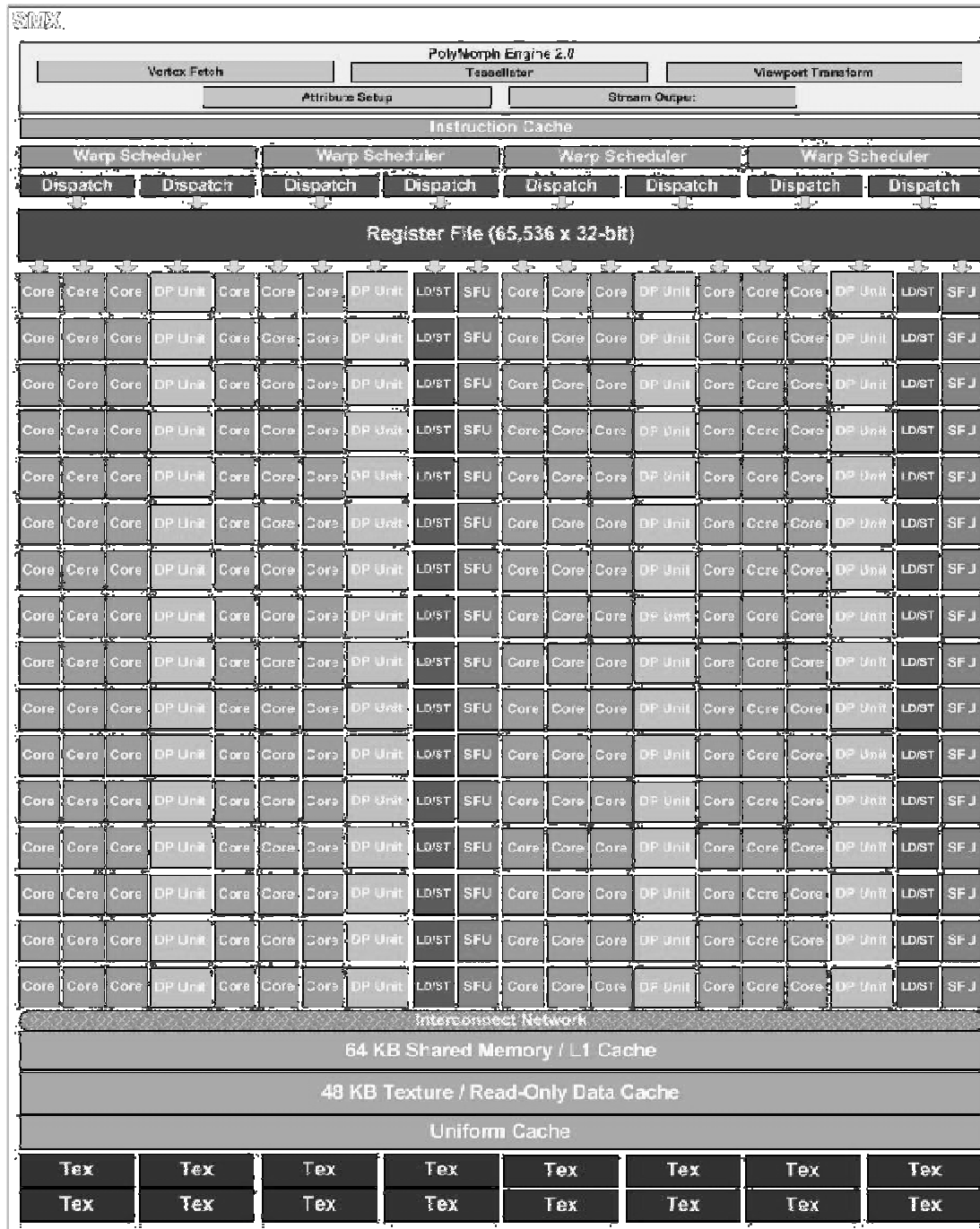


Рис. 3. Поточковий мультипроцесор у Kepler [8]

У склад SMX входить ще один блок з восьми ядер CUDA, який скритий на діаграмі. Це спеціальні ядра, які можуть виконувати обчислення з подвійною точністю (FP64) [7].

У порівнянні з Fermi, у Kepler стало в два рази більше планувальників. З кожним планувальником зв'язані два диспетчери. Вони можуть одночасно відправляти на виконання зразу два «ряди» інструкцій з одного warp. Таким чином, поточковий мультипроцесор набуває функцію позачергового виконання.

У Fermi планувальник визначав залежності операцій у шейдерному коді та перевпорядковував виконання різних warp. У Kepler задача залежностей покладена на компілятор. У самій інструкції вказується, на якому етапі в майбутньому вона може бути відправлена на виконання, і поки цей момент не наступив, планувальник вибирає для виконання інші warp. З одного боку складні планувальники обтяжують енергетичний бюджет, але з іншого – ефективність неграфічних обчислень без них постраждає. Тобто NVIDIA в архітектурі Kepler пожертвувала продуктивністю в користь енергетичної ефективності.

Як і процесори Fermi, Kepler (рис. 4) має легко масштабований модульний дизайн. Всі обчислювальні компоненти розподілені між чотирма «графічними кластерами» (Graphics Processing Cluster, GPC). Поза кластерами знаходиться тільки загальний кеш L2, контролери пам'яті, ROP і блок GigaThread Engine, який розподіляє навантаження між GPC [7].

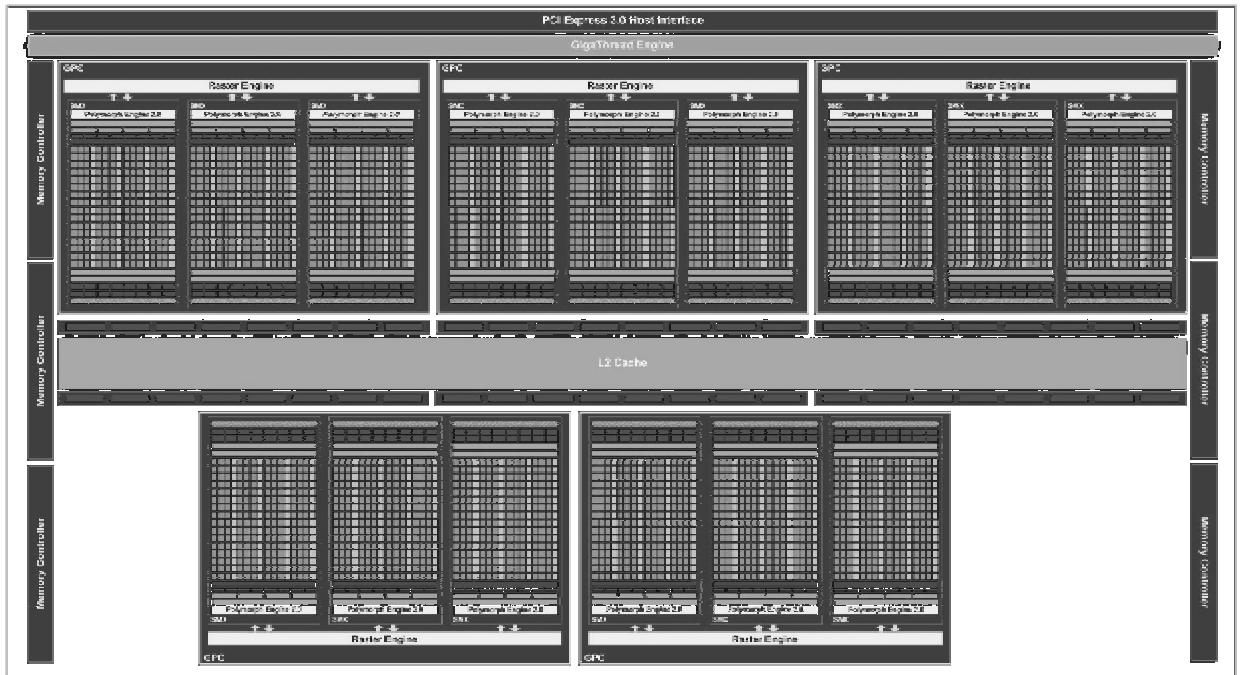


Рис. 4. Архітектура Kepler [8]

У Kepler чіп в максимальній конфігурації має 15 SXM, тобто 2880 cuda-ядра.

Отже, основними особливостями новітньої архітектури Kepler, у порівнянні з попередніми є [9, 10]:

1. Висока продуктивність і ефективність досягається у SMX шляхом збільшення процесорних ядер і зменшуючи логіку управління (рис. 5).

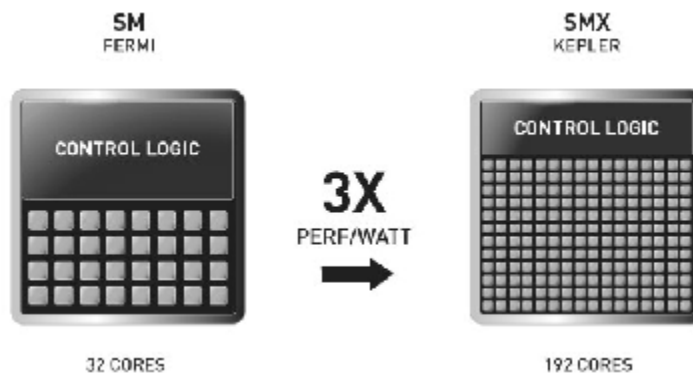


Рис. 5. Порівняння будови потокового мультипроцесора Fermi та Kepler [9]

2. Динамічний паралелізм на Kepler породжує нові потоки шляхом адаптації до даних без повернення до CPU (рис. 6). Це значно спрощує програмування GPU і прискорює більший набір популярних алгоритмів.

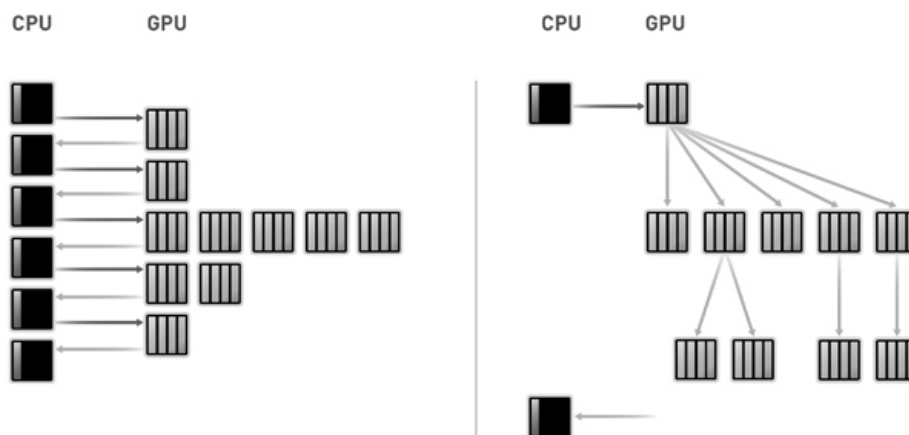


Рис. 6. Порівняння динамічного паралелізму у Fermi та Kepler [9]

3. Нурег-Q у Kepler підвищує ефективність використання GPU, забезпечуючи доступ потоків до 32 незалежних апаратних черг роботи. Нурег-Q дозволяє декільком ядрам CPU запускати роботу на одному GPU одночасно. Це значно збільшує ефективність використання GPU і зменшує час простою CPU.

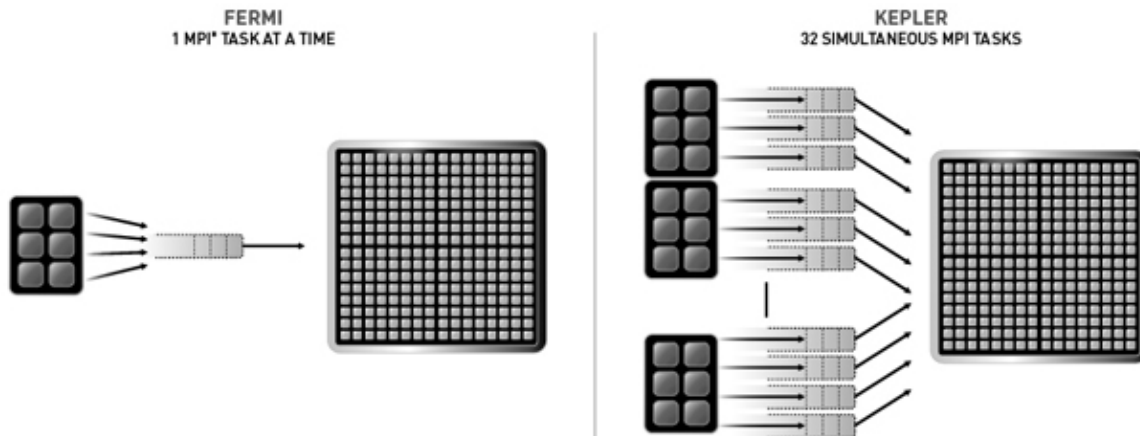


Рис. 7. Порівняння Нурег-Q у Fermi та Kepler [9]

Оцінка ефективності розпаралелення на GPU з використанням різних архітектур

У праці [11] запропоновано побудувати дискретну динамічну модель двообмоткового трансформатора з використанням розпаралелення на графічному багатоядерному процесорі. Вхідними величини є напруги на первинній і вторинній обмотках, а вихідними – відповідні сили струму. Перехідні характеристики трансформатора було знято експериментально. Спершу вимірювали сили струму в обох обмотках при поданні на первинну обмотку стрибка напруги при закороченій вторинній обмотці. Тоді вимірювали сили струму при стрибку напруги на вторинній і закороченій первинній обмотках. Частота дискретизації вимірювань складала 8 кГц. Для існуючого набору експериментальних даних було побудовано лінійну неавтономну модель двообмоткового трансформатора:

$$\begin{cases} \mathbf{x}^{(k+1)} = \begin{pmatrix} 0,9316 & 0,4713 \\ 0,0053 & 0,9343 \end{pmatrix} * \mathbf{x}^{(k)} + \begin{pmatrix} 0,0111 & 0,0101 \\ -0,0011 & 0,0008 \end{pmatrix} * \mathbf{v}^{(k)} \\ \mathbf{y}^{(k+1)} = \begin{pmatrix} 0,0018 & 0,0171 \\ 0,0011 & -0,0125 \end{pmatrix} * \mathbf{x}^{(k+1)} + \begin{pmatrix} 0,0128 & 0,0008 \\ 0,0004 & 0,0078 \end{pmatrix} * \mathbf{v}^{(k)} \end{cases}$$

де $\mathbf{x}^{(k)}$ – вектор змінних стану, який характеризує поточний стан об’єкту;
 $\mathbf{v}^{(k)}$ – вектор вхідних значень;
 $\mathbf{y}^{(k)}$ – вектор вихідних значень.

При побудові дискретних динамічних моделей функція мети має чітко виражений яровий характер з великою кількістю локальних мінімумів. Для розв’язку такої задачі використано метод напрямного конуса Растрігіна. Проте така оптимізаційна задача є досить складною і вимагає значних обчислювальних затрат, які зумовлюють високі вимоги до швидкодії та необхідної оперативної пам’яті обчислювальних засобів. Тому доцільним є розпаралелення обчислювального процесу побудови дискретних динамічних моделей.

Враховуючи те, що в цій задачі виконується велика кількість операцій над векторами, для практичної реалізації обрано архітектуру SIMD. Цей тип архітектури дає змогу виконати один і той самий потік команд для багатьох потоків даних.

Для процедури побудови дискретних динамічних моделей використано розпаралелення за двома рівнями паралелізму: крупнозернистим та дрібнозернистим [12].

Для дослідження ефективності розпаралелення процесу ідентифікації моделі проведено порівняння часу виконання послідовного алгоритму на центральному процесорі та час виконання з розпаралеленням на графічному процесорі. Досягнута ефективність розпаралелення залежить від кількості точок, для яких обчислюється функція мети на один крок алгоритму оптимізації. Час послідовної програми зі збільшенням згенерованих точок поступово збільшується, а час паралельної програми – залишається відносно сталим [11].

Програма є універсальною для будь-якої відеокарти з підтримкою CUDA. Тому доцільно порівняти виконання паралельної програми на відеоадаптерах з різним показником Compute Capability.

Тестування програми проведено на трьох GPU з різними архітектурами – GeForce GTS 250, GeForce 525M і GeForce GTX 650 Ti. У табл. 1 приведено характеристики трьох відеоадаптерів з різними архітектурами.

Як видно з табл. 1, за Compute Capability графічний процесор має архітектуру Tesla, GeForce 525M – Fermi, GeForce GTX 650 Ti – Kepler.

Порівняння графічних процесорів GeForce GTS 250, GeForce 525M і GeForce GTX 650 Ti

GPU (архітектура)	GeForce GTS 250 (Tesla)	GeForce 525M (Fermi)	GeForce GTX 650 Ti (Kepler)
Кількість транзисторів (млн. шт.)	754	585	2540
CUDA-ядра	128	96	768
Compute Capability	1.1	2.1	3.0
Частота ядра (МГц)	738	600	928
Пропускна смуга пам'яті (ГБ/сек)	70.4	28.8	86.4
Інтерфейс пам'яті	256-bit	128-bit	128-bit GDDR5
Об'єм пам'яті (МБ)	510	1536	1024

Показником ефективності вибрано час виконання паралельної програми, який припадає на одне ядро. На рис. 8 представлено порівняння відношення часу виконання програми до кількості ядер на графічному процесорі. Графік представлено у логарифмічному масштабі.

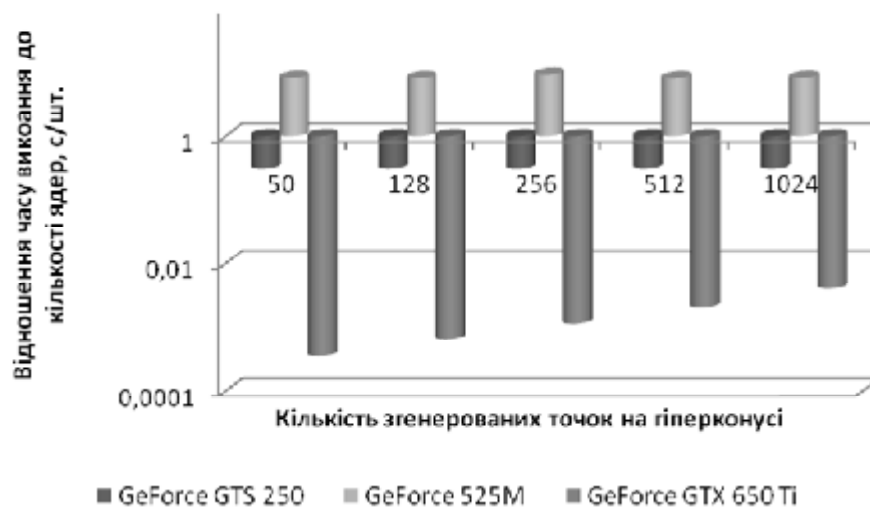


Рис. 8. Порівняння відношення часу виконання програми до кількості ядер на різних графічних процесорах

Висновки

У цьому дослідженні проведено порівняльний аналіз відеоприскорювачів з різними архітектурами – Tesla, Fermi, Kepler. Проведено чисельні експерименти розпаралелення на GPU з використанням різних архітектур.

Для GPU GeForce 525M показники частоти ядра, пропускної смуги пам'яті, інтерфейсу пам'яті є нижчими, оскільки це відеокарта для мобільних ПК. Тому для цієї відеокарти часова складність виконання програми є найвищою.

Незважаючи на те, що перший відеоадаптер належить до старих архітектур, він має досить хороші характеристики частоти ядра та інтерфейсу пам'яті, що дає змогу виконувати на ньому ефективно розпаралелення.

Незважаючи на велику кількість ядер в новій архітектурі Kepler, ефективність розпаралелення на ній зростає не сильно. Оскільки в цій архітектурі пожертвували продуктивністю заради енергоефективності.

Література

1. NVIDIA CUDA – доступний билет в мир больших вычислений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerra.ru/interactive/423392/>.
2. NVIDIA Quadro открывает новую эру мобильных суперкомпьютеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/object/nvidia-quadro-fermi-mobile-20110222-ru.html>.
3. Черняк Л. Многоядерные процессоры и грядущая параллельная революция // Леонид Черняк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2007/04/4219910/>.
4. Боресков А. В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA/ А. В. Боресков, А. А. Харламов и др.. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 336 с.
5. Стахів П. Г. Метод розпаралелення задач ідентифікації параметрів дискретних динамічних макромоделей на масивно-паралельних процесорах / П. Г. Стахів, І. П. Струбицька // Наукові нотатки. – Луцьк, 2010. – № 27. – С. 300-305.
6. Струбицька І. П. Оцінка ефективності розпаралелення обчислень на графічних процесорах і

різних операційних системах // Матеріали II Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології». – Тернопіль: ТНЕУ, 2012. – С. 143-144.

7. GeForce GTX 680: Чемпион на стероидах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/626473>

8. NVIDIA GeForce GTX 680 Review: Retaking The Performance Crown [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.anandtech.com/show/5699/nvidia-geforce-gtx-680-review/2>

9. Kepler - the world's fastest, most efficient HPC architecture - [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.nvidia.com/object/nvidia-kepler.html>

10. Firma NVIDIA wprowadza nowy standard w rozwiązaniach do obliczeń wysokowydajnych – procesory graficzne Tesla oparte na architekturze Kepler - [Elektroniczne zasób]. - Tryb dostępu: <http://www.nvidia.pl/object/hpc-kepler-based-tesla-gpus-20120516-pl.html>

11. Стахів П. Г. Розпаралелення процесу побудови дискретної динамічної моделі двообмоткового трансформатора / Стахів П. Г., Струбицька І. П., Козак Ю. Я. // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2012. – №1 (65). – С. 182-187.

12. Козак Ю. Я. Розпаралелення алгоритму оптимізації параметрів дискретних динамічних моделей на масивно-паралельних процесорах / Ю. Я. Козак, П. Г. Стахів, І. П. Струбицька // Відбір і обробка інформації. – 2010. – Вип. 32 (108). – С. 126-130.

References

1. NVIDIA CUDA – dostupnyi bilet v mir bolshih vichislenii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.computerra.ru/interactive/423392/>.

2. NVIDIA Quadro otkryvaet novuiu eru mobilnyh superkompiuterov [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.nvidia.ru/object/nvidia-quadro-fermi-mobile-20110222-ru.html>.

3. Cherniak L. Mnogoiadernnye protsessory i griadushchaia paralelnaia revoliutsiia / Leonid Cherniak [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.osp.ru/os/2007/04/4219910/>.

4. Borieskov A. V. Parallelnye vychysleniia na GPU. Arhitektura i programnaia model CUDA/ A. V. Boriaskov, A. A. Kharlamov i dr.. – M.:Izdatelstvo Moskovskogo universiteta. – 336 s.

5. Stakhiv P. G. Metod rozparalelnnia zadachi identifikatsii parametrv diskretnyh dynamichnyh makromodelei na masyvno-paralelnyh protsesorah / P. G. Stakhiv, I. P. Strubyska //Naukovi notatky. – Lutsk, 2010. – № 27. – S. 300-305.

6. Strubyska I. P. Otsinka efektyvnosti obchyslen na grafichnyh protsesorah i riznyh operatsiinyh systemah // Materialy II Vseukrainskoi shkoly-seminaru molodyh vcheny i studentiv «Suchasni kompiuterni informatsiini tehnologii ». – Ternopil: TNEU, 2012. – S. 143-144.

7. GeForce GTX 680: Chempion na steroidah [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.3dnews.ru/626473>

8. NVIDIA GeForce GTX 680 Review: Retaking The Performance Crown [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.anandtech.com/show/5699/nvidia-geforce-gtx-680-review/2>

9. Kepler - the world's fastest, most efficient HPC architecture - [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.nvidia.com/object/nvidia-kepler.html>

10. Firma NVIDIA wprowadza nowy standard w rozwiązaniach do obliczeń wysokowydajnych – procesory graficzne Tesla oparte na architekturze Kepler - [Elektroniczne zasób]. - Tryb dostępu: <http://www.nvidia.pl/object/hpc-kepler-based-tesla-gpus-20120516-pl.html>

11. Stakhiv P. G. Rozparalelnnia protsesu pobudovy dyskretnoi dynamichnoi modeli dvoobmotkovogo transformatora / Stakhiv P. G., Strubyska I. P., Kozak Y. Y. // Visnyk Ternopil'skogo natsionalnogo tehnicznego universitetu. – 2012. – №1 (65). – S. 182-187.

12. Kozak Y. Y. Rozparalelnnia alorytmu optymizatsii dyskretnyh dynamichnyh modelei na masyvno-paralelnyh protsesorah / Y. Y. Kozak, P. G. Stakhiv, I. P. Strubyska // Vidbir I obrobka informatsii. – 2010. – Vyp. 32 (108). – S. 126-130.

Рецензія/Peer review : 16.11.2014 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 519.87:612.44

Н.І.ПАДЛЕЦЬКА, М.П.ДИВАК, А.В.ПУКАС, Ю.А.ГОРДІЄВИЧ, С.П.ВАЛЬЧИШИН

Тернопільський національний економічний університет

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА

У статті запропоновано та обґрунтовано алгоритмічну та програмну реалізацію системи для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі. Система функціонує в режимі реального часу. Розроблена програмна система призначена для управління потоком інформаційних сигналів, отриманих в результаті подразнення тканини хірургічної рани, та подальшого їх опрацювання. Програмна система забезпечує візуалізацію покрокових результатів опрацювання отриманого інформаційного сигналу і повідомлення про тип тканини в точці подразнення хірургічної рани, що супроводжується сигналом у випадку подразнення зворотного гортанного нерва.

Проведено апробацію програмної системи для виявлення типу тканин хірургічної рани в процесі хірургічної операції для групи пацієнтів.

В результаті проведених досліджень встановлено, що під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі в даного пацієнта з використанням розробленої програмної системи правильно прокласифіковано тип тканини хірургічної рани в усіх пацієнтів, що забезпечило безпомилкову ідентифікацію зворотного гортанного нерва.

Ключові слова: щитоподібна залоза, зворотний гортанний нерв, м'язова тканина, програмна система, інформаційний сигнал.

NATALIA PADLETSCA, MYKOLA DYVAK, ANDRIY PUKAS, YULIA HORDIIEVYCH, STEPAN VALCHYSHYN

Ternopil National Economic University

SOFTWARE SYSTEM TO STUDY THE IDENTIFICATION PROCESS RECURRENT LARYNGEAL NERVE

The article proposed and proved algorithmic and software implementation of the system to identify the recurrent laryngeal nerve during surgery on the thyroid gland. The system operates in real-time. The developed software system is designed to control the flow of information signals obtained as a result of stimulation of tissue of surgical wounds, and their subsequent processing. The software system provides step-by-step visualization of results of processing of the received information signal and reports the type of tissue at the point of irritation the surgical wound, which is accompanied by a signal of irritation of the recurrent laryngeal nerve.

The approbation of a software system identify the type of tissue surgical wounds in the course of surgical operations for patients.

As a result of the conducted researches it is established that during surgery on the thyroid gland in a given patient using the developed software system correctly preclassified type tissue surgical wounds in all patients, which would have provided an unmistakable identification of the recurrent laryngeal nerve.

Key words: thyroid gland, recurrent laryngeal nerve, a muscle tissue, software system, the information signal.

Постановка задачі

Основною проблемою під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі є виявлення зворотного гортанного нерва (ЗГН), пошкодження якого може призвести до погіршення функціонування голосового апарату, або ж дихальної системи людини.

Спосіб ідентифікації ЗГН з поміж м'язових тканин на хірургічній рані детально описаний в патенті [1]. Цей спосіб ґрунтується на подразненні області хірургічного втручання змінним електричним струмом фіксованої частоти та оцінюванні результатів цього подразнення на голосових зв'язках. У подальшому відбувається реєстрація фізіологічної реакції голосових зв'язок у вигляді акустичного сигналу з подальшим його перетворенням в електричний сигнал. Отриманий інформаційний сигнал містить певні інформативні ознаки, які вказують на подразнення ЗГН або ж м'язової тканини.

На основі проведених досліджень встановлено, що особливості гортані кожного пацієнта суттєвим чином впливають на характер отриманого інформаційного сигналу [2]. Тому виділення інформативних ознак з цього сигналу в процесі хірургічної операції на вибірці пацієнтів з метою ідентифікації ЗГН є досить складною задачею. Для розв'язування зазначеної задачі доцільно виявляти певні закономірності в отриманих сигналах, які є спільними для групи пацієнтів. Такі закономірності встановлено в працях [2,3,4]. Також розроблено метод та інформаційну технологію ідентифікації ЗГН [3,4], проте її програмна реалізація в режимі реального часу відсутня, що обумовлює актуальність задачі, наведеної в даній праці.

Особливості отримання інформаційного сигналу та його інформативних ознак для ідентифікації зворотного гортанного нерва

Розглянемо особливості отримання інформаційного сигналу для ідентифікації ЗГН.

Інформаційний сигнал, отриманий способом [1], є реакцією голосових зв'язок пацієнта на подразнення тканин хірургічної рани щитоподібної залози. В дихальній трубці, що розміщена в гортані пацієнта, встановлено над голосовими зв'язками сенсор звукових коливань, який реєструє коливання потоку повітря внаслідок подразнення тканин хірургічної рани маніпулятором перед хірургічним втручанням, що

під'єднаний до генератора змінного струму фіксованої частоти, для якої забезпечується мала провідність електричного сигналу м'язовими тканинами і висока провідність електричного сигналу гортанним нервом та м'язами, що керують натягом голосових зв'язок. Зафіксовані звукові коливання повітря перетворюються в електричний сигнал, підсилюються підсилювачем та передаються на аудіо-вхід звукової карти комп'ютера для подальшого опрацювання отриманого інформаційного сигналу.

Спираючись на дослідження у праці [3,4], інформативні ознаки, отриманого в процесі хірургічної операції електричного сигналу способом [1], дають змогу ідентифікувати тип тканини в точці подразнення на хірургічній рані. На рис.1 подано інформаційний сигнал, отриманий внаслідок подразнення 6-ти точок хірургічної рани. Виділені на рис.1. фрагменти інформаційного сигналу характеризують вдих-видих пацієнта під час подразнення м'язової тканини чи ЗГН.

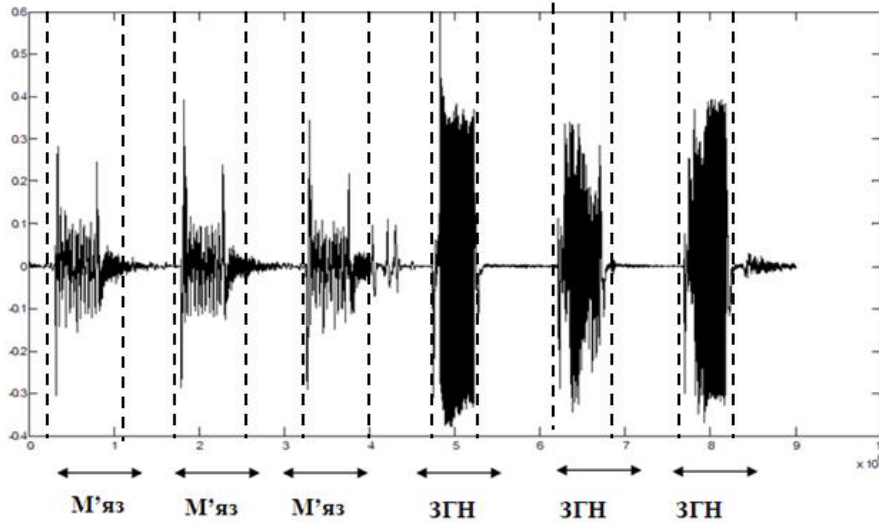


Рис.1. Інформаційний сигнал, отриманий під час подразнення тканин хірургічної рани

Виділення інформативних ознак з отриманого інформаційного сигналу є досить складним процесом, який включає в себе сукупність багатьох математичних і програмних методів. Основними інформативними ознаками, які дозволяють встановити, чи точка подразнення хірургічної рани належить ЗГН, чи – м'язовій тканині, є енергетичний спектр інформаційного сигналу та значення енергії у виділеному інтервалі частот.

Суть інформаційної технології опрацювання інформаційного сигналу в задачі ідентифікації ЗГН з тканин хірургічної рани [4], проілюстровано на рис.2.

Як видно з рис.2, ідентифікація тканин хірургічної рани внаслідок хірургічного втручання на щитоподібній залозі здійснюється поетапно.

Для отриманого інформаційного сигналу $u(t)$ на першому кроці із використанням технічних засобів (патент [1]) здійснюється сегментація (крок 2), якщо подразнення було здійснено протягом кількох вдихань та видихань пацієнтом повітря (рис.1). Внаслідок цього для множини сегментів, отриманих через подразнення тканини хірургічної рани в певній точці, застосовують математичні перетворення на наступних кроках для виділення інформативних ознак. На третьому кроці відбувається отримання автокореляційної функції (АКФ) [3] для сегментів інформаційного сигналу за наступною формулою [5]:

$$B_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u_i(t)u_i(t-t)dt \quad (1)$$

$i=1, \dots, m.$

де m – кількість сегментів інформаційного сигналу (число m може бути різним), а $u_i(t)$ – i -тий сегмент інформаційного сигналу. В ході наступного кроку отримано енергетичні спектри сегментів інформаційного сигналу, застосовуючи перетворення Фур'є [5] до побудованих АКФ (1), за формулою:

$$|\mathcal{G}_{u_i}(f)|^2 = \Phi[B_{u_i}(t)] = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{\infty} B_{u_i}(t) \cdot \cos(2pft) dt \quad (2)$$

$i=1, \dots, m,$

де $|\mathcal{G}_{u_i}(f)|$ – спектральна густина i -го сегмента інформаційного сигналу $u(t)$, f – частота гармонічної складової.

Враховуючи дослідження в працях [3,4], оцінку енергії інформаційного сигналу або ж окремого сегменту здійснено за формулою:

$$E_i = \frac{1}{p} \int_{f_1}^{f_2} |\mathcal{G}_{u_i}(f)|^2 df, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

де величина E_i задає значення енергії i -го сегмента інформаційного сигналу, яка зосереджена в діапазоні частот $[f_1; f_2]$.

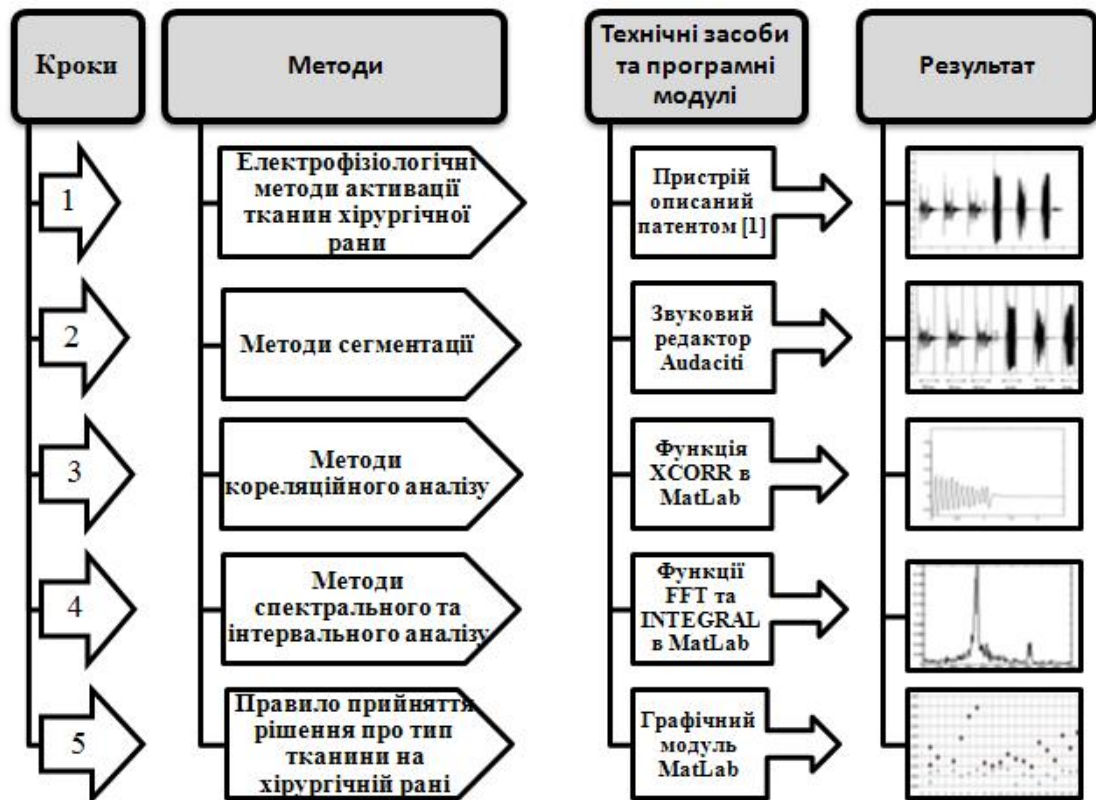


Рис.2. Схема інформаційної технології опрацювання інформаційного сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани.

У результаті виконаних перетворень на четвертому кроці для всього інформаційного сигналу отримано інтервальну оцінку енергії $[E^-; E^+]$, характерну для області подразнення на хірургічній рані. Отримана інтервальна оцінка гарантовано включає значення енергії E_i кожного сегмента інформаційного сигналу, тобто:

$$\forall E_i \in [E^-; E^+], i = 1, \dots, m \quad (4)$$

На п'ятому кроці отримані інтервальні оцінки енергії $[E^-; E^+]$ інформаційного сигналу порівнюють з пороговим інтервалом $[E_n^-; E_n^+]$, метод та алгоритм отримання якого описано в праці [4] за правилом виявлення: якщо для інтервальної оцінки енергії інформаційного сигналу у точці подразнення виконується нерівність за правилами $[E_m^-; E_m^+] < E_n^-$, то точка подразнення належить м'язовій тканині, якщо ж $[E_{згн}^-; E_{згн}^+] > E_n^+$, то точка подразнення належить ЗГН.

Спираючись на вище наведені математичні перетворення та дослідження, описані в працях [3,4], для опрацювання інформаційного сигналу авторами даної праці розроблено та запропоновано програмну систему для ідентифікації ЗГН, яка функціонує в режимі реального часу. Результатом функціонування системи є візуалізація та звукові повідомлення про тип тканини під час хірургічної операції протягом 0,5 секунди після подразнення тканин хірургічної рани.

Вимоги до програмної системи для ідентифікації зворотного гортанного нерва в режимі реального часу

Програмна система призначена для використання в реальному часі під час проведення операції, тому головним її завданням є попередити лікаря про наявність зворотного гортанного нерва в точці подразнення. Спочатку сформулюємо функціональні вимоги до програмної системи:

1. Зчитування сигналу зі звукового сенсора;
2. Запис сигналу до медіа-файлу;
3. Фільтрація дискретизованого сигналу;
4. Сегментація отриманого інформаційного сигналу;
5. Визначення інформативних ознак:
 - а) Отримання АКФ інформаційного сигналу;
 - б) Побудова енергетичного спектру інформаційного сигналу;
 - в) Визначення рівня енергії в заданому діапазоні частот;

6. Порівняння енергії з пороговим інтервалом;
7. Повідомлення про тип тканини в точці подразнення на хірургічній рані.

Тепер сформулюємо обов'язкові не функціональні вимоги до програмного продукту:

- Зручний графічний інтерфейс з палітрою кольорів в спокійних нейтральних тонах, інтерфейс не повинен містити зайвих елементів, які могли б відволікати увагу користувача. Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим та простим для користувачів.
- Система повинна коректно працювати і вихідні дані системи повинні залежати лише від сукупності вхідних даних, тобто вона повинна бути ізольована від зовнішніх впливів і результат повинен бути вірний за будь-яких умов.
- Захищеність від несанкціонованого доступу
- Програмна надійність – програма повинна бути стійкою до різноманітних дій користувача.
- Швидкість відгуку – для опрацювання сигналу в режимі реального часу 0,5 секунди. Система повинна миттєво та точно реагувати на дії користувача під час проведення операції.
- Гнучкість – розроблена архітектура повинна надавати можливість легко розширювати інформативні ознаки, які використовуються для ідентифікації ЗГН.

Проектування структури системи

Після аналізу предметної області та вимог до програмної системи розроблено її структуру, яка схематично представлена на рис 3. UML-діаграмою варіантів використання.

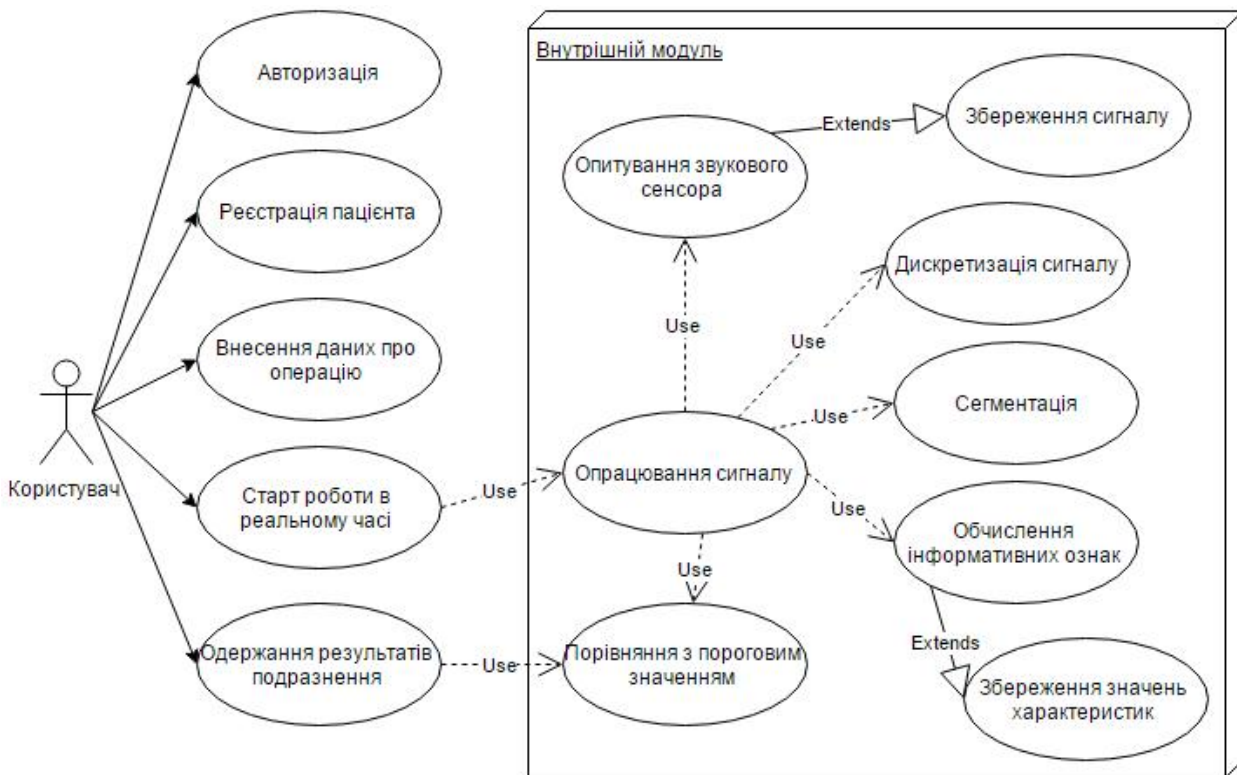


Рис 3. UML діаграма варіантів використання

Як бачимо з рис.3 користувач системи, у ролі якого може виступати як хірург, так і особа з необмеженим доступом, має можливість після авторизації виконувати операції додавання пацієнтів, опрацьовувати сигнали в реальному часі після запуску цієї функції та отримувати результати опрацювання.

Внутрішній модуль системи безпосередньо здійснює обробку вхідних сигналів, визначає інформативні ознаки та видає результат роботи: чи даний сигнал отриманий внаслідок подразнення гортанного нерва чи м'язової тканини. Після запуску користувачем системи, внутрішній модуль знаходиться в режимі опитування звукового сенсора. При надходженні сигналу, в іншому потоці проводиться обробка сигналу, однак опитування звукового сенсора не припиняється.

Як видно з діаграми класів (рис.4), у внутрішньому модулі головним класом є SignalManager. Цей клас інкапсулює в собі логіку опитування звукового сенсора, перетворення одержаного сигналу в цифровий сигнал, одержання інформативних характеристик та порівняння їх з пороговим значенням. У методі ReadSignal() у «вічному циклі» опитується звуковий сенсор, після одержання сигналу він конвертується у цифровий вигляд за допомогою класу SignalConverter. Після цього цифровий сигнал сегментується за допомогою SegmentManager, зокрема методу Segmentation(), який повертає масив сегментів. Одержані сегменти опрацьовує клас FeaturesCalculator до отримання значень енергії.

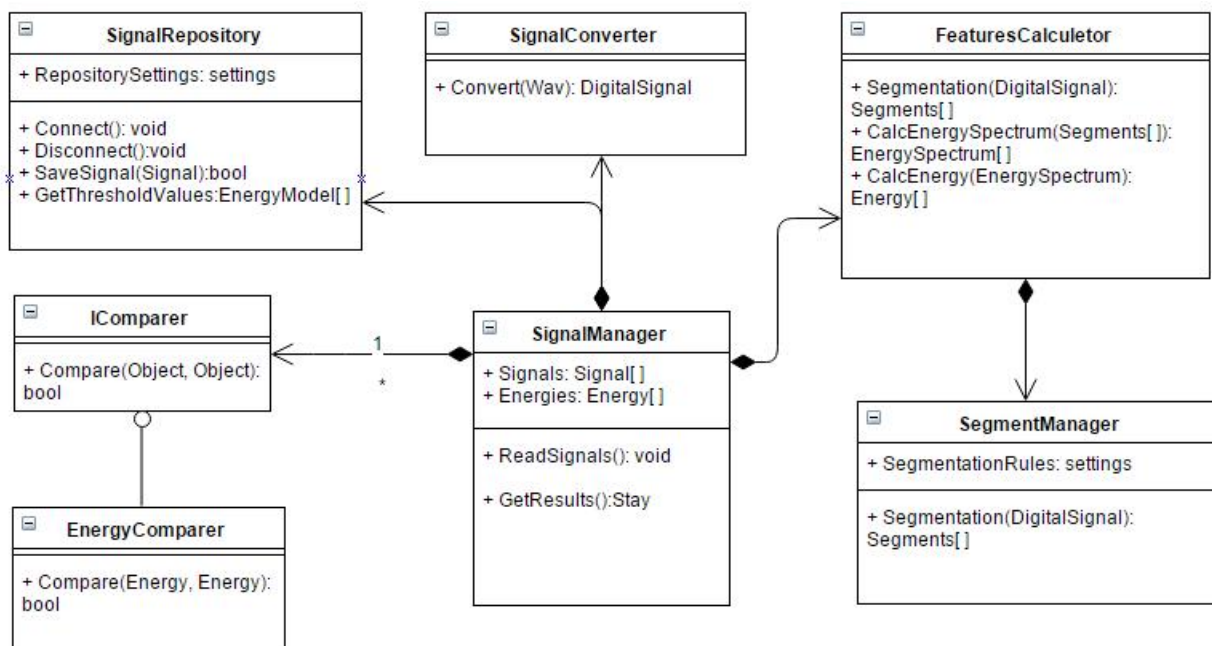


Рис.4. Діаграма класів

Подальше опрацювання проводиться використовуючи шаблон «Observer». Коли значення енергії отримано, їх записують до тимчасового потокобезпечного масиву Energies у SignalManager. При додаванні нових значень до масиву, сповіщається клас IComparer, який представлений класом EnergyComparer та є головним для SignalManager. Клас EnergyComparer «відповідальний» за читання даних з бази даних порогових значень, порівняння їх з щойно отриманими та формування відгуку користувачу. Вся робота з базою даних проводиться лише через SignalRepository, який є додатковим рівнем абстракції, що робить дану архітектуру незалежною від RDBMS, яка зараз використовується. Також усі інформаційні сигнали та отримані їх інформативні ознаки зберігаються в базі даних за допомогою SignalRepository для їх подальшого дослідження.

Якщо системою виявлено, що отриманий сигнал є результатом подразнення ЗГН, то для інформування користувача використовується звукове повідомлення (сигнал тривоги) та інформаційне повідомлення на екрані монітора.

Приклад реалізації програмної системи для ідентифікації тканин хірургічної рани в процесі хірургічної операції

Перед початком хірургічної операції на щитоподібній залозі лікар заносить в базу даних інформацію про пацієнта і викликає програмну систему. Система після запуску одразу ж переходить в режим опитування звукового сенсора на результат подразнення тканин хірургічної рани.

У процесі хірургічної операції хірург, перш ніж зробити надріз, шупом, що під'єднаний до генератора змінного струму фіксованої частоти, подразнює тканини хірургічної рани вздовж лінії майбутнього надрізу. Програмна система отримує інформаційний сигнал – реакцію на подразнення тканин хірургічної рани, зі звукового сенсора, з допомогою внутрішнього модуля опрацьовує, визначає інформативні ознаки вихідного сигналу та видає покрокові результати на екран монітора. Оскільки, хірурга в процесі хірургічного втручання цікавить тип тканини в точці подразнення, то результатом подразнення тканин хірургічної рани є візуальне повідомлення: «М'ЯЗОВА ТКАНИНА» або «ЗВОРТНИЙ ГОРТАНИЙ НЕРВ». Остання також супроводжується звуком (попередження або сигнал тривоги). Такий підхід дозволяє лікареві проводити хірургічну операцію без неперервного відволікання уваги на екран монітора. На рис.5. зображено отриманий під час подразнення тканин хірургічної рани інформаційний сигнал.

З рис.5. видно, що подразнення тканини хірургічної рани було здійснено протягом одного вдиху-видиху пацієнтом повітря, тому етап сегментації під час опрацювання отриманого інформаційного сигналу опускається. На другому етапі візуалізовано

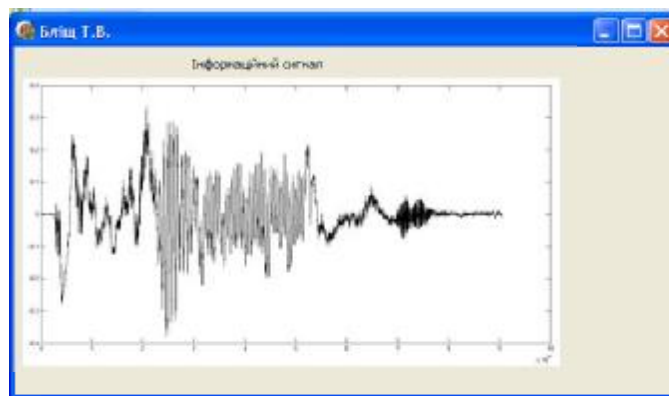


Рис.5. Зображення інформаційного сигналу

автокореляційну функцію для інформаційного сигналу. Отриманий результат АКФ відображено на рис.6.

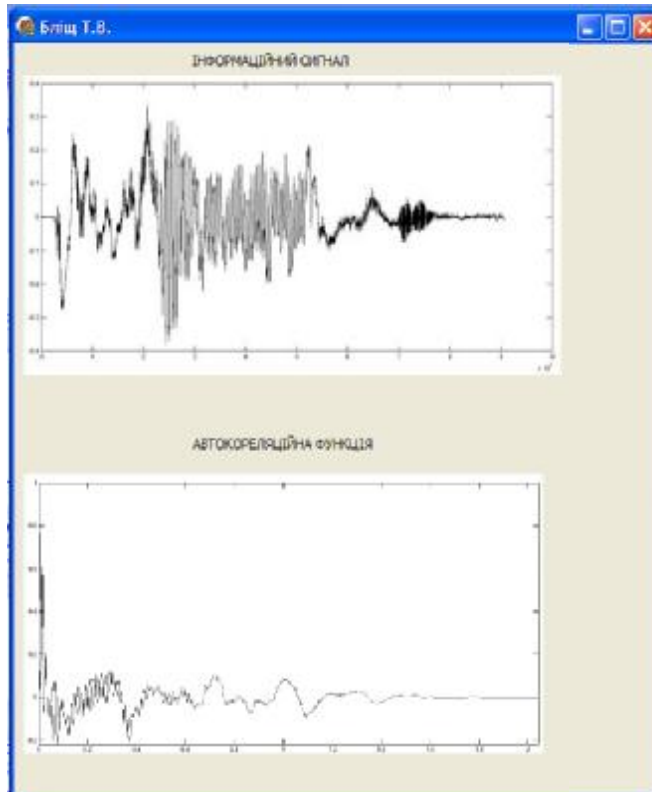


Рис.6. Зображення АКФ інформаційного сигналу.

На рис.7. візуалізовано результат побудови енергетичного спектру інформаційного сигналу.

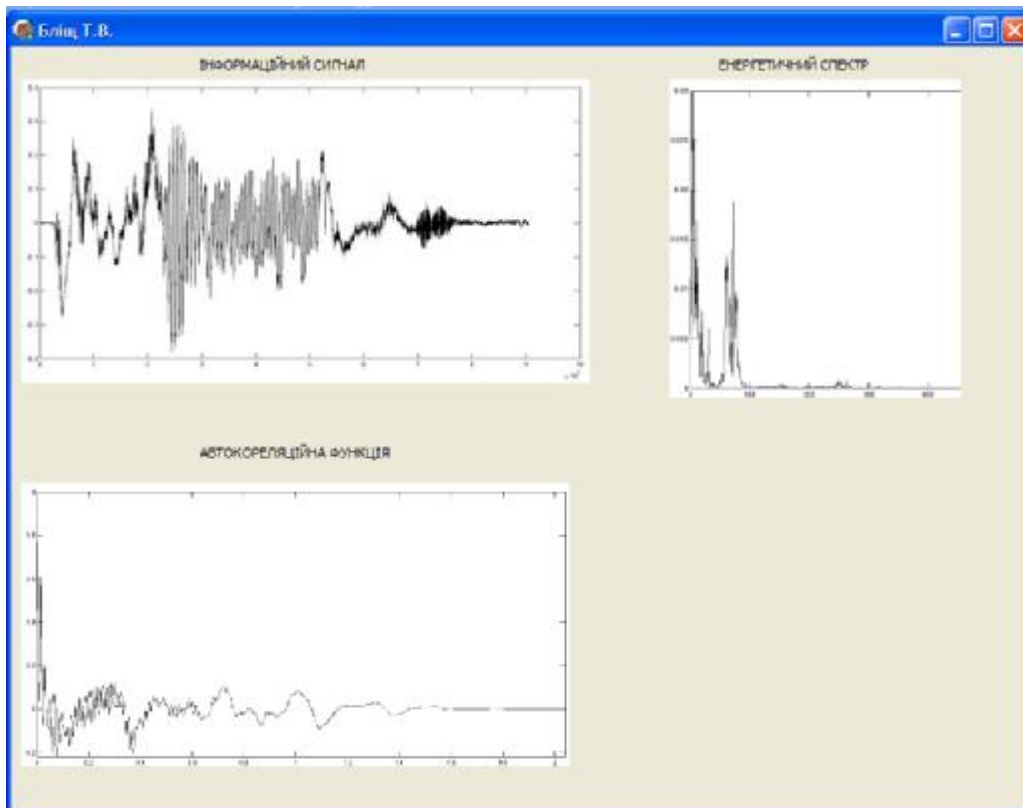


Рис.7. Зображення енергетичного спектру інформаційного сигналу.

На останньому етапі – проводиться порівняння отриманого значення енергії з пороговим інтервалом енергії за правилом виявлення. Результат порівняння на екрані монітора наведено на відеограмі рис.8, а результат порівняння для випадку подразнення ЗГН, наведено на відеограмі рис.9.

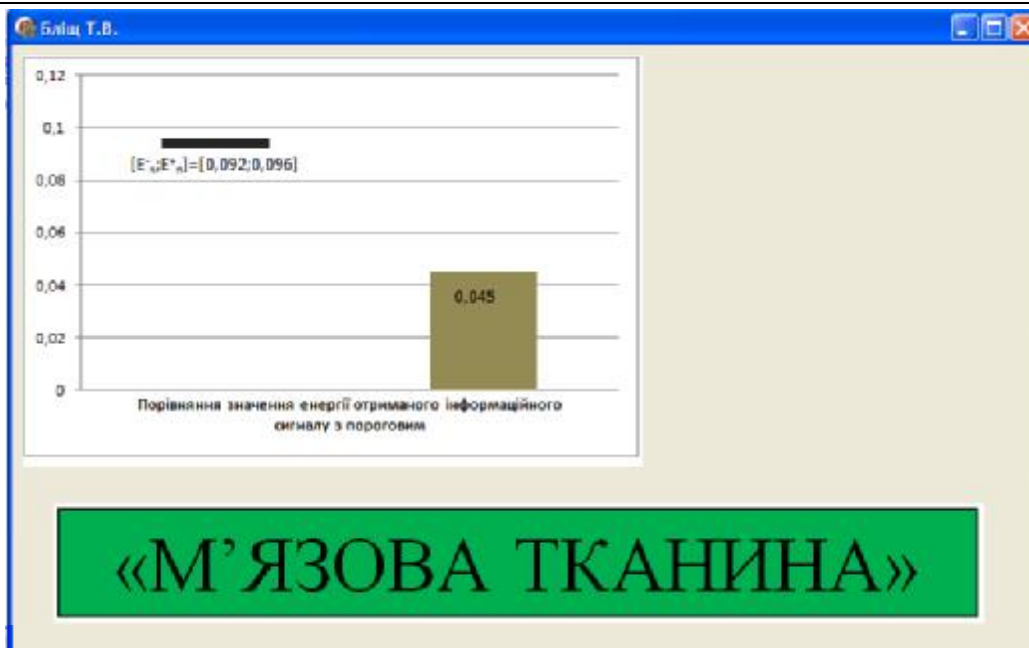


Рис.8. Результат опрацювання інформаційного сигналу у випадку подразнення м'язової тканини.

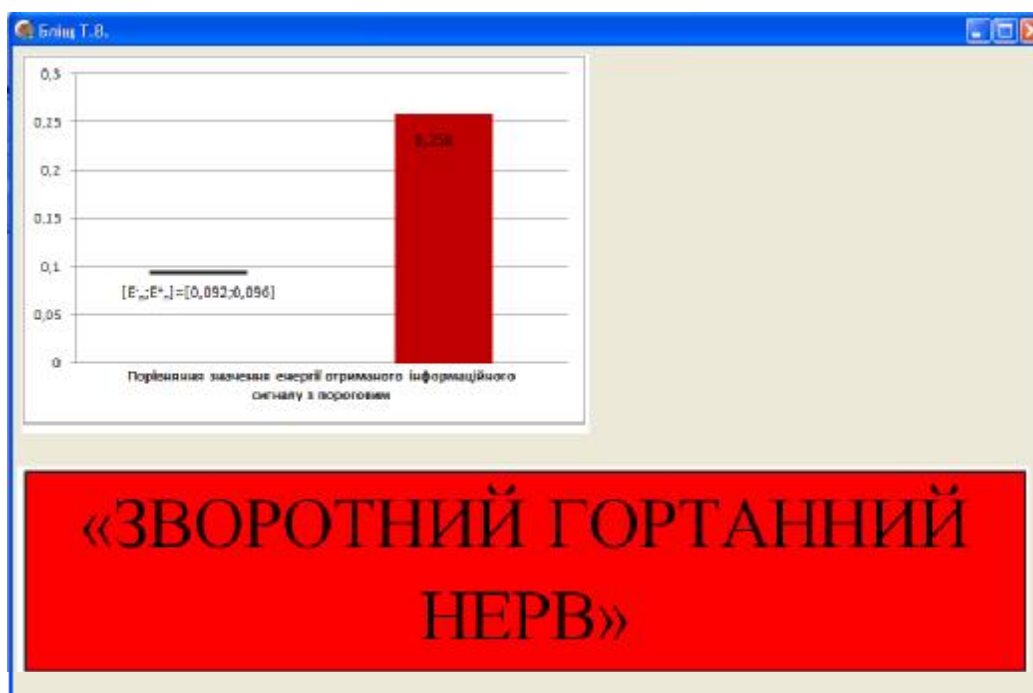


Рис.9. Результат опрацювання інформаційного сигналу у випадку подразнення ЗГН.

Після повідомлення хірургу про тип тканини хірургічної рани оновлення екрану здійснюється після поступлення нового інформаційного сигналу.

Висновки

Запропоновано та обґрунтовано програмну систему для ідентифікації ЗГН під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі в режимі реального часу, що значно зменшує ризик його пошкодження в порівнянні з відомими підходами. Розроблена програмна система призначена для опрацювання потоку інформаційних сигналів, отриманих в результаті подразнення тканини хірургічної рани. Програмна система надає можливість візуалізації на моніторі поетапні результати опрацювання отриманого інформаційного сигналу і повідомлення про тип тканини в точці подразнення хірургічної рани. За бажанням користувача, видача проміжних результатів опрацювання інформаційного сигналу може бути заблокована.

Проведено апробацію програмної системи для виявлення типу тканини хірургічної рани в процесі хірургічних операцій і підтверджено її функціональну придатність.

Слід зауважити, що розроблена програмна система ґрунтується на встановленому емпірично пороговому інтервалі енергій, отриманого для певної (хоча і значної) вибірки пацієнтів [4], тому запропонована система не гарантує безпомилкову ідентифікацію ЗГН на хірургічній рані для будь-якого пацієнта.

Література

1. Патент України на корисну модель №51174 . Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі / Дивак М.П., Шідловський В.О., Козак О.Л. // Бюл. «Промислова власність» №13. – 2010.
2. M. Dyvak, N. Kasatkina, A. Pukas, N. Padletska, “Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery”, //PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 6/2013 pp.275-277.
3. Дивак М. П. Метод інтервального аналізу енергетичного спектру інформаційного сигналу для задачі ідентифікації зворотного гортанного нерва / М. П. Дивак, Н. І. Падлецька. // Індуктивне моделювання складних систем. – 2014. – №6. – С. 69–80.
4. Падлецька Н. І. Інформаційна технологія для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час хірургічної операції на щитовидній залозі / Н. І. Падлецька, М. П. Дивак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2015. - № 1. - С. 151-157.
5. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів: Підручник / За ред. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавничий дім «Ініціатива», 2008. – 240 с.

References

1. Patent Ukrayiny na korysnu model' №51174 . Sposib identyfikatsiyi hortannoho nerva z inshykh tkanyn khirurhichnoyi rany pry provedenni khirurhichnykh operatsiy na shchytovydniy zalozy / Dyvak M.P., Shidlovs'kyu V.O., Kozak O.L. // Byul. «Promyslova vlasnist'» №13. – 2010.
2. M. Dyvak, N. Kasatkina, A. Pukas, N. Padletska, “Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery”, //PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 6/2013 rr.275-277.
3. Dyvak M. P. Metod interval'noho analizu enerhetychnoho spektru informatsiynoho syhnalu dlya zadachi identyfikatsiyi zvorotnoho hortannoho nerva / M. P. Dyvak, N. I. Padlets'ka. // Induktyvne modelyuvannya skladnykh system. – 2014. – №6. – S. 69–80.
4. Padletska N. I. Informatsiyna tekhnolohiya dlya identyfikatsiyi zvorotnoho hortannoho nerva pid chas khirurhichnoyi operatsiyi na shchytovydniy zalozy / N. I. Padletska, M. P. Dyvak // Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. - 2015. - № 1. - S. 151-157.
5. Mandziy B.A., Zhelyak R.I. Osnovy teoriyi syhnaliv: Pidruchnyk / Za red. B.A. Mandziya. – L'viv: Vydavnychy dim «Initsiatyva», 2008. – 240 s.

Рецензія/Peer review : 19.11.2014 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 537.312.52

М.Ф. БОГОМОЛОВ, Г.П. КАНЬШИНА, І.О. КАНЬШИН
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ФОРМЕНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КРОВІ ЛЮДИНИ

В основу роботи покладена побудова теоретичної математичної моделі порівняння взаємодії лазерного випромінювання з ансамблем формених елементів крові (ФЕК) та одним ФЕК людини. Завдяки базовим рівнянням електродинаміки - рівнянням Максвелла - можна дослідити зміну параметрів ФЕК при взаємодії з лазерним променем. Відомі чотири варіанти взаємодії: поглинання, відбиття, розсіяння та проходження [1]. У силу великої різноманітності та структурованої складності біологічних систем, розробка адекватних оптичних моделей розсіяння і поглинання світла є найбільш складною частиною дослідження. Ці моделі охоплюють практично всі основні розділи оптики дисперсних середовищ: просте наближення однократного розсіяння, некогерентного розсіяння багаторазове, що описується рівнянням переносу, і багаторазове розсіяння електромагнітних хвиль в конденсованих системах взаємодіючих розсіювачів або неоднорідностей.

Ключові слова: випромінювання, кров, елементарні частинки, лазер.

N. F. BOHOMOLOV, G.P. KANSHYNA, I.O. KANSHYN
 National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

MATHEMATICAL MODEL OF LASER INTERACTION WITH HUMAN BLOOD CELLS

At the heart of the work is the construction of a theoretical mathematical model comparing the interaction of laser radiation with an ensemble of blood cells (EBC) EBC and one man. Due to the basic equations of Maxwell - you can change the parameters of the EBC to investigate the interaction with the laser beam. There are four options for interaction: absorption, reflection, scattering and transmission of [1]. By virtue of a wide variety of structured and complexity of biological systems, the development of adequate models of optical scattering and absorption of light is the most difficult part of the study. These models cover almost all the main sections of the optics of dispersive media: a simple single-scattering approximation, incoherent scattering multiple that is described by the transfer, and multiple scattering of electromagnetic waves in condensed systems interacting scatterers or discontinuities.

Tags: radiation, blood, elementary particles, laser

1. Актуальность

Глобальною задачею сучасної медичної оптики при дослідженні ФЕК є знаходження таких

параметрів, як розмір, форма, показник заломлення променя та ін.. Це необхідно для досконалого та своєчасного моніторингу ряду захворювань людини. В свою чергу, чисельна різниця між знайденими параметрами та їх еталонними значеннями визначає умовно здорові та патологічні ФЕК. Адже саме при патологічних фізіологічних змінах в організмі виникають суттєві трансформації груп (ансамблів) елементарних кров'яних тілець. З розвитком уявлення про елементарну частку в біології та знань в галузі радіоелектроніки і, як наслідок, оптоелектроніки стає можливим як теоретичний, так і практичний (лабораторний) аналіз ансамблів часток крові [2]. Але, як для більш прецизійного моніторингу захворювань, так і для моніторингу стану крові взагалі, є потребуючим уваги, і, навіть, необхідним розгляд окремої частки, її властивості. Тож, метою роботи є знаходження параметрів цих часток.

2. Результати

Складність знаходження властивостей однієї елементарної частки крові призводить до багатоступеневого аналізу розсіяння лазерного випромінювання. Для знаходження так званих «мікровластивостей» частки, необхідно вести розрахунок можливих похибок при отриманні даних про інтенсивність проходження лазерного променя крізь тіло елемента крові. Але, для базового уявлення про стан досліджуваного об'єкту, необхідно ввести базові рівняння електродинаміки, щоб отримати уявлення про зв'язки елемента з електромагнітним променем, що проходить крізь нього та умовно однорідного середовища (крові) з гетерогенними структурами, аналогічними до досліджуваного об'єкта (ФЕК).

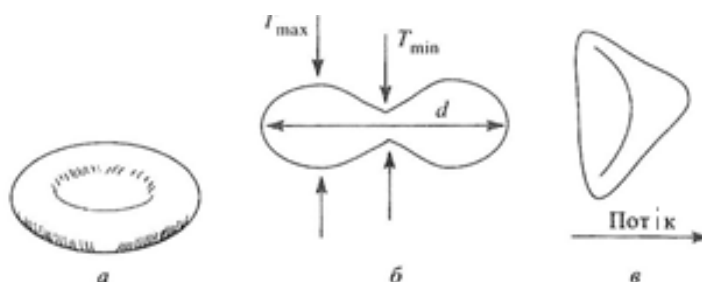


Рис.1. Форма частки (еритроцита) у стані спокою (а), його поперечний переріз (б), форма при переміщенні

Як видно з рис.1, аналіз процесів взаємодії лазерного випромінювання з ФЕК ускладнюється постійною зміною форми ФЕК.

Для того, щоб використовувати отриману модель при описі розсіяння монохроматичних і квазімонохроматичних хвиль, будемо вважати електромагнітне поле стаціонарним.

З цього випливає, що на досліджувану частку розповсюджується єдина мікрофізична теорія електромагнітного розсіяння [1]:

1. У кожен момент часу, весь об'єкт розсіяння може бути представлений конкретний просторової конфігурації числом N дискретних частинок. Кожна частинка досить велика, так що його атомна структура може бути проігноровані.

2. Весь об'єкт розсіювання представлений рівняннями Максвела при проходженні крізь них лазерного променя[2]:

$$E(r, t) = E_0 \cdot \exp(ikr - i\omega t) \quad (1)$$

$$H(r, t) = H_0 \cdot \exp(ikr - i\omega t)$$

з постійною амплітудою E і H , де E - електричного і H - магнітного поля, t - час, r - радіус-вектор, ω - кутова частота, k - хвильовий вектор.

3. Нелінійні ефекти оптики виключені, припустивши, що оптичні постійні та об'єкт розсіювання та навколишнього середовища не залежить від електричних і магнітних полів.

4. Передбачається, що електромагнітне розсіяння є пружним. Це означає, що розсіяне світло має ту ж частоту, що і падаюче світло, що виключає явища непружного розсіяння, такі як комбінаційне розсіювання, а також доплерівській зсув частоти розсіяного світла щодо падаючого світла завдяки руху частинок по відношенню до джерела світла.

$$\begin{cases} E(r, t) = E_0 \cdot \exp(ikr - i\omega t) \\ H(r, t) = H_0 \cdot \exp(ikr - i\omega t) \end{cases} \quad (2)$$

$$r \in R^3 \begin{cases} E(r, t) = E_0(t) \cdot \exp(ikr - i\omega t) \\ H(r, t) = H_0(t) \cdot \exp(ikr - i\omega t) \end{cases} \quad (3)$$

5. Передбачається, що будь-які значні зміни в розсіянні об'єкта (наприклад, зміна положення частинок і/або орієнтації по відношенню до лабораторної системи відліку) відбувається протягом інтервалів часу T набагато довше, ніж період часу гармонійних коливань електромагнітного поля, і набагато повільніше, ніж тимчасові зміни амплітуди E і H .

6. Явище теплового випромінювання виключена. Справедливість цього припущення залежить від поєднання температури об'єкта та довжини хвилі.

$$T \gg 2\pi/\omega$$

$$r \in V \begin{cases} \nabla \cdot E(r) = i\omega\mu_0 H(r) \\ \nabla \cdot H(r) = -i\omega\varepsilon_1 E(r) \end{cases} \quad (4)$$

$$r \in V \begin{cases} \nabla \cdot E(r) = i\omega\mu_0 H(r) \\ \nabla \cdot H(r) = -i\omega\varepsilon_2(r, \omega) E(r) \end{cases} \quad (5)$$

V – об'єм ФЕК.

Загальна постановка задачі розсіювання світла окремою часткою досить проста і може бути описана наступним чином. На розсіюючу частку з об'ємом V падає поле E_0 , яке збуджує всередині V поле E, а поза V створюється додаткове поле дифракції I. Потрібно на основі рівнянь Максвелла розрахувати повне поле E, яке всередині V одно E, поза V одно $E_0 + E$, і задовольняє граничним умовам на поверхні частки, а також умовам зникнення розсіяного нуля на нескінченності. При всій простоті загальної схеми конкретне рішення задачі істотно залежить від розмірів і форми розсіювача, а також від структури та оптичних властивостей його речовини. Наприклад, навіть для сферичного розсіювача з анізотропним тензором показника заломлення загального вигляду рішення задачі розсіювання не може бути отримано в аналітичній формі. Тому в теорії розсіяння малими частками розроблені різні методи, область застосовності і ефективність яких залежать від конкретних умов завдання. З сучасної точки зору ефективний чисельний алгоритм, реалізований, на персональному комп'ютері, еквівалентний аналітичному рішення, яке, як правило, також вимагає нетривіальних обчислень.

Звідси, за допомогою програмного забезпечення, отримуємо наближені дані про розсіювання M_i у одному ФЕК:

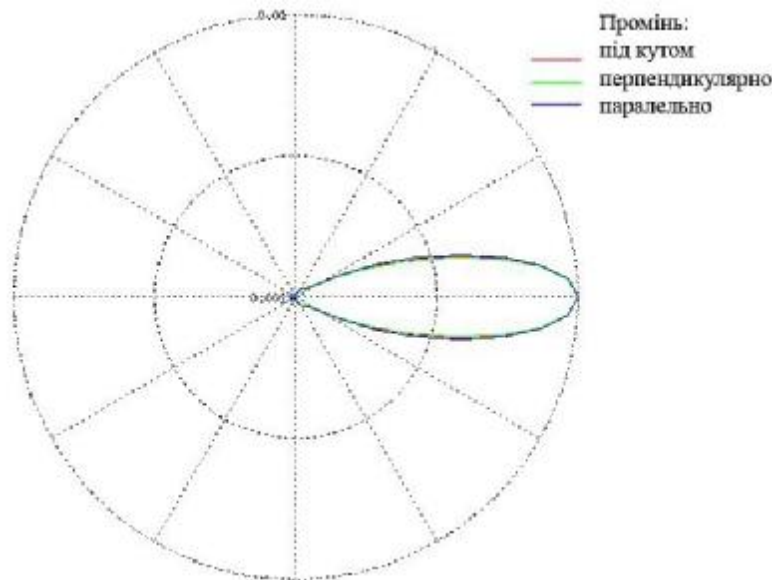


Рис. 2. Діаграма розсіювання лазерного випромінювання на ФЕК у полярній системі координат (на виході з ФЕК)

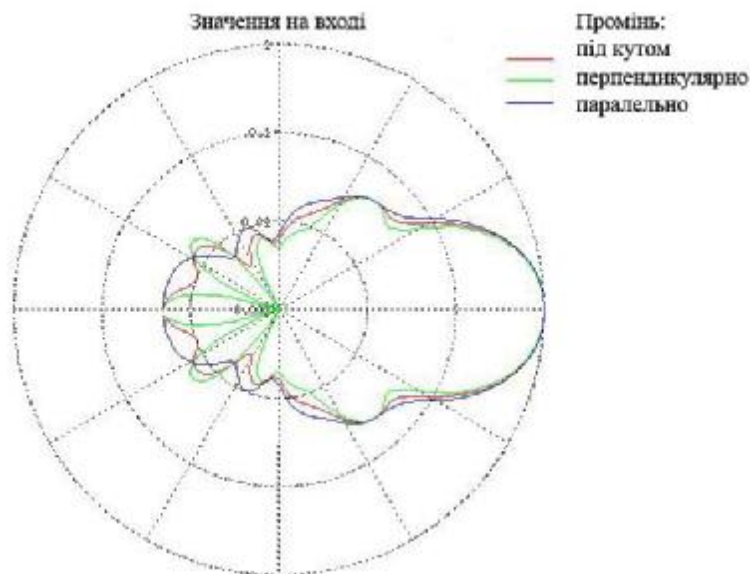


Рис. 3. Діаграма розсіювання лазерного випромінювання на ФЕК у полярній системі координат (на вході у ФЕК)

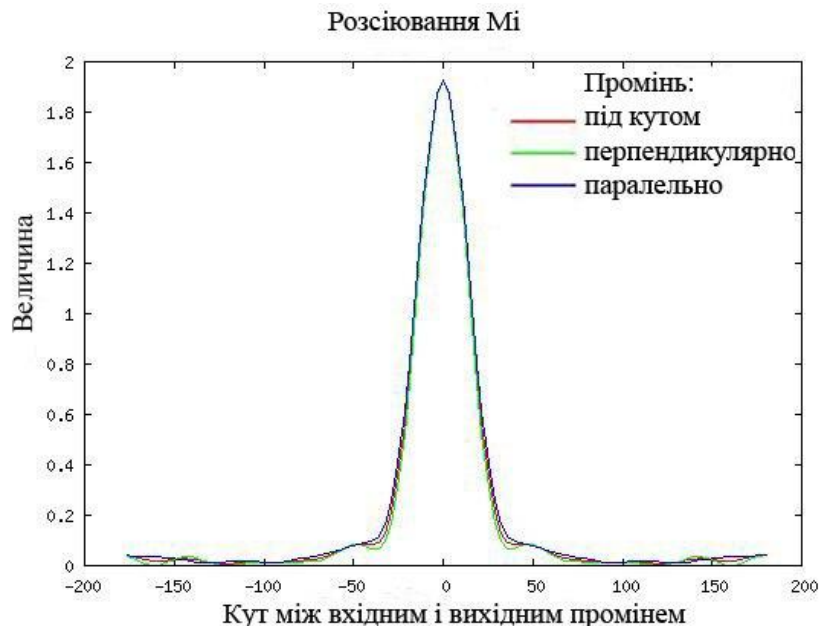


Рис. 4. Графік залежності величини розсіювання від значення кута між вхідним і вихідним променями

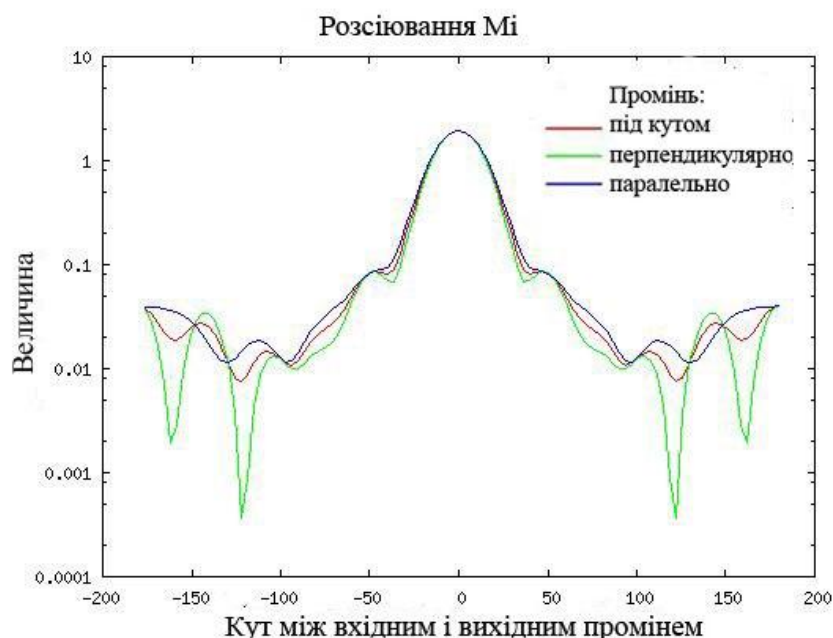


Рис. 5. Графік залежності величини розсіювання від значення кута між вхідним і вихідним променями (у логарифмічному масштабі)

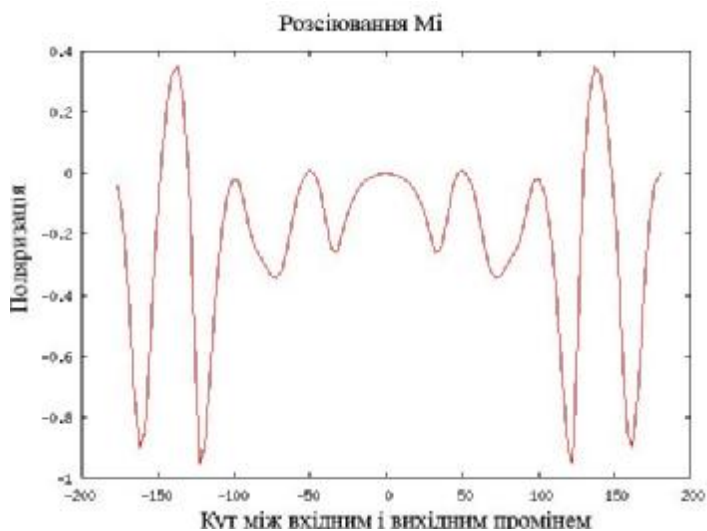


Рис. 6. Графік залежності величини поляризації від значення кута між вхідним і вихідним променями

Людська кров складається з плазми і клітин крові, при цьому обсяг плазми становить приблизно 57%, а обсяг клітин - 43%. Плазма крові містить близько 90% води і 10% білків (гемоглобін, альбумін, глобуліни тощо). Концентрація гемоглобіну в цільній крові становить від 134 до 173 г/л. Об'ємна частка клітин в цільній крові носить назву гематокриту. Клітини крові - це близько 99% еритроцитів і 1% лейкоцитів і тромбоцитів. Оскільки плазма крові містить 10% білків, її показник заломлення трохи вище, ніж показник заломлення, води. З величин об'ємних часток різних клітин крові і поглинаючих властивостей гемоглобіну стає ясно, що оптика цільної, крові при нормальних фізіологічних умовах визначається, головним чином, властивостями еритроцитів.

Існує багато важливих параметрів, які впливають на результати оптичних експериментів з кров'ю в потоці в умовах «*in vivo*» та «*in vitro*». Такими є гематокрит, осмолярність, температура, в'язкість, насичення киснем, деформованість і гемоліз. Для контролю цих параметрів потрібно складне устаткування і ретельно розроблені методики. У тих випадках, коли вивчається вплив одного параметра, наприклад температури, на оптичні властивості крові, може бути використана простіша експериментальна установка. Вибір параметрів, які потрібно контролювати і/або досліджувати визначається цілями конкретного експерименту. Коли досліджується кров у стані спокою (не поточна), то існує принаймні два додаткових важливих явища, які слід враховувати: коагуляція і осідання. Процес коагуляції крові повинен бути пригнічений. Серед доступних антикоагулянтів є два види, що підходять для оптичних експериментів і широко в них використовуються: гепарин та комплексні сполуки калію, наприклад двукалієвая сіль етілендіамітетрауксусної кислоти. Гепарин запобігає згортання крові і не призводить кдскаженію, форми еритроцитів. Цей антикоагулянт переважно в тих випадках, коли вивчаються суспензії еритроцитів. З іншого боку, він змінює розмір і форму тромбоцитів і лейкоцитів і не рекомендується у разі їх дослідження. Оптимальна концентрація гепарину становить 15-20 од. на 1 мл крові. Осідання відбувається через те, що щільність клітин вище, ніж щільність плазми і фізіологічного розчину. Швидкість осідання еритроцитів визначається дією двох сил. Сила, спрямована вниз, є функцією ваги клітини, а сила опору є функцією площі поверхні клітини, зверненої до середовища. Чим менше площа поверхні клітини, тим вище швидкість осідання. Швидкість також зростає, якщо судина з кров'ю трохи відхилена від вертикального положення. Проте швидкість осідання в нормальній крові досить низька (від 0 до 30 мм на годину в залежності від статі і віку), і звичайно протягом перших 20-30 хвилин осідання неістотно. Безсумнівно бажано, щоб оптичне дослідження зразка крові було проведено до того, як відбудеться помітне осідання.

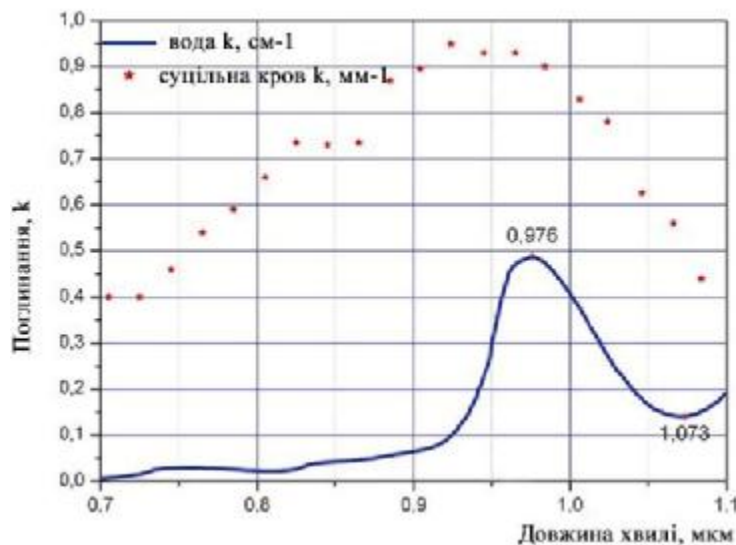


Рис. 7- Залежність коефіцієнта поглинання лазерного випромінювання у воді та суцільній крові в залежності від довжини хвилі

Фазова функція розсіювання і коефіцієнт екстинкції можуть бути безпосередньо виміряні з використанням оптичних методик і одноразово розсіюючих зразків крові. Методики, які дозволяють вимірювати оптичні властивості тканини без залучення будь-яких теоретичних моделей поширення світла, називаються прямими методами. Експериментальне виділення коефіцієнтів екстинкції і фазових функцій розсіювання для ряду довжин хвиль у видимому спектральному діапазоні було проведено кількома авторами [3].

Прямі вимірювання фазової функції розсіювання і повного коефіцієнта ослаблення вимагають використання оптично тонких зразків, оскільки необхідно виключити багатократне розсіювання і інтерференцію хвиль, розсіяних сусідніми еритроцитами. Щоб забезпечити режим одноразового незалежного розсіювання, зразки цільної крові звичайно розлучаються ізотонічним розчином фосфатного буфера (рН = 7,4, μ = 1,33) до найнижчого значення гематокриту, приблизно 0,01. Для досягнення, в разі необхідності, повноїоксигенації крові зразок звичайно приводять у контакт з повітрям (або повітря барботують через зразок). Для оптичних вимірювань використовують тонкі кювети з товщиною 10-30 мкм.

Експеримент по однократному розсіюванні зазвичай проводять з нерухомою кров'ю, бо гематокрит сильно розведеного зразка крові в умовах потоку недостатньо стабільний у межах світлової плями.

У якості монохроматичних джерел світла використовують лазер, ксенонової лампи і /або ртутну лампу в поєднанні з монохроматором, а в якості детектора - фотопомножувач або фотодіод. Для вимірювання коефіцієнта екстинкції застосовуються додаткові діафрагми з метою зменшення впливу розсіяного світла на реєстрований сигнал. Для вимірювання фазової функції розсіяння кювета з кров'ю зазвичай поринає в ємність, наповнену водою або фізіологічним розчином з метою зменшення стрибка показника заломлення на кордонах кювети з навколишнім середовищем. Для правильної інтерпретації результатів вимірювань робляться додаткові поправки на стрибок показника заломлення на кордонах навколишнє середу/скло і скло/зразок крові з використанням формул Френеля[3].

$$n_i \sin \alpha_i = n_t \sin \alpha_t \quad (6)$$

$$R_i = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\alpha_i - \alpha_t)}{\sin^2(\alpha_i + \alpha_t)} + \frac{\tan^2(\alpha_i - \alpha_t)}{\tan^2(\alpha_i + \alpha_t)} \right]$$

n_i, n_t - показники заломлення середовища, з якого надходить випромінювання, і середовища в яку проникає випромінювання, відповідно, α_i, α_t - кути падіння і заломлення, R - коефіцієнт внутрішнього відбиття.

Крім простих установок для вимірювання фазової функції розсіяння окремих еритроцитів в русі може бути використано більше складне устаткування. Наприклад, використовували скануючий проточний цитометр для вимірювання індикатрис розсіювання індивідуальних еритроцитів в діапазоні 10-60°. В цьому випадку інтерпретація індикатрис розсіювання ускладнена тим фактом, що окрім стаціонарного руху еритроцитів, на перебіг впливає їх обертальний рух. Для витягання фазової функції розсіяння з вимірних індикатрис необхідно застосовувати додаткові методики обробки даних, які залежать від конкретної конфігурації і роботи експериментального обладнання. Працювати необхідно з підготовленими зразками крові, бо отримати прецизійні дані про тільця *in vivo* складно через втрати (розсіювання, поглинання) в епідермісі та інших структурах на шляху променя складно.

Кров є каламутним середовищем з сильно анізотропною фазовою функцією розсіяння ($\mu \sim 0,970-0,999$). Як було показано Ван де Холстом, точний опис фазової функції розсіяння дуже важливо в разі середовища з великим фактором анізотропії. Підтверджено, що вибір апроксимації фазової функції розсіяння крові є критичним для правильного знаходження її оптичних параметрів. Однак для середовищ з високими значеннями фактора анізотропії точне вимірювання фазової функції розсіяння у повному діапазоні кутів від 0 до 180 ° є важким технічним завданням, що вимагає вимірювальної апаратури з надзвичайно великим динамічним діапазоном.

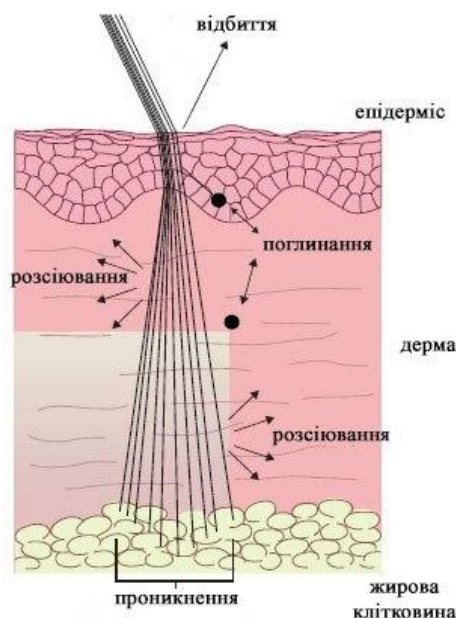


Рис. 8. Графічна модель проходження лазерного променя крізь шкіру та епідерміс людини

При таких вимірах велика частина розсіяного випромінювання потрапляє в інтервал від 0 до 30 °, вважаючи від напрямку падаючого променя. Крім того, вимірювання при кутах близьких до 90 ° піддаються сильному впливу розсіяння вищих порядків, навіть для зразків з помірною оптичною товщиною.

Отже, надзвичайно бажано мати відповідне аналітичне наближення, яке добре відповідало б експериментально вимірної фазової функції розсіювання вперед для однократно розсіюючого шару крові.

Це наближення може бути потім використано в повному діапазоні кутів для інтерпретації

результатів оптичних експериментів з цільної кров'ю. Більш того, фазова функція розсіювання для одиночного еритроцита не може бути перенесена на випадок крові. Отже, навіть якщо фазова функція розсіювання одиночного еритроцита відома з вимірів, все ж потрібно обґрунтоване наближення для ефективної фазової функції розсіювання, адекватно описує одиничний акт розсіювання в цільній крові.

В силу великої різноманітності та структурної складності біологічних систем, розробка адекватних оптичних моделей розсіювання і поглинання світла є найчастіше найбільш складною частиною дослідження. Ці моделі охоплюють практично всі основні розділи оптики дисперсних середовищ: просте наближення однократного розсіювання, некогерентного розсіювання багаторазове, що описується рівнянням переносу, і багаторазове розсіювання електромагнітних хвиль в конденсованих системах взаємодіючих розсіювачів або неоднорідностей.

У розділі з оптики агрегатів, в тому числі фрактальних кластерів і композитних структур, обговорюються тільки лінійні характеристики. Однак використовуючи теоретичний апарат методу дискретних диполів і метод суперпозиції дозволяє аналізувати і нелінійні оптичні властивості. Відзначимо, що навіть в лінійній оптиці металевих агрегатів є серйозні проблеми, не подолані до теперішнього часу. Металеві наночастинки і наноструктури знаходять в останні роки дуже перспективні біохімічні, біофізичні і біомедичні застосування. У разі дисперсних систем з упорядкованою орієнтацією частинок виникає цілий ряд оптичних ефектів (подвійне променезаломлення, дихроїзм, індукований зовнішнім полем зміна світлорозсіювання та прозорості і т.д.), які відсутні в звичайних неупорядкованих суспензіях. Оскільки цей розділ оптики дисперсних середовищ порівняно мало представлений в літературі, ми розглядали його більш детально, ніж інші питання. Оригінальні теоретичні схеми рішення обернених задач оптики впорядкованих суспензій ілюструються експериментом з бактеріальними суспензіями і досить детальними числовими розрахунками і оцінками.

3. Висновки

Отримано практичні дані про властивості крові, що стане потрібним при експериментальному підтвердженні математичних моделей взаємодії лазерного випромінювання з форменими елементами крові. Отримано перші результати, щодо побудови математичної моделі на основі рівнянь Максвелла. Дані дозволяють провести експериментальну перевірку теорії на макеті.

Література

1. M. I. Mishchenko, V. K. Rosenbush, N. N. Kiselev, D. F. Polarimetric remote sensing of solar system objects. Київ-Академперіодика, 2010.- 292с.
2. Тучин В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике. - 2013. -812 с.
3. Приезжев А.В. Лазерная диагностика в биологии и медицине.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.-240 с.

References

1. M. I. Mishchenko, V. K. Rosenbush, N. N. Kiselev, D. F. Polarimetric remote sensing of solar system objects. Kyiv-Akademperiodika, 2010. - 292s.
2. Tuchin V.V. Optics of biological tissues. Methods of light scattering in medical diagnostics. -2013. -812 P.
3. Pryezhev A.V. Laser diagnosis in biology and medicine. - Moscow: Nauka. Section. yet. fiz.-mate. lit., 1989.-240 p.

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОГО ПНЕВМОПРЕССИНГА

Объемный пневмопрессинг – одно из наиболее актуальных и перспективных направлений доказательной физиотерапии. Его аппаратное обеспечение и технологии проведения процедур существенно различаются в медицинской реабилитации, сосудистой хирургии и косметологии. Клинические возможности пневмокомпрессионной терапии во многом зависят от технических характеристик аппаратуры. Различают аппараты прессотерапии для улучшения состояния кожи и подкожной клетчатки; аппараты перемежающейся пневмокомпрессии для профилактики или реабилитации заболеваний периферических сосудов; аппараты объемного пневмопрессинга для комплексной терапии различных по локализации и патогенезу заболеваний. Объемный пневмопрессинг методически оптимален для оказания помощи лицам с травмами и частичной ампутацией конечностей, в частности, участникам АТО, поскольку может применяться на ранних этапах реабилитации. На практике показано, что наиболее функциональной является комплектация, позволяющая проводить процедуры пневмопрессинга на всем теле пациента. При этом наиболее эффективной и безопасной можно считать пневмоманжету, состоящую из 8-12 камер, общая длина которой обеспечивает проведение процедуры в пределах одной части тела (например, конечности) пациента. Среди перспективных направлений можно назвать введение элементов обратной биологической связи и разработку экспертной системы для формирования плана лечения и прогноза.

Ключевые слова: аппарат, объемный пневмопрессинг, перемежающаяся пневматическая компрессия.

D. V. ZAITSEV, S. V. KLIMOV
 Institute for Healthcare Technologies "New in medicine"
 N.F. BOHOMOLOV

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

PRESENT STATE AND PERSPECTIVE VIEW OF HARDWARE OF THE TECHNOLOGY OF VOLUMETRIC PNEUMOPRESSING

IPC is one of the most advanced areas of evidence-based physical rehabilitation. It significantly differ in hardware and procedure when applying in medical rehabilitation, vascular surgery and cosmetology. The clinical capabilities of pneumatic compression therapy depend on the distinctive features of the device. Devices for pressotherapy allow to improve skin and subcutaneous tissue. Intermittent pneumatic compression devices prevent or treat some peripheral vascular disease. Volumetric pneumopressing devices allow to treat diseases of various localization and pathogenesis. Volumetric pneumopressing has benefits for medical care to persons with traumas and partial amputated limbs, particularly combatants of the ATO, because it can be used in early stages of rehabilitation. The most functional equipment is that allows to carry out the procedure throughout the patient's body. The most effective and safe pneumatic cuff consists of 8-12 chambers and its total length covers one part of the patients body (e.g., leg). Among the promising areas of future elaborations may be noted the introduction of elements of biological feedback and the development of an expert system for the formation of the plan of treatment and prognosis.

Key words: intermittent pneumatic compression device.

1. Актуальность

С середины XX века в медицине растет интерес к пневмокомпрессионной терапии. Работы 2000-2015 годов показали, что перемежающаяся пневматическая компрессия высокоэффективна в лечении большинства сосудистых заболеваний конечностей [1]. В Украине с 1992 года применяется предложенная д. техн. н., проф. И.В. Таршиновым оригинальная модификация этого метода – объемный пневмопрессинг [2]. Непрерывно растущее количество публикаций и расширение их тематики показывает, что пневмокомпрессионная терапия является актуальным и перспективным направлением современной физиотерапии [3].

2. Результаты

Сегодня местное применение механического давления в медицинской реабилитации, сосудистой хирургии и косметологии существенно отличается по используемым аппаратам, их программному обеспечению и методикам применения, условиям проведения процедур, контингенту пациентов (клиентов), принятым показаниям и противопоказаниям. Единым остается лечебный физический фактор – давление; общим, не смотря на разногласия в деталях, остается понимание механизма его действия. Однако существенные практические различия в настоящее время оправдывают и делают целесообразным сохранение для одного и того же по сути метода разных названий в зависимости от сфер его применения: «объемный пневмопрессинг» в физиотерапии и реабилитологии, «перемежающаяся пневматическая компрессия» в ангиохирургии, «прессотерапия» в косметологии.

Клинические возможности пневмокомпрессионной терапии зависят от технических характеристик аппаратуры, посредством которой она проводится. Ввиду разнообразия пневмокомпрессионных аппаратов в

2015 г. была предложена их классификация, основанная на функциональности и клинических возможностях [4]. Медицинская техника группировалась на основе таких признаков, как цели эксплуатации, функциональность и уровень необходимой медицинской компетентности оператора. Соответственно, известные устройства были разделены на четыре класса:

I класс – аппараты с пневматическими элементами, имеющие отличные от рассматриваемого принципы действия;

II класс – аппараты для «прессотерапии», применение которых возможно без врачебного контроля для улучшения общего самочувствия или уменьшения отечности конечностей;

III класс – аппараты для «перемежающейся пневматической компрессии», применяемые под контролем врача для профилактики, лечения и (или) реабилитации одного или нескольких близких по патогенезу заболеваний периферических сосудов;

IV класс – аппараты для «объемного пневмопрессинга», применяемые под контролем врача с целью профилактики, лечения и реабилитации различных по локализации и патогенезу заболеваний.

Современные аппараты II-IV классов обычно малогабаритны, для их размещения на рабочем месте достаточно прикроватной тумбы. В последнее десятилетие появились портативные устройства профилактического действия, закрепляемые на голени и не стесняющие бытовую активность человека. Управление аппаратом обычно простое, доступное среднему и младшему медицинскому персоналу, а в ряде случаев – лицам без медицинского образования.

Анализ мирового рынка показал, что в странах Западной Европы, США и Израиле производятся аппараты II и III классов, в Китае, Японии и Южной Корее – преимущественно аппараты II класса. IV класс в настоящее время образован исключительно аппаратами украинского производства. Последнее обстоятельство объясняется тем, что в Украине сложились благоприятные условия для внедрения инноваций в практику пневмокомпрессионной терапии, в частности, достаточный уровень теоретической и практической изученности метода, материально-технического обеспечения производства, относительная умеренность правовых и административных препятствий инновационной деятельности, принцип целостного подхода к лечению больного, интеллектуальный капитал разработчиков аппаратуры и исследователей метода, социальный запрос на внедрение безмедикаментозных методов лечения.

В 1989-1992 гг. в Институте технологий оздоровления «Новое в медицине» (г. Киев) на основе прототипов «АПКУ-5» (СССР) и «Lympha-mat» (ФРГ) был разработан аппаратный комплекс «Биорегулятор-004М» [5]. Аппарат внесен в Государственный реестр медицинской техники и изделий медицинского назначения (№213/95), предназначен для проведения процедур объемного пневмопрессинга в условиях медицинских учреждений различного уровня. В 2003-2009 гг. на его основе была разработана портативная модификация «Био-1» (внесена в Государственный реестр медицинской техники и изделий медицинского назначения под №14339/2014), предназначенная для проведения пневмопрессинга на дому и в медицинских учреждениях с небольшим количеством пациентов (до 18-26 часов процедур в неделю, в зависимости от комплектации).

В общем виде устройства для проведения пневмокомпрессионной терапии состоят из следующих компонентов, соединенных между собой электрически и пневматически:

1. Управляемый источник повышенного и пониженного воздушного давления (компрессор);
2. Блок управления (программатор);
3. Управляемый распределитель воздуха по секциям манжеты (пневматический блок);
4. Рабочие органы или исполнительные устройства (манжеты).

Задача компрессора – обеспечить требуемые значения повышенного и пониженного давления при работе изделия при заданной производительности.

Задача блока управления – обеспечить требуемые электрические режимы работы для управляемого пневматического блока, для чего в нем реализуется программатор режимов.

Задача пневмораспределителя – обеспечить требуемые пневматические режимы при подключении, отключении, переключении отдельных пневматических каналов к общей пневматической магистрали.

Задача рабочего органа – максимально точно воспроизвести манипуляции на определенных участках тела пациента.

Непременным условием является цикличность и ритмичность выполнения манипуляций, их точность, выдержка заданных режимов во времени.

Лечебное воздействие проводится с помощью специальной пневматической манжеты, состоящей из герметичных камер. Для проведения процедуры манжета накладывается на определенный участок тела таким образом, чтобы охватить всю или большую часть его поверхности. После закрепления манжеты на теле пациента в ее камеры в соответствии с назначенным врачом алгоритмом нагнетается воздух. Синхронизированное наполнение камер формирует цикличную «бегущую волну» с определенными характеристиками – силой давления, скоростью и направлением распространения, частотой повтора циклов. При этом механическое давление от манжеты передается в мягкие ткани тела пациента, инициируя каскад терапевтических реакций.

Аппаратный комплекс «Биорегулятор-004М» имеет ряд отличий от пневмокомпрессионных устройств зарубежного производства. В нем впервые были применены электронное программирование, автономность камер, переменная двунаправленная пневматическая волна и возможность модификации

режимов со стороны медицинского персонала. По комплектации, количеству доступных обработке зон тела и системе регуляции давления «Биорегулятор-004М» и сейчас остается передовым пневмокомпрессионным устройством [6].

В настоящее время клинически обосновано назначение объемного пневмопрессинга при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, центральной и периферической нервной системы, глаз, поражениях опорно-двигательного аппарата, психических расстройствах, функциональных расстройствах желудочно-кишечного тракта, хронических заболеваниях дыхательной системы и мочеполовой сферы, нарушении обмена веществ [4]. Пневмопрессинг может также использоваться в программах реабилитации лиц, пострадавших в ходе АТО, в частности, перенесших травмы или частичные ампутации конечностей.

На практике сформировано представление о наиболее оптимальных характеристиках, которые позволяют максимально эффективно и широко применять пневмокомпрессионную аппаратуру.

Ведущим критерием является перечень зон тела, на которых возможно проводить процедуры с использованием того или иного аппаратного устройства. В настоящее время пневмокомпрессионное воздействие не выполняется на горле, гениталиях у мужчин и груди у женщин.

Для воздействия на кожные покровы, глубжележащие ткани, структуры и органы необходимо, с учетом физиологических особенностей, приложить к ним определенное давление, причем важны как минимальные и максимальные значения такого давления, скорости их создания и устранения, направление и ритм воздействия, общее время воздействия, так и степень соответствия рабочего органа анатомическим особенностям определенного участка (зоны) тела. Большинство производителей аппаратуры II-III классов выпускают отдельные манжеты в виде полусапожка, ботфорта, брюк, комбинезона или рукава.

В ИТО «Новое в медицине» предложена уникальная по своей эргономичности универсальная манжета-трансформер [2]. Основными требованиями к пневмоманжете являются: нетоксичность, стойкость к средствам дезинфекции, герметичность, прочность, способность после деформации быстро восстанавливать исходные параметры, возможность обработки, стойкость параметров во времени, доступность, высокая практичность при использовании, невысокая стоимость, малые массогабаритные характеристики. Чтобы удовлетворить большинству противоречивых требований, манжета была выполнена в виде чехла с несколькими отдельными рабочими секциями, соединенными друг с другом. В рабочие секции были помещены резиновые надувные герметичные камеры с возможностью их быстрой замены при необходимости. Чехол снабдили устройствами для застегивания (металлическими кольцами и крючками) для надежности и возможности подгонки под возможные размеры тела большинства пациентов. Это позволило применить объемный пневмопрессинг на зонах головы, поясницы, промежности, шейно-плечевого пояса, спины и живота, что в свою очередь привело к увеличению количества показаний и развитию теории метода. Несмотря на кажущуюся громоздкость, на практике такая конструкция показала хорошую эффективность и универсальность применения и стала де-факто стандартом в объемном пневмопрессинге.

Общее количество выпускаемых производителем манжет обычно соответствует количеству зон тела, с которыми работает аппарат. Если их меньше, как в аппаратах украинского производства, это влечет за собой необходимость перестежек, но удешевляет аппаратуру. Если их больше, это резко ограничивает возможность применения аппарата в клинике, так как требуются средства для их приобретения, место для хранения (транспортировки) и время для перестежки. Следовательно, количество пневмоманжет, входящих в комплект поставки, должно стремиться к общему количеству манжет, выпускаемых производителем. Несовпадение этих показателей указывает на необходимость приобретения отдельной манжеты в дополнение к купленному ранее аппарату, если понадобится провести процедуру на другой части тела.

Иногда для подгонки размера манжеты используются серии манжет разных размеров. Наиболее функционально использование безразмерных текстильных и крючковых застежек, позволяющих автономно регулировать плотность застежки каждой камеры. В аппаратах серии «Биорегулятор» крючковые застежки обеспечивают трансформацию манжеты, облегчают ее наложение при нестандартном телосложении или объемах тела, позволяют корректировать застежку для любой терапевтической задачи. Крючковые застежки наиболее долговечны.

Размер манжеты должен обеспечивать проведение процедуры как на небольшом участке, так и на целой части тела. В последнем случае небольшие манжеты необходимо, насколько позволяет конструкция, последовательно перемещать, что усложняет и задерживает проведение сеанса. Большая манжета более функциональна: местное воздействие проводится путем отключения лишних камер. Манжеты, охватывающие несколько частей тела, особенно при проведении лимфодренажных процедур, могут усугублять сердечную недостаточность, поэтому применяются преимущественно в аппаратах II класса (т.е. в работе с условно здоровыми людьми).

При разработке «Биорегулятора-004М» ширина камер рассчитывалась таким образом, чтобы эффективно влиять на местный кровоток, не вызывая боли и декомпенсации системного кровообращения. Узкие камеры могут травмировать ткани и способствовать отрыву тромба; в то же время широкие – малоэффективны при лимфостазе и атеросклерозе. В украинских аппаратах размер манжеты и количество камер соответствуют принятым в классических западноевропейских моделях (8-12 камер на длину нижней конечности). Более чем тридцатилетний опыт применения этих параметров позволяет считать их наиболее рациональными. «Био-1» и «Био-2» могут также работать с короткой многокамерной манжетой,

соответствующей современным образцам производства США.

Один из основных факторов сравнения – регуляция давления в манжете. В «Биорегуляторе-004М» применяется четырехступенчатая электронно-механическая регуляция, обеспечивающая требуемый уровень давления как во всей манжете, так и в отдельных камерах. Базовое давление в манжете задается программой и механическим общим сбросом, что практически удобно при одновременной работе с несколькими пациентами. В камере давление регулируется плотностью застежки (за счет автономных креплений) и клапаном пассивного сдува. В «Био-1», «Био-2» и «Био-5» базовую регуляцию давления может выполнять сам пациент непосредственно во время процедуры. Плавная регуляция давления позволяет легко подобрать индивидуальную дозу. Возможно создание как равномерного, так и градиентного давления в манжете, предусмотрена возможность экстренного одномоментного сброса давления в камерах.

В аппаратах «Биорегулятор-004М» и «Био-2» использование специальных манжет – детской универсальной манжеты и пневмошлема для головы – не требует перестройки компрессора.

Для проведения процедур в области головы предложена уникальная пневмоманжета в виде шапочки, не имеющая аналогов за рубежом [7].

Основными требованиями к блоку управления являются: нетоксичность используемых материалов и деталей, электрическая безопасность и устойчивость к сетевым помехам и перепадам, пневматическая безопасность, низкий уровень электромагнитных излучений, высокая точность и стабильность обеспечения требуемых электрических и пневматических режимов, хорошая расширяемость при модернизациях, хорошее сопряжение с периферией на уровне интерфейсов (разъемов), высокая надежность, хорошая эргономичность и простота настройки (выбора) режима работы, высокая ремонтопригодность, высокая устойчивость на поверхностях, малые массогабаритные характеристики.

Основными требованиями к источнику повышенного и пониженного давления являются: безопасность применения, обеспечение достаточного минимального и максимального давления, обеспечение требуемой производительности и стабильности характеристик во времени, низкий уровень шума и вибраций, высокая надежность, высокая устойчивость на поверхностях, хорошая сопрягаемость по интерфейсам, наличие запасных частей для ремонтов, эргономичность, малые массогабаритные характеристики, доступность и невысокая стоимость.

Программой определяются направление и скорость (ритм, частота) движения пневмомассажной волны, сила давления манжеты. Память «Биорегулятора-004М» содержит около 130 программ, что в 3-4 раза больше, чем в наиболее функциональных иностранных аналогах. «Био-1» и «Био-2» могут иметь до 24 программ. Увеличение количества лечебных режимов в украинских аппаратах возможно прежде всего за счет произвольной регуляции давления (вплоть до отключения) в отдельных камерах. Некоторые производители позволяют оператору заносить в память аппарата комбинацию программ, что существенно облегчает работу. «Биорегулятор-004М» и его модификации – единственные известные аппараты, позволяющие вручную формировать требуемый порядок работы отсеков путем изменения очередности подключения пневмопроводов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика аппаратов для объемного пневмопрессинга

Параметры	«Био-1»	«Био-2»	«Биорегулятор-004М»
Потребляемая мощность аппарата, Вт	50	100	350
Масса аппарата в комплекте, кг	12	15	20
Электропитание	бытовая сеть 220 В, 50 Гц	бытовая сеть 220 В, 50 Гц	бытовая сеть 110 В, 60 Гц; 220 В, 50 Гц
Пределы регулирования давления, МПа	0-0,02	0-0,04	0-0,3
Время сеанса, мин	3-24	3-24	3-24
Время надува отсека, сек	1-6	1-6	1-9
Время сдува пневмоманжеты, сек	3-12	3-12	1-9
Количество отсеков, шт	6	8	10

3. Выводы

Таким образом, результаты проведенных научных исследований и практический опыт свидетельствует о том, что «Биорегулятор-004М» и его модификации позволяют реализовать большинство известных сегодня возможностей пневмокомпрессионной терапии. Перспективными направлениями, на наш взгляд, в частности, являются: дальнейшее усовершенствование применяемой аппаратуры с целью повышения эффективности профилактики, лечения и реабилитации пациентов с различными видами патологии в усовершенствованных и новых режимах работы; введение элементов обратной биологической связи в виде простых и надежных датчиков, узлов, алгоритмов обработки информации и ее представления для задач автоматизации коррекции режимов и диагностики состояния пациента; разработка экспертной

системы, позволяющей в обстановке исходных данных по назначению режимов и последовательности процедур, с учетом методических рекомендаций, опыта применения и многих других факторов, выработать наилучшую стратегию (план) лечения, оценить степень досягаемости будущего состояния пациента с дальнейшим прогнозом развития ситуации.

Литература

1. Зайцев Д.В., Пишнов Г.Ю. Об'ємний пневмопресинг: теорія і практика (огляд літератури). / Український медичний часопис. – 2014. – №4. – С. 127-132.
2. Таршинов И.В., Таршинова Л.А. «Биорегулятор-004». Метод лечения – пневмопресинг. – К. : Столица, 1998. – 72 с.
3. Бабова І.К., Єльчиць Т.В., Зайцев Д.В. Метод об'ємного пневмопресингу: від витоків до сьогодення. / Медична реабілітація, курортологія, фізіотерапія. – 2013. – №4. - С. 34-37.
4. Таршинова Л. Теория и практика объемного пневмопресинга / Таршинова Л., Ельчиц Т., Зайцев Д. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 250 с.
5. Патент Российской Федерации на изобретение № 2061456. Устройство для пневмомассажа. – Качанова Л.В., Таршинов И.В., Мельниченко Н.Н., Лукашенко А.Н., Седов И.В. – От 22.06.1993.
6. Таршинов И.В. Биорегулятор-004М и его теоретическое обоснование / И.В. Таршинов, Д.В. Зайцев. – 2 изд. – К., 2012. – 83 с.
7. Деклараційний патент України на винахід № 52009. Пристрій для краніопресури. – Таршинов І.В., Зайцев Д.В. – Від 16.12.2002.

References

1. Zaitsev, D.V. and Pyshnov, G.Yu. (2014) Volumetric pneumopressing: theory and practice (review). / Ukrainian Medical Journal, no. 4, pp. 127-132.
2. Tarshinov, I.V. and Tarshinova, L.A. (1998) "Bioregulator-004". Metod lechenia – pnevmopressing ["Bioregulator-004". Treatment method is pneumopressing]. Stolitsa, Kyiv. 72 p.
3. Babova, I.K., Yelchyts, T.V. and Zaitsev, D.V. (2013). Method of volumetric pneumopressing: from the sources to the present day. / Medical Rehabilitation, Balneology, Physiotherapy, no. 4, pp. 34-37.
4. Tarshinova, L.A., Yelchyts, T.V. and Zaitsev, D.V. (2015). Teoriia i praktika obiomnogo pnevmopressinga [Theory and practice of volumetric pneumopressing]. ISBN: 978-3-659-68833-1, LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken. 250 p.
5. Kachanova, L.V., Tarshinov, I.V., Melnichenko, N.N., Lukashenko, A.N. and Sedov, I.S. (1993). Patent of the Russian Federation № 2061456. Ustroistvo dlia pnevmomassazha [Device for pneumatic massage], dated June 22, 1993.
6. Tarshinov, I.V. and Zaitsev, D.V. (2012). "Bioregulator-004M" i ego teoreticheskoe obosnovanie ["Bioregulator-004M" and its theoretical basement]. 2 ed. Kyiv. 83 p.
7. Tarshinov, I.V. and Zaitsev, D.V. (2002). Patent of Ukraine № 52009. Prystriy dlya kranioressyry [Device for cranial pressure], dated December 16, 2002.

Рецензія/Peer review : 27.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЪЕМНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены основные методы оптимизации визуализации объемных данных для медицинских приложений

Ключевые слова: рендеринг, трехмерная визуализация, воксель

S.I. VYATKIN

Institute of Automation and Electrometry SB RAS

S.V. PAVLOV, S.A. ROMANUYK

Vinnitsa national technical university

OPTIMIZATION OF VOLUMETRIC DATA VISUALIZATION TECHNIQUES FOR MEDICAL APPLICATIONS

Principles of construction of the direct digital frequency synthesizer with phase core-based adder in the Galois basis was discussed. The mathematical model and the structure of specialized structural units of direct digital frequency synthesizers based on modular arithmetic was discussed.

Keywords: Galois field, modular arithmetic, direct frequency synthesizer (DDS).

Постановка задачи

С появлением систем виртуальной реальности, в которых наблюдатель погружается в мир модели, возникает потребность визуализации виртуальной среды, максимально приближенной к тому, что человек наблюдает в естественных условиях. Для этого требуются мощные системы. Все более широкое распространение получают сегодня методы визуализации внутренних структур объектов на основе данных томографических исследований. Эти методы компьютерной графики называются визуализацией объема. Высокая трудоемкость методов ограничивает их применение в системах реального времени, что предполагает разработку новых решений.

Анализ исследований и публикаций

Одной из наиболее сложных компьютерных задач является отображение объемных (трехмерных) расчётных данных, или экспериментальных данных, полученных трехмерными методами сканирования. Методы сканирования, результатом которых являются объемные данные, включают магнитный резонанс (MRI), компьютерную томографию (СТ), ультразвук и т.д.

Объемные данные - это трехмерный массив кубических элементов (вокселей), представляющих единицы 3D пространства. При этом типичные наборы данных, описывающие физические объекты или явления, как правило, представлены файлами объёмом до нескольких гигабайт, т.к. эти файлы содержат данные о каждой точке сканируемого трехмерного пространства.

Объемная визуализация (рендеринг) – процесс преобразования объемных данных, после предварительной обработки, в двухмерное изображение, которое может быть показано на компьютерном экране, представляя объект или явление реалистичным образом, наглядно передавая их внутреннюю структуру.

Вычислительная мощность, требуемая для визуализации объемных данных, очень большая, но настолько, же значимы и выгоды от некоторых потенциальных приложений, базирующихся на этом подходе. Например, моделирование хирургических операций на виртуальном пациенте. Вначале пациент "оцифровывается" с помощью перечисленных выше методов. Затем можно спланировать, отрепетировать и построить альтернативный план хирургической операции на цифровой модели в безопасной виртуальной среде. При этом взаимодействие в реальном времени является наиболее существенным требованием - врач предпочтет оперировать в интерактивной среде, даже если она изображается не слишком реалистично [1, 2].

Основные задачи создания полноценных инструментов объемной визуализации данных – рациональное использование доступных вычислительных мощностей для обработки данных в трех и более измерениях, а также разработка эффективных алгоритмов визуализации.

На сегодня реализация алгоритмов генерации изображений, использующих полигональное представление [3] объектов сцены, происходит с помощью аппаратной поддержки, ставшей в последнее время доступной практически любому пользователю, что повышает быстродействие "графической" части программ в сотни раз. Разработка приложений с использованием стандартных библиотек OpenGL и DirectX позволяет применять широкие возможности акселераторов в самых различных областях компьютерной графики.

В то же время полигональный подход [3] оказывается неэффективным для ряда специфических задач, а именно предоставления внутренней структуры объемных данных. В простейшем случае при объёмной визуализации необходимо обойти весь объем, рассматривая каждый воксель как 3D точку,

которая преобразуется в зависимости от положения наблюдателя, затем проецируется в Z-буфер и оторазается на экране. Такой способ визуализации называют рендерингом в объектном пространстве (object-space rendering) или рендерингом прямого хода (forward rendering). Необходимо отметить, что, в чистом виде, этот метод не обеспечивает визуализацию полупрозрачных материалов, так как воксели отображаются на экран в произвольном порядке. Расчет освещенности служит для определения цвета вокселя на основе некоторых классификационных и передаточных функций. А также моделей освещенности [3], которые варьируются от простейших (пороговое отсечение, за которым следует выборка цвета по таблице и закраска с учетом глубины) до наиболее сложных (сегментация с последующим применением специальной передаточной функции, учитывающей рассеивание).

В отличие от методов визуализации объема прямого хода, методы, использующих обратный ход, основаны на отбрасывании лучей, которые при этом испускаются из каждого пикселя экрана. Прохождение луча через объемные данные отслеживается до тех пор, пока он не пересечет непрозрачный объект или не накопится критическое значение величины непрозрачности [2].

Анализ трудоемкости

В обоих методах расчет освещенности и вычисление положения вокселя на финальном изображении, являются наиболее трудоемкими операциями, выполняемыми для каждого вокселя.

Допустим, что производится визуализация объема из $N * N * N$ вокселей. Предположим также, что используется метод рендеринга прямого хода (BTF).

Для каждого вокселя нужно:

применить преобразование, связанное с положением наблюдателя, что требует умножения координат в среднем на 6 матриц:

положения в воксельном пространстве с целочисленными неотрицательными координатами, представляющем набор данных как трехмерный массив;

положения в объектном пространстве, т.е. относительного некоторого центра;

положения в «мировой» системе координат;

положения в системе координат камеры;

положения в обрезающей видимую часть системе координат;

матрицу проекции на экран;

т.к. некоторые умножения (2, 3 и 4) могут быть выполнены один раз для всех точек, то это требует операций порядка

$$T2 = 3 * N^3 * (16 * t1 + 4 * t2)$$

где $t1$, $t2$ и $t3$ обозначают, соответственно, времена сложения, умножения и деления (операции с прозрачностью. В методе BTF получение значений цвета и прозрачности реализуется следующим образом:

$$A = a + A * (1 - a), C = c * a + C * (1 - A),$$

где C и A - цвет (3 цвета RGB) и прозрачность аккумулирующего буфера, c и a - цвет и непрозрачность точки. Можно записать

$$T2 = N^3 * ((1 + 3 * 2) * t1 + (2 + 2 * 3) * t2 + (k * t1) + t3)$$

где k - коэффициент интерполяции по соседним значениям для получения финальных значений.

Тогда общее время:

$$T = T1 + T2 = N^3 * ((55 + k) * t1 + 20 * t2 + k).$$

Оценим эффективность работы алгоритма на современных процессорах, с учетом того, что для них:

$$t1 = t2 = t; t3 \sim 40 * t,$$

где t - время на операцию с плавающей точкой.

Таким образом, учитывая только базовые операции, для среднего разрешения и изображения среднего качества ($N = 256$, $K = 1$ - интерполяция «по ближайшему соседу»), потребуется примерно 231 тактов процессора для получения одного кадра. 236 FP - для работы в реальном времени (30 кадров в секунду).

Если осуществить визуализацию объема с большим разрешением и трilinearной интерполяцией изображения ($N = 512$, $K = 8$), то потребуется порядка 236 тактов процессора на кадр или 240 тактов для визуализации в реальном времени

Очевидно, что сегодня для визуализации в реальном времени невозможно использовать чисто программную реализацию. Необходима разработка оптимизационных алгоритмов и аппаратных средств.

Оптимизация методов визуализации объемных данных

Для оптимизации можно использовать: когерентность в воксельном пространстве; когерентность в пиксельном пространстве; когерентность лучей; когерентность кадров; пространственные скачки [4, 5].

Первые методы оптимизации используют когерентность в пространстве вокселей, представляя 3D объем, например, в виде восьмеричного дерева. Совокупность соседних вокселей, имеющих одинаковые или

близкие с некоторой точностью значения, может, при некоторых ограничениях, быть сгруппирована в однородный кубический объем. Такой объем может быть преобразован и подвергнут рендерингу, как однородная единица. Вариантом этого является super-sampling, состоящий в уменьшении выборки вокселей в 3D областях, содержащих одинаковые или близкие значения. Вначале при прохождении луча рассматривается низкочастотная выборка точек объема - берется большой шаг между точками выборки, если же между двумя соседними точками выборки обнаруживается большая разница значений, между ними выбирается дополнительная точка. Эта базовая идея обобщается с целью снижения объема выборки в областях, в которых непрозрачность вносит небольшой вклад или в областях, где объем однороден.

Рассмотрим когерентность в пиксельном пространстве. В пространстве изображения высока вероятность того, что между двумя пикселями с одинаковым или близким цветом найдется третий пиксель, имеющий такой же или близкий цвет. Поэтому сначала лучи испускаются только из подмножества пикселей экрана (например, из каждого второго пикселя). Значения "пустым пикселям", расположенным между пикселями с близкими значениями, присваиваются путем интерполяции. В областях изображения с большим градиентом интенсивности испускаются дополнительные лучи.

Когерентность лучей. При параллельной схеме наблюдения существует большая степень когерентности между лучами (например, все лучи направлены одинаково) и множество дискретных шагов у всех лучей совпадает. Этот вид когерентности используется для того, чтобы уменьшить количество вычислений, необходимых для построения дискретной траектории луча в пространстве вокселей.

Рассмотрим когерентность кадров. При генерации анимационной последовательности, как правило, соседние кадры различаются мало. Следовательно, большая часть работы, затраченная на производство одного кадра, может использоваться для ускорения генерации следующего кадра. При каждом изменении параметров наблюдения преобразуются величины в специальном буфере, значения которого используются для нахождения точки, из которой должны начать обход объема новые лучи.

Так как прохождение пустого пространства не вносит вклад в конечное изображение, скачок через пустое пространство способен обеспечить существенное ускорение обработки и не влияет на качество изображения. В некоторых методах пространственный скачок реализуется путем использования некоторых из уже описанных типов когерентности.

Методы оптимизации используются в основном для пошагового улучшения качества изображения при интерактивной работе: например, когда пользователь манипулирует объемом, формируется изображение с низким качеством. Если же объем остается стационарным и не меняется в течение некоторого короткого периода, система улучшает качество изображения.

Выводы

Рендеринг объемов реального времени стал незаменимой технологией визуализации для широкого спектра приложений. При объемном рендеринге происходит обработка данных в трех и более измерениях. Это приводит к большой вычислительной сложности формирования графических сцен.

Предложены направления оптимизации методов визуализации объемных данных для медицинских приложений

Література

1. Wrenninge M. Production Volume Rendering: Design and Implementation / Magnus Wrenninge -2012. -335 s.
2. Sobierajski L . A Fast Display Method for Volumetric Data"/ L Sobierajski., D. Cohen, A. Kaufman, R. Yagel, and D. Acker //The Visual Computer, 10(2):116-124,-1993.
3. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.
4. Р. Ягель. Рендеринг объемов в реальном времени/ Янгель Р. //Открытые системы, 05, 1996.
5. Arie E. Kaufman "Volume Visualization: Principles and Advances". Режим доступа://www.cs.duke.edu/courses/spring03/cps296.8/papers/KaufmanVolumeVisualization.pdf

References

1. Wrenninge M. Production Volume Rendering: Design And Implementation / Magnus Wrenninge -2012 335 s.
2. Sobierajski L . A Fast Display Method for Volumetric Data"/ L Sobierajski., D. Cohen, A. Kaufman, R. Yagel, and D. Acker //The Visual Computer, 10(2):116-124,-1993.
3. Romanyuk High methods and tools for painting three-dimensional graphics. Monograph. / O. Romanyuk, A. Chorniy. – Ball: UNIVESUM-Vinnitsia, 2006. - 190 p.
4. R. Yagel. Rendering volumes of real-time / Yangel R. // Open systems, 05, 1996.
5. Arie E. Kaufman "Volume Visualization: Principles and Advances".
//www.cs.duke.edu/courses/spring03/cps296.8/papers/KaufmanVolumeVisualization.pdf

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 p.

Надрукована/Printed :20.10.2015 p.

ІННОВАЦІЙНІ ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МЕДИКО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

У статті представлено результати досліджень із визначення основ методології створення медико-діагностичних систем. Проаналізовано сучасний стан клінічної діагностики патології організму людини на мікрорівні, зокрема томографічної діагностики онкологічних захворювань, патології головного мозку, та серцево-судинних патологій організму людини. Проаналізовано принципи, які надають інноваційний характер методології створення медико-діагностичних систем. Запропоновано в якості інноваційних основ методології розглядати життєвий цикл та інноваційний менеджмент для медико-діагностичних систем.

Ключові слова: методологія, медико-діагностичні системи, життєвий цикл, інноваційний менеджмент.

Y.V. SAVENKO

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

INNOVATIVE PRINCIPALS OF METHODOLOGY FOR CREATING THE MEDICAL-DIAGNOSTIC SYSTEM

Abstract — The paper presents the results of investigation on determine the principals of methodology for creating the medical-diagnostic system.

It has been analyzed the current state of clinical diagnostics of diseases of the human body at the microlevel, in particular by tomography diagnostics of cancer, diseases of the brain and cardiovascular pathology of the human body. It has been analyzed the principals, which give to methodology an innovative characters for creating the medical-diagnostic systems.

It has been proposed as innovative principals of methodology for creating the medical diagnostics system to consider an vital circle and innovation management for medical-diagnostic system. There is discovered the problem of increasing the efficiency of competitive products for the general management technologies. It has been proposed the ways of solving the problem for increasing the efficiency of management through identifying specialities at different stages of the product life cycle. It has been proposed the application scheme for management specialities by the product competitiveness to improve management efficiency and product competitiveness as well.

Вступ

Методологія створення медико-діагностичних систем потребує інноваційних основ для задоволення потреб в галузі охорони здоров'я, зокрема діагностування захворювань на ранніх стадіях їх виникнення та їх профілактики.

Результати клінічної діагностики методами комп'ютерної томографії, магнітно-резонансної томографії та позитронно-емісійної томографії містять інформацію про структурні та функціональні особливості біологічного об'єкту та відображають теперішні можливості діагностики організму людини на макрорівні [1-5].

Вивчення сучасного стану клінічної діагностики патології організму людини на мікрорівні, зокрема томографічної діагностики онкологічних захворювань, патології головного мозку, та серцево-судинних патологій організму людини дозволяє стверджувати, що створення медико-діагностичних систем суттєво відстає від появи нових викликів в галузі охорони здоров'я.

Постановка задачі дослідження та шляхи вирішення проблеми

Пошук нових шляхів швидкого й ефективного забезпечення потреб охорони здоров'я медико-діагностичними системами приводить до необхідності критичного перегляду основ методології їх створення.

За основу методології можна приймати тільки інноваційні принципи, які дозволять медико-діагностичним системам відповідати новим викликам в галузі охорони здоров'я, зокрема профілактиці та ранньому виявленню захворювань.

Врахувати появу нових викликів можливо тільки за умов розгляду всього життєвого циклу медико-діагностичних систем. До складу життєвого циклу необхідно включити п'ять етапів: формування концепції медичної діагностики із застосуванням нових медико-діагностичних систем (ціль), формування засобів реалізації концепції (засоби), етап проектування медико-діагностичних систем, етап виробництва медико-діагностичних систем та етап експлуатації створених медико-діагностичних систем. Етапи проектування та виробництва мають бути максимально інтегровані [6].

Компаніям, які хочуть залишатися попереду своїх конкурентів в інноваційному менеджменті для ефективного управління конкурентоспроможності медико-діагностичних систем, потрібно використовувати особливі аспекти інноваційного менеджменту, а саме: помірковані інновації, високошвидкісні малоризиковані та інтегровані інновації.

Критичні ланки життєвого циклу медико-діагностичних систем

Розглянемо ланки в життєвому циклі медико-діагностичних систем, які є критичними для потреб охорони здоров'я. До критичного будемо відносити ті ланки, які роблять безпосередній або непрямий вплив на процес впровадження в охорону здоров'я. Нова концепція полягає в тому, що весь життєвий цикл медико-

діагностичних систем й всіх його етапів є критичними. Це означає, що вони роблять прямий або непрямий вплив на галузь охорони здоров'я. Для аналізу критичності для охорони здоров'я варто використати дві схеми процесів у життєвому циклі медико-діагностичних систем.

Перша схема - це зовнішня схема (Рис. 1). Кожен елемент у такій схемі буде визначати регулярність або нерегулярність життєвого циклу. На вхід елемента надходять вхідні впливи - набір параметрів X , які визначаються вимогами замовника. На виході кожного елемента - вихідні параметри Y , отримані в результаті виконання певного етапу. Елемент також повинен характеризуватися часом відпрацювання завдання T і пропускну здатністю Q .

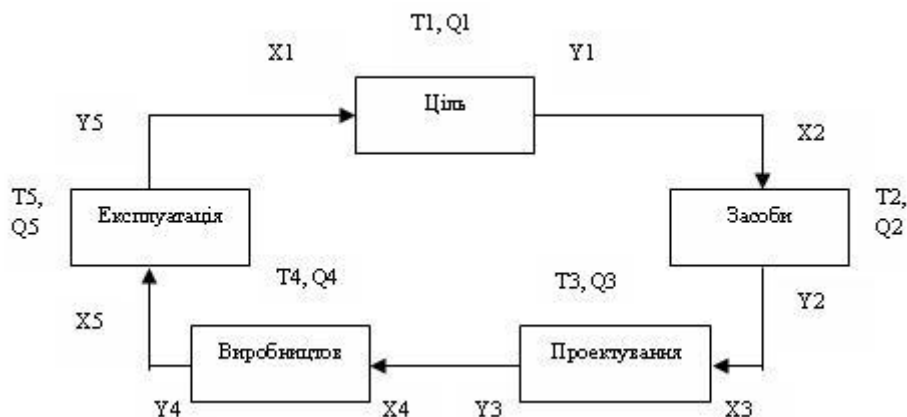


Рис. 1. Зовнішня схема процесів у циклі відтворення

Погодженість між вихідними й вхідними параметрами сусідніх етапів, оптимальні час відпрацювання й пропускну здатність на кожному етапі - це умови для регулярності протікання життєвого циклу. Адаптація етапів до життєвого циклу при його регулярності відбувається за найменше число циклів, що для охорони здоров'я буде створювати ідеальні умови з погляду скорочення часу впровадження при високому рівні якості медико-діагностичних систем, що створюють.

Друга схема - це внутрішня схема (Рис. 2). Вона відображає процеси в окремо взятому етапі. В узагальненому виді вона відображає етап як чорний ящик з набором вхідних X і вихідних Y параметрів і зворотних зв'язків Z .

Тобто виконання етапу теж має циклічний характер, що дуже важливо, тому що, в остаточному підсумку, це буде визначати час виконання етапу.

Очевидно, що рішенням є компроміс між часом й якістю виконання етапу.

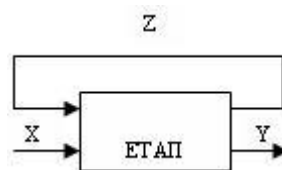


Рис. 2. Внутрішня схема процесів у циклі відтворення

Комплексний аналіз критичності з використанням обох схем дозволяє конкретизувати критичні ланки в життєвому циклі конкретного класу медико-діагностичних систем й у наслідку визначити оптимальні умови для охорони здоров'я з погляду ефективного впровадження за мінімальні строки.

Інноваційний менеджмент як концепція методології створення медико-діагностичних систем

Поміркована інновація, яку іноді називають "Реверсивна інновація", - це виникнення і розвиток інновацій з низьким рівнем доходу, на ринках, що розвиваються. беручи потреби бідних споживачів в якості відправної точки, потім трансформують та адаптують, використовують та поширюють їх в розвинених ринках. Це протилежність традиційному підходу інновацій, яка була для розвитку інновацій у вищому значенні "економіки знань" розвиненого світу, щоб використовувати нові ринки недорогих виробничих ресурсів, а іноді, щоб позбавити продукт непотрібних витрат і функціональності щоб вона могла конкурувати на ринках, що розвиваються.

Прикладом поміркованої інновації продукту є ручний електрокардіограф (ЕКГ), яка був винайдений в Дженерал Електрик (GE) в лабораторії Бангалор. Це портативний, легкий, що працює від батареї або від мережі, надійний і дешевий (40% від звичайного ЕКГ) апарат ЕКГ. Витрати на ЕКГ тест впали до рівня близько 1 долар США за ЕКГ, який багато людей в індустріальних країнах може собі дозволити. Цікаво, що після Індії і Китаю продукт в даний час також запущений в США. Поміркована інновація призводить до переосмислення природи інновації. Замість того, щоб прагнути до «більшого» прагнуть до «меншого» і за допомогою розумних технологій створюють шедеврів спрощення, зокрема в мобільних телефонах, комп'ютерах, автомобілях і електроніці. Поміркована інновація, безумовно, стосується не тільки інновації продукту, а змінює весь ланцюг, який включається до розгляду. Поміркована інновація має серйозні наслідки для компанії: Інноваційні системи швидко були реалізовані в глобальному - Ви повинні бути там, де дії зміщуються. "Поміркованість" повинна стати аспектом інноваційного мислення кожної компанії (концепція Філіпе (Philips) "Розумно і просто" являє собою цікавий приклад). Більш гнучкі та відкриті інноваційні підходи, необхідні як орієнтація на «доступність», стають все більш важливим [7].

Прагнення скоротити час виходу на ринок і вибірково збільшити швидкість циклу продукту не виявляє жодних ознак уповільнення. Один аспект, який тепер стане більш важливим є важливість отримання ринку не тільки швидко, але і точно і без недоліків. У зв'язку із зростанням світових брендів і появи яскравих, неконтрольованих, масових комунікацій з'являється потенціал для потужного захисту акціонерної вартості від будь-якого потенційного дефекту в товарі. Тому очікується подальший розвиток підходів та інструментів швидкого руху із знешкодження ризиків інновації продукції. Метод проб і експериментів використовують вже на етапі функціональної специфікації продукту. Наприклад, це буде за рахунок збільшення використання віртуального створення прототипу і програмного забезпечення із 3D візуалізацією для розробки продуктів. При цьому провідні клієнти будуть ставати все більш активними учасниками процесу. Одночасно ми побачимо «відкриті інновації», що стають все більш витонченими, коли провідні клієнти приймають участь як частина постачання продукту та послуги. Такий підхід знижує ризики виробника і користувача, і стає ключовим, коли системи стають більш складними і взаємопов'язаними.

Інтегрована інновація стосується прийняття інноваційних підходів, які були колись в галузі розробки нових продуктів такої, як ідея управління, етап входу і оптимізації – їх послідовне застосування в якості невід'ємної частини бізнес-стратегії для досягнення не тільки економічного зростання, але також конкурентоспроможності. Можна визначити такі особливі аспекти інтегрованої інновації, які є важливі в майбутньому, зокрема для підвищення ефективності управління конкурентоспроможністю продукції: інновації інтегральні до бізнес стратегії, системні інновації без розробки нової продукції.

Висновки

Інноваційний характер методології створення медико-діагностичних систем досягається завдяки запропонованій концепції життєвого циклу медико-діагностичних систем для: визначення ролі й місця нової медичної діагностики та нових медико-діагностичних систем в охороні здоров'я; аналізу регулярності протікання процесів у життєвому циклі медико-діагностичних систем; аналізу критичного впливу ланок життєвого циклу медико-діагностичних систем на етапи проектування, виробництва й експлуатації; аналізу процесів етапу проектування для ефективного й швидкого впровадження в охорону здоров'я.

Інноваційний характер методології створення медико-діагностичних систем досягається також завдяки концепції управління конкурентоспроможності продукції, зокрема концепції інноваційного менеджменту, що дозволяє скоротити термін створення медико-діагностичних систем, виходу їх на ринок із задоволенням сучасних потреб охорони здоров'я.

Досягнення позитивного ефекту можливо лише при комплексному використанні запропонованих концепцій з урахуванням особливостей конкретного життєвого циклу конкретної медико-діагностичної системи та конкретного інноваційного менеджменту для конкретної медико-діагностичної системи.

Література

1. Rao SM, Binder JR, Hammeke TA, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 1995;45:919-24.
2. Friston KJ, Fletcher P, Josephs O, Holmes A, Rugg MD, Turner R. Event-related fMRI: characterizing differential responses. *Neuroimage* 1998;7:30-40.
3. Van der Linden A, Verhoye M, Van Audekerke J, et al. Non invasive in vivo anatomical studies of the oscine brain by high resolution MRI microscopy. *J Neurosci Methods* 1998;81:45-52.
4. Flitman S, O'Grady J, Cooper V, Grafman J. PET imaging of maze processing. *Neuropsychologia* 1997;35:409-420.
5. Computed Tomography \ <http://medical.toshiba.com/products/ct/index.php>
6. Faisal Ahmed. CAM/CAD Design Rules and Guidelines // *CircuiTree*. – Vol. 21. – N 10. – 2008. – P. 30-34.
7. Eagar R. The Future of Innovation Management: Five Key Steps for Future Success // *Innovation Management*, 2010. (http://www.innovationmanagement.se/wp-content/uploads/2011/10/The_Future_of_Innovation_Management_Eagar.pdf).

References

1. Rao SM, Binder JR, Hammeke TA, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 1995;45:919-24.
2. Friston KJ, Fletcher P, Josephs O, Holmes A, Rugg MD, Turner R. Event-related fMRI: characterizing differential responses. *Neuroimage* 1998;7:30-40.
3. Van der Linden A, Verhoye M, Van Audekerke J, et al. Non invasive in vivo anatomical studies of the oscine brain by high resolution MRI microscopy. *J Neurosci Methods* 1998;81:45-52.
4. Flitman S, O'Grady J, Cooper V, Grafman J. PET imaging of maze processing. *Neuropsychologia* 1997;35:409-420.
5. Computed Tomography \ <http://medical.toshiba.com/products/ct/index.php>
6. Faisal Ahmed. CAM/CAD Design Rules and Guidelines // *CircuiTree*. – Vol. 21. – N 10. – 2008. – P. 30-34.
7. Eagar R. The Future of Innovation Management: Five Key Steps for Future Success // *Innovation Management*, 2010. (http://www.innovationmanagement.se/wp-content/uploads/2011/10/The_Future_of_Innovation_Management_Eagar.pdf).

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ДОБОВОЇ ДИНАМІКИ ГЛІКЕМІЇ ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ

У даній статті розглядається інформаційна технологія оцінки добової динаміки глікемії у хворих на цукровий діабет. За допомогою діаграми використання показано набір дій, які виконує система при діалозі з користувачами. Представлено модульну структуру програмного забезпечення, яка відображає його основні складові. Розроблено діаграму станів, що дозволяє змодельовувати поведінку системи для режиму прогнозування динаміки глікемії. Наведено результати інтерактивної роботи хворого на цукровий діабет з інструментарієм інформаційної технології, що дозволяє отримати прогноз динаміки глікемії.

Ключові слова: інформаційна технологія, динаміка глікемії, база даних, модель ідентифікації, модель прогнозу.

YULIA CHAIKIVSKA

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical university

ROMAN PASICHNYK

Ternopil National Economic University

THE INFORMATION TECHNOLOGY ASSESSMENT OF THE DAILY GLYCEMIA DYNAMICS IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS

Abstract — The aim of research — discusses how information technology assessment of the daily dynamics of glycemia, which will allow diabetics to monitor glucose levels in blood.

The designed use case diagram shows the set of actions that are performed by the system in dialogue with users. Presents a modular software structure that reflects its main components. The developed state diagram, which allows to simulate the behavior of transition system from one state to the state mode of forecasting the glycemia dynamics. Developed a website that allows patients to enter his data in the data form. The first identifies the model, which is developed in Matlab. After that, the entered current measurements to transmit the Matlab model to predict the glycemia dynamics.

Consequently, obtained results of interactive work patient with the tools of information technology that allows to obtain the forecast of the dynamics of glycemia.

Keywords: information technology, the glycemia dynamics, database, identification model, predict model.

Постановка проблеми

Захворюваність на цукровий діабет призводить до важких ускладнень, тому діагностика та моніторинг його лікування є важливою проблемою для суспільства. Для цього необхідно хворим здійснювати самоконтроль за рівнем цукру в крові, підбирати режим харчування та дози інсуліну для інсулінозалежних.

За допомогою математичних моделей можна прогнозувати концентрацію глюкози в крові у хворих на цукровий діабет. Тому, розробка програмного забезпечення для ведення бази даних по кожному пацієнту, в якій записуються щоденні заміри хворих (глюкоза, спожиті вуглеводи, доза інсуліну), налаштування математичної моделі під конкретний організм та здійснення прогнозу динаміки глікемії протягом доби складає актуальну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній здебільшого використовуються реєстри хворих на цукровий діабет, які за допомогою інформаційних технологій компактно зберігають детальну інформацію по кожному хворому. Такі реєстри базуються на стандарті National service framework for diabetes: Standards. Diabetes NSF Department of Health, London SE1 8UG і визнані Європейським товариством дослідників цукрового діабету (EASD) [1-2]. Метою таких інформаційних технологій є створення системи знань про хворих на цукровий діабет. Зокрема, в Україні діє реєстр СИНАДІАБ, який є загальнодержавною базою даних по хворих на цукровий діабет, які потребують лікування інсуліном [2-4]. Такі реєстри дозволяють лікарям вести облік, отримувати інформацію про хворих та подавати заявки на забезпечення необхідними препаратами.

Проте, ці інформаційні технології не дозволяють здійснити оцінку добової динаміки глікемії у хворих на цукровий діабет протягом доби.

Формування цілей

Створення інформаційної технології оцінки добової динаміки глікемії дозволить хворим здійснювати контроль за рівнем глюкози в крові, вести щоденник діабетика, планувати режим харчування, що залежить від типів вуглеводів, та отримувати прогноз на основі поточних замірів.

Для цього необхідно розробити зручний інтерфейс взаємодії хворого із системою прогнозування, яка дозволяє вносити та зберігати дані у базу даних, проходити ідентифікацію на основі математичних моделей, які використовують введені дані користувачем; розраховувати надходження глюкози з їжі за допомогою калькулятора хлібних одиниць (ХО); здійснювати прогноз динаміки глікемії з використанням розроблених математичних моделей в Matlab.

Основна частина

Кожна інформаційна технологія реалізується через спроектовані автоматизовані інформаційні системи (ІС), в основі яких лежать раціональні методи управлінських задач і технологія обробки даних [5]. Виділяють

наступні етапи створення і функціонування ІС: розробка концепції ІС; розробка технічного завдання; проектування; реалізація; впровадження в експлуатацію; супровід [6-7]. Інформаційна технологія оцінки добової динаміки глікемії у хворих на цукровий діабет передбачає наступні аспекти проектування автоматизованих ІС: апаратно-комунікаційний комплекс, програмно-математичний, методичний та організаційний.

Візуальне моделювання концептуальної моделі системи зображено за допомогою діаграми використання на рис.1.

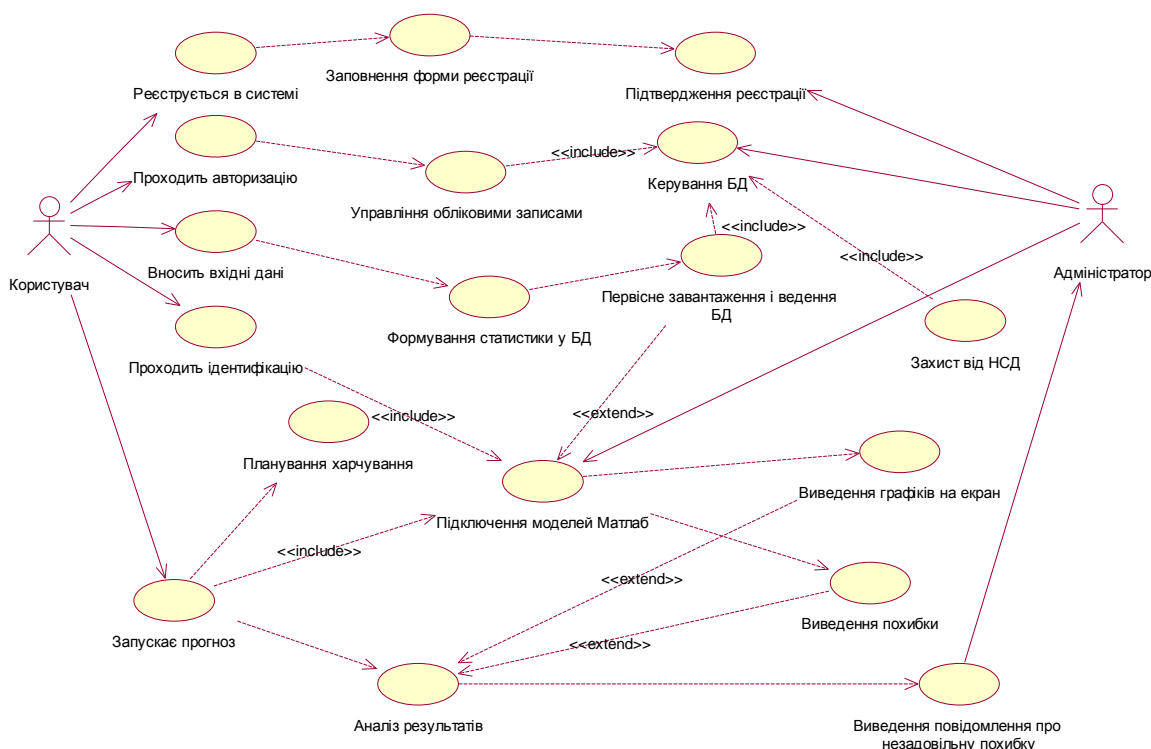


Рис. 1. Діаграма використання ІС

Контекст модельованої предметної області програмного забезпечення оцінки динаміки глікемії у хворих на цукровий діабет полягає в наступному: розроблено веб-сайт, на якому реєструються хворі на цукровий діабет, після цього вони проходять процедуру авторизації. Передбачено можливість введення даних щоденних замірів (глюкози в крові у певні моменти часу, надходження глюкози з їжі, яка залежить від типів вуглеводів (миттєві, швидкі, повільні) та дози введенного інсуліну) у базу даних. На основі введених даних адміністратор веб-сайту проводить ідентифікацію розроблених математичних моделей в Matlab для конкретного організму, параметри яких підбираються за допомогою методу Левенберга Марквардта [8]. Результатом підключення моделей Matlab до веб-сайту є виведення похибки та графічної інформації на екран. Прогноз динаміки глікемії здійснюється в тому випадку, якщо похибка ідентифікації є задовільною і становить менше 10%. Також передбачено можливість підбирати харчування за допомогою калькулятора ХО.

Прогноз добової динаміки глюкози в крові здійснюється шляхом підбору значення параметрів розподілів на основі мінімізації середньоквадратичного відхилення прогнозованого значення концентрації глюкози в крові від спостережених значень в ході експерименту методом Левенберга Марквардта. Математична модель прогнозу реалізована за нижче наведеною формулою (1)

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} G(t) = p_3 \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^3 G_{m,i}^l(t) \Theta(t-t_l^m) - p_4 \sum_{k=1}^K \frac{N^k(t)G(t)}{p_2 + G(t)} \Theta(t-t_k^N) - \\ \quad - p_1 \frac{I(t)G(t)}{p_2 + G(t)}, \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{(G(t) - G_b)^+ I(t)}{p_2 + G(t)}, \\ \frac{dN^k(t)}{dt} = - \frac{(G(t))N^k(t)}{p_2 + G(t)}, \\ \frac{dS^l(t)}{dt} = - p_5 \frac{S^l(t)}{p_2 + S^l(t)} G_{m,i}^l(t), \\ \frac{dG_{m,i}^l(t)}{dt} = \left(\frac{p_6 + 2(i-1)(S^l(t))}{(p_2 + S^l(t))^a} - p_{7+2(i-1)} \right) G_{m,i}^l(t) \end{cases} \quad (1)$$

де $G_{m,i}^j$ — обсяг спожитої глюкози у вуглеводах і-го виду (миттєві, швидкі, повільні) в j-му експерименті, який обчислюється за допомогою калькулятора калорійності у залежності від обсягу спожитих вуглеводів;

$I^j(t)$ — обсяг природного інсуліну в j-му експерименті, який виробляється організмом;

N^j — обсяг введеного інсуліну в j-му експерименті, який контролюється пацієнтом;

S^j — обсяг глюкози з їжі в j-му експерименті, що поступають разом з вуглеводами.

Архітектура програмної системи складає її внутрішню структуру, а саме: представлення програмного комплексу з певного набору взаємодіючих підсистем. В ролі таких підсистем виступають окремі модулі. Модульна структура та взаємозв'язки між модулями програмного забезпечення зображено на рис. 2.

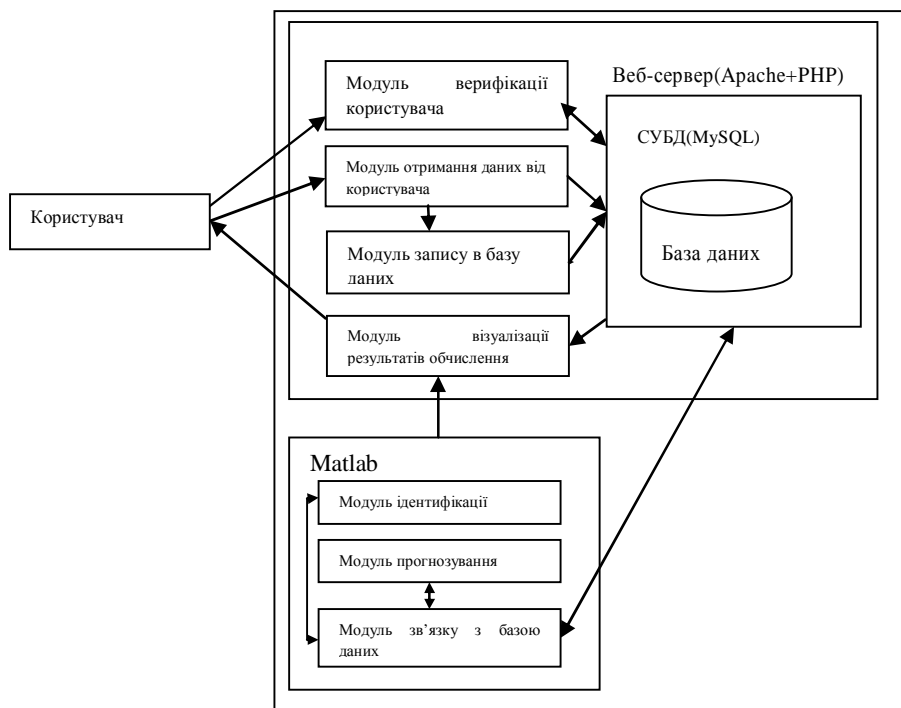


Рис. 2. Модульна структура програмного забезпечення

Програмне забезпечення сайту представлено у вигляді сукупності взаємопов'язаних php-сценаріїв. Кожен сценарій під час виконання завантажує файл конфігурації, функцій, здійснює запит до бази даних та формує текст веб-сторінки. Зв'язок моделей Matlab з базою даних веб-сайту здійснюється через mysql connector ODBC.

Дані для моделі ідентифікації передаються в Matlab і якщо похибка задовільна (<10%), тоді можна проводити режим прогнозування. В іншому випадку системному адміністратору надсилається повідомлення про високу похибку та неідентифіковану модель.

Логічна структура режиму прогнозування наведена на рис. 3 у вигляді діаграми станів.

Головний модуль є найважливішим в структурі веб-сайту, оскільки забезпечує всю роботу користувача з системою. Для зручності його доцільно розділити на частини, які б відображали відповідні розділи сайту:

- головна сторінка;
- головне меню;
- пошук по сайту;
- вхід/вихід.

Головне меню складається з таких розділів:

- новини;
- щоденник;
- ідентифікація;
- прогноз;

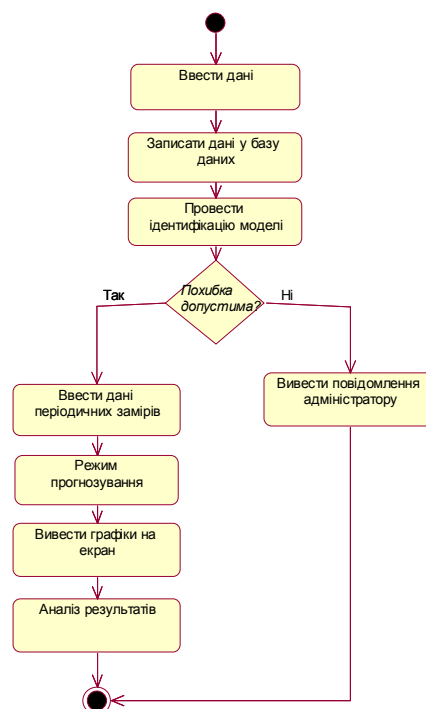


Рис.3. Діаграма станів режиму прогнозування

- контактна інформація.

Головна сторінка відображає інформацію, графічні результати математичних моделей Matlab, а головне меню забезпечує швидкий перехід від одного розділу сайту до іншого.

Розділ «Прогноз» містить сторінку, структурними елементами якої є: форма введення даних, калькулятор ХО, новини, написати повідомлення та перехід на головну сторінку. У формі даних хворий вводить свої поточні заміри (рис. 4).

Години	Споживті миттєві вуглеводи, ммоль/л	Швидкі, ммоль/л	Повільні, ммоль/л	Заміри глюкози в крові, ммоль/л	Дози інсуліну, ммоль/л
05.00	0	0	0	0	0
06.00	0	0	0	0	0
07.00	0	0	0	0	0
08.00	0	3.5	3.9	7.8	16
09.00	0	0	0	0	0
10.00	0	0	3.7	9.4	0
12.00	0	0	0	9.1	0
14.00	9.25	0	0	0	0
16.00	1	0	0	10.6	0
18.00	0	0	5.7	0	20
20.00	0	0	0	0	0
22.00	0	0	4.5	0	0
24.00	0	0	0	0	0
26.00	0	0	0	0	0

Рис. 4. Форма введення даних у розділі «Прогноз»

На основі введених даних можна здійснити прогнозування добової динаміки глікемії. Для цього потрібно натиснути на кнопку «Запуск прогнозу», дані передаються на вхід моделі в Matlab і результатом буде виведення графічної інформації та похибки прогнозу (рис. 5).

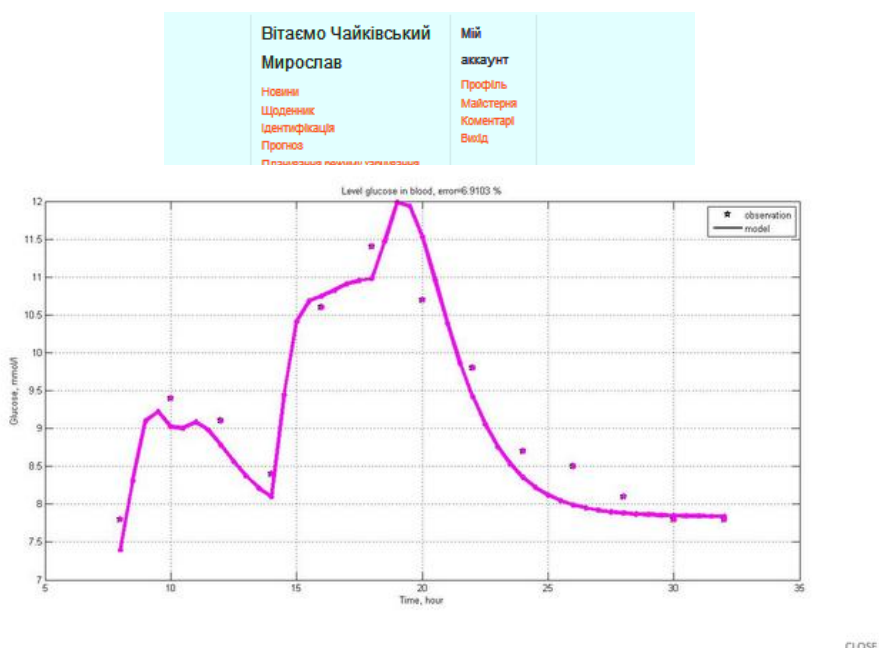


Рис.5. Графічне представлення результатів режиму прогнозування

Похибка прогнозу є допустимою і становить 6.9103%.

Висновки.

У процесі розробки інформаційної технології оцінки добової динаміки глікемії у хворих на цукровий діабет визначено: її концептуальну модель поведінки у зовнішньому світі; внутрішню структуру (архітектуру), яка відображає функціональну модель ІС; логічну поведінку системи в режимі прогнозування засобами UML, яка описує послідовності станів і переходів протягом одного життєвого циклу. Реалізовано веб-сайт, на якому хворі на цукровий діабет мають можливість вести свої щоденники, вносити дані у базу даних, проходити ідентифікацію на основі розроблених моделей в Matlab та отримувати прогноз добової динаміки глікемії за поточними замірами. Результатом виконання моделей прогнозу, розроблених в середовищі Matlab, є виведення графічної інформації та похибки прогнозу. Аналіз виведених результатів дозволяє хворим на цукровий діабет планувати режим харчування та здійснювати контроль за рівнем цукру в крові.

Література

1. Gudbjornsdottir S. The National Diabetes Register in Sweden: An implementation of the St. Vincent Declaration for Quality Improvement in Diabetes Care / S. Gudbjornsdottir, et al. // *Diabetes Care*. — 2003. — №26. — PP. 1270-1276.
2. Vaughan N. A review of European experience with aggregated diabetes databases in the delivery of quality care to establish a future vision of their structure and role / N. Vaughan, M. Massi Benedetti // *Diabetes Nutr. Metab.* — 2001. — №14. — P.87.
3. Harris N. Black Sea tele-diab: development and implementation of an electronic patient record for patients with diabetes / N. Harris, et al. // *Health Informatics Journal*. — 2001. — №7. — PP. 108-111
4. Кравченко В.І. Порівняльний аналіз реєстру хворих на цукровий діабет СИНАДІАБ з аналогічними зарубіжними базами даних та пропозиції щодо вдосконалення та розвитку національного діабетичного реєстру / В.І. Кравченко // *Проблеми ендокринної патології*. — 2003. — №4. — С. 60-68.
5. Шаховська Н.Б. Проектування інформаційних систем : навчальний посібник / Н.Б. Шаховська, В.В. Литвин. — Л. : Магнолія – 2006, 2011. — 380с.
6. Гуржій А.М. Інформатика та інформаційні технології : підручник / А.М. Гуржій, Н.І. Поворознюк, В.В. Самсонов В.В. — Х. : Компанія Сміт, 2007. — 352 с.
7. Інформаційні технології та моделювання бізнес-процесів : навчальний посібник / О.М. Томашевський, Г.Г. Цигелик, М.Б. Вітер, В.І. Дудук — К. : Центр учбової літератури, 2012. — 296 с.
8. Чайківська Ю.М. Математична модель динаміки глюкози в процесі засвоєння їжі / Ю.М. Чайківська, Р.М. Пасічник // *Збірник наукових праць «Інформатика та математичні методи в моделюванні»*. — 2014.— Т.4, №3. — С. 272-277.

References

1. Gudbjornsdottir S. The National Diabetes Register in Sweden: An implementation of the St. Vincent Declaration for Quality Improvement in Diabetes Care / S. Gudbjornsdottir, et al. // *Diabetes Care*. — 2003. — №26. — PP. 1270-1276.
2. Vaughan N. A review of European experience with aggregated diabetes databases in the delivery of quality care to establish a future vision of their structure and role / N. Vaughan, M. Massi Benedetti // *Diabetes Nutr. Metab.* — 2001. — №14. — P.87.
3. Harris N. Black Sea tele-diab: development and implementation of an electronic patient record for patients with diabetes / N. Harris, et al. // *Health Informatics Journal*. — 2001. — №7. — PP. 108-111.
4. Kravchenko V.I. Porivnialnyi analiz reiestru khvorykh na tsukrovyi diabet SYNADIAB z analohichnymy zarubizhnyy bazamy danykh ta propozytzii shchodo vdoskonalennia ta rozvytky natsionalnogo diabetychnogo riestru, *problem endokrynnoi patalogii*, 2003, No. 4, pp. 60-68.
5. Shakhovska N. Proektuvannia informatsiinykh system : navchalnyi posibnyk. Lviv, Mahnoliia-2006, 2011, 380 p.
6. Hurzhii A. Informatyka ta informatsiini tekhnolohii : pidruchnyk. Harkiv, Kompaniia Smit, 2007, 352 p.
7. Tomashevskiy M., Tsyhelyk H., Viter M., Duduk V. Informatsiini tekhnolohii ta modeliuвання biznes-protsesiv : navchalnyi posibnyk. Kyiv, Tsentр uchbovoi literatury, 2012, 296 p.
8. Chaikivska Iu., Pasichnyk R.M. Matematychna model dynamiky hlukozy v protsesi zasvoiennia izhi : Zbirnyk naukovykh prats "Informatyka ta matematychni metody v modeliuванні", Odesa, Vol. 4, No.3, pp. 272-277.

Рецензія/Peer review : 6.9.2015 р. Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

UDC 537.86/.87

A.O. ЧЕПОК

Odessa National Academy of Telecommunications n. a. A. Popov, Ukraine

ON BASIC FEATURES OF EM SIGNAL TRANSPORTING ALONG LINEAR WAVEGUIDES COMPOSED OF NOBLE METAL NANOSPHERES

Abstract – Propagation of surface dipole oscillations along a linear chain composed of spherical nanoparticles of noble metals is considered. Within the RPA method applied to the "jelly model" it was calculated the EM signal longitudinal group velocity $v_{gr,z}$ and the effective length L_z of the signal "run" along waveguides composed of Au (Ag, Cu) nanospheres at room temperature and the most frequently used parameters of such waveguides (nanoparticle radius $a = 25$ nm, with an interparticle spacing of 75 nm, merged into vacuum): the values are in good agreement with experimental data. The fact can be used to transfer information over relatively large distances: $L_z > 1$ mm, i.e. over the distances which exceed 200 periods of the nanoscale linear structure.

Keywords: surface dipole oscillations, metal nanoparticles, nanoscale waveguide.

A.O. ЧЕПОК

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭМ СИГНАЛА ВДОЛЬ ВОЛНОВОДА, СОСТАВЛЕННОГО ИЗ НАНОСФЕР БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрено распространение поверхностных дипольных колебаний вдоль линейной цепочки, составленной из сферических наночастиц благородных металлов. В рамках метода RPA применительно к «модели желе» вычислены продольная скорость прохождения ЭМ сигнала и эффективная длина «пробега» сигнала вдоль наноразмерного волновода при комнатной температуре и наиболее часто используемых параметрах такого рода волноводов (радиус наносфер 25 нм, расположенных в вакууме эквидистантно с расстоянием 75 нм): полученные расчеты находятся в хорошем согласии с экспериментом. Этот факт может быть использован для передачи информации на сравнительно большие расстояния: $L_z > 1$ мм, т.е. на расстояния, превышающие 200 периодов такой линейной структуры.

Ключевые слова: поверхностные дипольные колебания, металлические наночастицы, наноразмерный волновод.

Introduction

Investigations of plasma oscillations in metallic nanoparticles has been discussed for a relatively long time and are of great practical value (nanophotonics and optical telecommunications). An important role in such systems assigned to nanoscale waveguides which are possible basis for development of new generation of optical communication systems [1-3]. One-dimensional ordered arrays of noble metal (Au, Ag, Cu) spherical nanoparticles¹ are increasingly seen as this kind of waveguides. It is well established that the nanoparticles of noble metals support plasmon resonances within a wide frequency range (UV → visible → near IR) [1-3].

When studying plasma oscillations in nanoparticles as small as 1 nm or less, methods of local density functional theory (LDA) and "a time-dependent density functional" (TDLDA) are generally used. When studying plasma oscillations in metallic nanoparticles of several tens of nanometers "random phase approximation" (method RPA) can be successfully used [4-6].

Most often, both theoretically and experimentally someone investigates the properties of plasma waveguides composed of noble metal nanoparticles of spherical shape (for example, silver and gold nanosphere of radius 25 nm and 50 nm) and of cylindrical form ("nanorods") of similar size [7].

Rather recently there were several experimental studies of plasma waveguides [8]. Within these studies there were published micrographs obtained by means of optical near-field microscopy, which clearly show the passage of an electromagnetic signal along nanochains of gold spheres (of the radius $a = 50$ nm): the signal passes along the waveguide with almost no damping, though the total length of nanoscale waveguides were more than $5 \cdot 10^{-6}$ m with following parameters: $a = 50$ nm (the radius of the nanospheres), $d = 200$ nm (d stands for the distance between the centers of metal nanospheres), ratio $d/a = 4$ [8].

The experimenters associate this observation with a point dipole model that can be applied when describing the transport process of the electromagnetic signal by a plasma waveguide, and they give their estimate of the group velocity and attenuation coefficients for one-dimensional arrays of nanoparticles. Within this model of a point dipole some characteristics of such waveguides were calculated using FDTD method. But the authors themselves recognize that there is a significant divergence between the calculations of linear damping coefficient for the waveguide (~3dB/15nm), presented in the above-mentioned papers, and the experimentally observed results (see [9]).

Micrograms obtained with a scanning tunneling microscope clearly show that the electromagnetic signal passes through the Au nanochain a considerable distance (the length of about 6.75×10^3 nm) without any significant

¹ so-called *nanochains*

attenuation. Very similar result to this experimental one was obtained when passing an electromagnetic signal along nanochain of gold spheres with a diameter of 100 nm [9]: it is evident that the electromagnetic signal while passing along such nanochains slightly damped over a length of at least of 5×10^3 nm.

The author investigates plasma (dipole) waves, which arise within a linear array made of metallic spherical nanoparticles. It is shown that the dipole eigenwaves generated in the linear array, decay with time exponentially. The waves which arise in the chain due to the external electromagnetic wave source (generator), do not decay eventually, the frequencies of these plasma waves equal to the frequencies of the external alternating field, and their amplitudes depend on these frequencies. The greatest amplitudes of the plasma waves appear at the resonance frequencies.

The aim of this work is the calculation of certain characteristics of nanoscale waveguides in the form of a chain composed of nanospheres of noble metals with the following parameters: the radius of a nanosphere is $a = 25$ nm; the nanochain length is L_{chain} ($L_{chain} \gg a$). It was assumed that metal nanospheres are arranged equidistantly with the distance d between the centers of the nearest particles, and that nanochain merged into a medium with dielectric constant of ϵ_h .

Theory

Consider an infinite chain composed of noble metal nanoparticles of spherical shape of radius a and merged in a dielectric medium with the permittivity ϵ_h . We suppose that the nanospheres are arranged along an axis Z at an equal distance of $d > 2a$ from each other (i.e., their centers are spaced at equal distances from each other). Let the origin of coordinates is located at the center of one of the particles, for example at the nanosphere with index $l = 0$. Further suppose that there is an external source of electric field, which is located on one of the particles of the nanochain, for example, on the particle with index $l = 0$. At the center of the particle with $l = 0$ this electric field produces a point dipole moment which, in its turn, will also radiate a certain electric field.

Let the intensity of the radiated electric field at any point of the axis Z at any given time t is equal to $\mathbf{E}_0(0; z; t)$, in this case $\mathbf{E}_0(0; z; t) = \mathbf{E}_0(0; -z; t)$.

Then projection of the considered electric field intensity onto the coordinate axe Z at each l -th node of the chain, where are located metal nanoparticles, will be determined by the following relations: $\mathbf{E}_{0z}(0; ld; t) = \lim_{z \rightarrow ld} E_{0z}(0; z; t)$.

It means that at the center of each metal nanoparticles (see [5, p. 124322, Eq. (27)]) it will arise additional dipole moments, committing with time compelled transverse and longitudinal vibrations.

According to the general theory (see [9]) dipole moment $\mathbf{D}(\mathbf{R}, t)$ located at the point \mathbf{R} radiates an electric field intensity at a point $(\mathbf{R} + \mathbf{R}_0)$ is equal to:

$$\mathbf{E}(\mathbf{R}; \mathbf{R}_0; t) = \frac{1}{\epsilon_h} \left(-\frac{1}{R_0^3} - \frac{1}{R_0^2} \frac{1}{v_h} \frac{\partial}{\partial t} - \frac{1}{R_0} \frac{1}{v_h^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \times \\ \times \mathbf{D}(\mathbf{R}; t - R_0/v_h) + \frac{1}{\epsilon_h} \left(\frac{3}{R_0^3} + \frac{3}{R_0^2} \frac{1}{v_h} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{1}{R_0} \frac{1}{v_h^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{n}_0 \cdot (\mathbf{n}_0 \cdot \mathbf{D}(\mathbf{R}; t - R_0/v_h)),$$

where $\mathbf{n}_0 = \mathbf{R}_0/R_0$, $v_h = c/\sqrt{\epsilon_h}$.

Plasma oscillations arising on the particle with index l also emit electromagnetic field, which is accompanied by power emitted by the influence of the field on the conduction electrons of the particle with index l (Lorentz force). The presence of this force is equivalent to the presence of an external electric field effective, the source of which is located in the center of the particle with index l , and the intensity of this field is given by the expression (see [9]):

$$\mathbf{E}_L(ld, 0, t) = \frac{2e\sqrt{\epsilon_h}}{3c^3\epsilon_h} \frac{\partial^3 \mathbf{D}(ld, t)}{\partial t^3} = \frac{2}{3d^3\epsilon_h} \left(\frac{d}{v_h} \right)^3 \frac{\partial^3 \mathbf{D}(ld, t)}{\partial t^3}.$$

Thus, the equations describing the behavior of the dipole moment $\mathbf{D}_z(ld, t)$ along the longitudinal direction (Z axis) of the particle with index l are of the form (see [5, p. 124322, see Eq. (28-29)]):

$$\frac{\partial^2 D_z(ld, t)}{\partial t^2} + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial D_z(ld, t)}{\partial t} + \omega_1^2 D_z(ld, t) = \epsilon_h a^3 \omega_1^2 \left(\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq l)}}^{+\infty} E_z(R_m, R_{ml}, t) + E_{Lz}(ld, 0, t) + E_{0z}(0, ld, t) \right) \quad (1)$$

where $\tau_0 = \left(\frac{\nu_F}{2\lambda_0} + \frac{\nu_F}{2a} \right)^{-1}$ is the decay time of plasma oscillations due to their interaction with phonons of bulk metal and surface of the nanoparticles.

For the particle with index m ($m \neq l$), equations (1) can be rewritten as

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial t^2} D_z(ld, t) + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} D_z(ld, t) + \omega_1^2 D_z(ld, t) = \\ & = 2\omega_1^2 \frac{a^3}{d^3} \left[\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq 0)}}^{+\infty} \left(\frac{1}{|m|^3} + \frac{d}{\nu_h |m|^2} \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot D_z \left(md + ld; t - \frac{|m|}{\nu_h} d \right) + \frac{d^3}{3\nu_h^3} \frac{\partial^3}{\partial t^3} D_z(ld; t) \right] + \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 E_{0z}(0; ld; t). \end{aligned}$$

Here $l \cdot d$ is the discrete variable. To solve these equations, assume that $D_z(ld, t) = \lim_{z \rightarrow ld} D_z(z, t)$, where z is the continuous independent variable, and functions $D_z(z, t)$ satisfy the following equations:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial t^2} D_z(z, t) + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} D_z(z, t) + \omega_1^2 D_z(z, t) = \\ & = 2\omega_1^2 \frac{a^3}{d^3} \left[\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq 0)}}^{+\infty} \left(\frac{1}{|m|^3} + \frac{d}{\nu_h |m|^2} \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot D_z \left(md + z; t - \frac{|m|}{\nu_h} d \right) + \frac{d^3}{3\nu_h^3} \frac{\partial^3}{\partial t^3} D_z(z; t) \right] + \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 E_{0z}(0; z; t). \end{aligned}$$

Here $\omega_1^2 = \frac{\omega_p^2}{3\varepsilon_h}$ is the frequency of plasma oscillations in a medium where the nanoparticles are placed;

ω_p is the eigenfrequency of plasma oscillations of the electron gas of the nanoparticles.

If the condition

$$\frac{1}{\omega_1 \tau_0} \sim \left(\frac{\omega_p a}{c\sqrt{3}} \right)^2 \leq \left(\frac{a}{d} \right)^3 \ll 1,$$

is satisfied, these equations become much simpler and for functions $\tilde{D}_z(k, t)$ in a first approximation they take the form:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} + \tilde{\omega}_z^2(kd) \right) \tilde{D}_z(k, t) = \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 \tilde{E}_{0z}(k, t). \quad (2)$$

The frequencies of $\tilde{\omega}_z(kd)$ have the following properties: $\tilde{\omega}_z^2(kd) = \tilde{\omega}_z^2(-kd) = \tilde{\omega}_z^2(kd + 2\pi)$.

It is well known, that the general solution of the inhomogeneous equation (2) with constant coefficients equals the sum of two functions (see [9]): $\tilde{D}_z(k, t) = \tilde{D}_{0z}(k, t) + \tilde{D}_{1z}(k, t)$, where $\tilde{D}_{0z}(k, t)$ is the general solution of the homogeneous equation as it follows:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} + \tilde{\omega}_z^2(kd) \right) \tilde{D}_{0z}(k, t) = 0, \quad (3)$$

and the functions $\tilde{D}_{1z}(k, t)$ are particular solutions of inhomogeneous equations (2).

Solutions of equations (3) have the form (see [9]):

$$\tilde{D}_{0z}(k, t) = A_z(k) \cdot \exp(-i\tilde{\omega}'_z t - t/\tau_0) + B_z(k) \cdot \exp(i\tilde{\omega}'_z t - t/\tau_0),$$

where $\tilde{\omega}'_z = \tilde{\omega}'_z(kd) = \sqrt{\tilde{\omega}_z^2(kd) - 1/\tau_0^2}$, and $A_z(k)$ and $B_z(k)$ are arbitrary functions of k determined from both the initial and physical conditions. Consider the case when an external electric field is turned on at the moment $t = 0$. Since before the event the system under consideration was in a state of equilibrium and it was free of any excitations, it is necessary to assume that $A_z(k) = B_z(k) = 0$. In this case $\tilde{D}_{0z}(k, t = 0) = 0$, and when $t > 0$ we obtain:

$$\tilde{D}_z(k, t) = \tilde{D}_{1z}(k, t) = \varepsilon_h \frac{a^3 \omega_1^2}{\tilde{\omega}'_z(kd) \exp(t/\tau_0)} \int_0^t \exp(t_1/\tau_0) \tilde{E}_{0z}(k, t_1) \cdot \sin(\tilde{\omega}'_z(kd) \cdot (t - t_1)) \cdot dt_1,$$

here t_1 is time, and besides $t_1 \neq t$.

The desired function $D_z(z, t)$, according to (2) is defined by the equation $D_z(z, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{ikz} \tilde{D}_z(k, t) dk$.

In the linear array, we will primarily be interested in the electric dipole moment of the metal nanospheres located in the l -th node of the chain, and the dipole moment is defined by the following relationship: $D_z(ld, t) = \lim_{z \rightarrow ld} D_z(z, t) = \lim_{z \rightarrow ld} D_{1z}(z, t) = D_{1z}(ld, t)$.

Next we suppose that the external electric field is turned off at the moment of T . Under the conditions $z = ld$ and $t > T$ the mentioned above short-term effect of external electric field on the dipole moment of the l -th nanospheres of the nanochain takes the form (see [9]):

$$D_z(ld, t) = \frac{\varepsilon_h a^3 \omega_1^2}{\tilde{\omega}'_z(\pi)} \frac{2\Delta k}{\exp(t/\tau_0)} \times$$

$$\times \text{Im} \left[F_z(k_0, T) \frac{\sin \left(ld - t\Delta k \cdot \left. \frac{d\tilde{\omega}'_z}{dk} \right|_{\pi/d} \right)}{ld - t\Delta k \cdot \left. \frac{d\tilde{\omega}'_z}{dk} \right|_{\pi/d}} \right] \cdot [\exp(i\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t + ik_0 ld) + \exp(i\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t - ik_0 ld)], \quad (4)$$

here we have denoted: $k_0 = \Delta k = \pi/d$.

Results

From Eq. (4) we can see that the function is a wave packet: the last factor here is so-called a "rapidly-oscillating" function, and the factor in square brackets before is the amplitude of the changing with time dipole moment of the nanoparticle with index l .

This maximum of the amplitude can be achieved at the moment $t_l = ld/v_{gr,z}$, where

$$v_{gr,z} = \left(\left. \frac{d\tilde{\omega}'_z(kd)}{dk} \right|_{k=\pi/d} \right) = \frac{\tau_0 \omega'_z(kd)}{\sqrt{(\tau_0 \cdot \omega'_z(kd))^2 - 1}} \cdot \left. \frac{d\omega'_z(kd)}{dk} \right|_{k=\pi/d}$$

is the group velocity of the wave packet, at

which it moves along the nanochain.

The dipole moment $D_z(ld, t)$ of the particle with index l after termination of external influence, i.e. at $t > T$, has the following form:

$$D_z(ld, t) = \varepsilon_h \frac{a^3 \omega_1^2}{\tilde{\omega}'_z(\pi)} (-1)^l \cdot \frac{\sin(\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t)}{\exp(t/\tau_0)} \cdot \frac{\sin(\pi l - \pi \cdot v_{gr,z} t/d)}{\pi \cdot (l - v_{gr,z} t/d)} \cdot \int_0^T \exp(t_1/\tau_0) E_{0z}(0; 0; t_1) dt_1, \quad (5)$$

From the eq. (5) one can see that the dipole moment of the l -th nanoparticle reaches its maximum value at $t = t_l = ld/v_{gr,z}$, and the maximum value at this moment is directly proportional to the value of $\exp(-t_l/\tau_0)$. Hence the distance $L_z = v_{gr,z} \cdot \tau_0$, on which a signal can be transmitted along a linear array of nanoparticles, is about of $L_z \sim l \cdot d$.

Calculations of some characteristics of nanoscale waveguides were carried out *ab initio* within the RPA method and theoretical positions, published in [6, 10]. After Fourier transformation of Eq. (5) one can get the following relation for the longitudinal group velocity $v_{gr,z}$:

$$v_{gr,z} = \frac{2d \cdot \omega_1^2 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin(m \cdot kd)}{m} \cdot \left(\frac{\cos(m \cdot \omega_1 d / v_h)}{m} + \omega_1 d / v_h \cdot \sin(m \cdot \omega_1 d / v_h) \right)}{\left(\frac{d}{a} \right)^3 \cdot \sqrt{\omega_1^2 \cdot \left[1 - 4 \cdot \left(\frac{a}{d} \right)^3 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos(m \cdot kd)}{m^2} \cdot \left(\frac{\cos(m \cdot \omega_1 d / v_h)}{m} + \omega_1 d / v_h \cdot \sin(m \cdot \omega_1 d / v_h) \right) \right]} - \frac{1}{\tau_0^2}}$$

The results of calculations are presented in the Table 1.

The results of calculations of certain parameters of nanoscale waveguides ($T = 300$ K):

nanoparticle material	the signal group velocity $v_{gr,Z}$	the lifetime of the wave packet τ_0 , sec	the length of the signal propagation L_z , μm
Ag	$(0,1600 \pm 0,0002) \times c$	$2,42 \times 10^{-14}$	1,16
Au	$(0,1580 \pm 0,0002) \times c$	$2,14 \times 10^{-14}$	1,01
Cu	$(0,0480 \pm 0,0001) \times c$	$1,91 \times 10^{-14}$	0,27

Note #1: here c – the speed of light in vacuum. These characteristics of such excitations are in good agreement with the experimental data [11-13].

Note #2: for presented in the Table #1 calculations it was taken the following basic conditions: $a = 25$ nm; $d/a = 3$; temperature = 27 °C; dielectric medium is vacuum.

Summary

In this paper, the subject of the study was the spread of EM signal along a one-dimensional array composed of noble metal spherical nanoparticles. If external electric field source will be placed amongst such ensemble of nanoparticles, and one of the particles would be affected by a short pulse, then in this linear array the pulse will cause additionally arising of dipole waves with a frequency lower than the plasma one. As it was shown, under certain parameters of described nanoscale waveguides undamped dipole oscillations may occur in the form of a wave packet. The fact was confirmed experimentally [3, 6] and it can be used to transfer information over relatively large distances: $L_{chain} > 1 \mu\text{m}$, i.e. over the distances which exceed 200 periods of the nanoscale linear structure.

It was calculated the signal longitudinal group velocity $v_{gr,z}$ and the characteristic length of the signal propagation along the linear array of nanoparticles L_z , and at the same time good agreement between calculations and experimental results was achieved. The presented results clearly show that the longitudinal group velocity of EM signal propagation along Ag or Au nanochains much more (in ≈ 3.3 times more) than along Cu ones of the same parameters (see Table 1).

One can see the perspective use of the described nanoscale waveguides: 1) light energy conversion inside semiconductor photodiode systems with active nano-modified surface; and/or 2) transportation of EM energy and information within respective nano-optical devices.

References

- Huidobro P.A., Nesterov M.L., Martin-Moreno L.Garcia-Vidal F.J. "Transformation Optics for Plasmonics". Nano Lett. 2010, 10, pp. 1985–1990.
- Pitarke J.M., Silkin V.M., Chulkov E.V., Echenique P.M. "Theory of surface plasmons and surface-plasmon polaritons", Reports on Progress in Physics 2007, 70, pp. 1–87.
- S.A. Maier, P.G. Kik, H.A. Atwater, "Optical pulse propagation in metal nanoparticle chain waveguides", Phys. Rev. B 67 (2003) 205402.
- J. Jacak, J. Krasnyj, W. Jacak, R. Gonczarek, A. Chepok, L. Jacak, "Surface and volume plasmons in metallic nanospheres in a semiclassical RPA-type approach: Near-field coupling of surface plasmons with the semiconductor substrate", Phys. Rev. B 82 (2010), 035418 [14 pages].
- W. Jacak, J. Krasnyj, J. Jacak, R. Gonczarek, A. Chepok, L. Jacak, D.Z. Hu, D. Schaadt, "Radius dependent shift in surface plasmon frequency in large metallic nanospheres: Theory and experiment", J. Appl. Phys. 107 (2010), 124317.
- W. Jacak, J. Krasnyj, J. Jacak, A. Chepok, L. Jacak, W. Donderowicz, D.Z. Hu, D. Schaadt, "Undamped collective surface plasmon oscillations along metallic nanosphere chains", J. Appl. Phys. 108 (2010) 1.
- S.A. Maier, P.G. Kik, H.A. Atwater, "Optical pulse propagation in metal nanoparticle chain waveguides", Phys. Rev. B 67 (2003) 205402.
- S.A. Maier, H.A. Atwater, "Plasmonics: Localization and guiding of electromagnetic energy in metal/dielectric structures", J. Appl. Phys. 98 (2005) 011101.
- Jacak W.A.; Krasnyj J.; Chepok A. "Plasmon-polariton Properties in Metallic Nanosphere Chains", Materials, v. 8, pp. 3910-3937 (2015). – <http://www.mdpi.com/1996-1944/8/7/3910>.
- L. Jacak, Y.P. Krasny, A.O. Chepok, "On plasmon oscillations in metal nanoparticles", Low Temperature Physics 35, 383 (2009).
- S.A. Maier, M.L. Brongersma, P.G. Kik, H.A. Atwater, "Observation of near-field coupling in metal nanoparticle chains using far-field polarization spectroscopy", Phys. Rev. B 65 (2002) 1098-0121.
- S.A. Maier, H.A. Atwater, "Plasmonics: Localization and guiding of electromagnetic energy in metal/dielectric structures", J. Appl. Phys. 98 (2005) 011101.
- D.M. Schaadt, B. Feng, E.T. Yu, "Enhanced semiconductor optical absorption via surface plasmon excitation in metal nanoparticles", Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 063106.

Рецензія/Peer review : 9.9.2015 р. Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

V.F. TIMKOV

The Office of National Security and Defense Council of Ukraine

G.D. BRATCHENKO

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

V.A. ZHUKOV

Research and Production Enterprise "TZHK"

IMPROVING THE QUALITY OF DECISION MAKING, IN THE STATISTICAL RECOGNITION SYSTEM BASED ON A COMPREHENSIVE CONSIDERATION IN THEIR DECISIVE RULES, ALL THE INFORMATION FROM THE MATRIX OF THE PROBABILITY OF RECOGNIZING THE OBJECT'S CLASS AND THE DEGREE OF INFORMATIVITY OF SIGNS

Annotation – In the vast majority of the existing statistical systems of recognition, decisions are made based on the probability of correct recognition of object classes, and the probability of their mixing up is not taken into account or taken into account not comprehensively, partially or indirectly.

To recognize the object classes it is offered options of integrating recording of all the information that is contained in the matrix of conditional probabilities of recognition.

Keywords: statistical recognition, detection probability matrix, the probability distribution function, informativity of signs, rules for decision-making, the weighting coefficient.

В.Ф. ТИМКОВ

Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины

Г. Д. БРАТЧЕНКО

Одесская государственная академия технического регулирования и качества

В.А. ЖУКОВ

Научно-производственное предприятие «ТЖК»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СТАТИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО УЧЕТА В ИХ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛАХ ВСЕЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ МАТРИЦЫ ВЕРОЯТНОСТЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ ОБЪЕКТОВ И СТЕПЕНИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ

В подавляющем большинстве существующих статистических систем распознавания решения принимаются на основе вероятности правильного распознавания классов объектов, а вероятности их перепутывания не учитываются, или учитываются не комплексно, частично или косвенно.

Для распознавания классов объектов предлагаются варианты комплексного учета всей информации, которая содержится в матрице условных вероятностей распознавания.

Ключевые слова: статистическое распознавание, матрица вероятностей распознавания, функции распределения вероятностей, информативность признаков, правила принятия решений, весовые коэффициенты.

1. Introduction

At the initial stage of designing a statistical system of object recognition it is necessary to select and optimize: the composition of the classes of objects for recognition, the composition and structure attributes of recognition, the rules for decision-making [1,2].

The decision about a class object in a statistical pattern recognition is based on well-known (for example, learning results) probability distribution functions of characteristic values [2], and its quality depends on the completeness of the information used in decision-making algorithms.

In the process of recognition on the basis of received (measured) values of the characters and their distribution functions, matrix of conditional probabilities of detection is constructed. On the main diagonals of the matrix there are the probabilities of correct recognition of object classes, and other elements - are the probability of mixing up of object classes.

2. The comprehensive record of all the information from the matrix of conditional probabilities of detection

We believe that for recognizing selected set $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, consisting of the n classes of objects a_i , where $i = 1, 2, \dots, n$. Let's use, for identifying classes of objects, k attributes, which have different physical nature, and recognition of object classes is based on the received in the learning process of recognition system statistical characteristics of selected features, for example, the probability distribution function of attribute values or the probability density function of characteristic values upon which it is determined the probability of correct recognition and the likelihood of mixing up of object classes. Namely, recognition of object classes consists of k measuring channels. Each channel has n outputs, each output corresponds to one of the n classes of recognized objects. With such statistical method of object recognition based on a variety signs which have different physical nature, for the decision to classify them it is convenient to use statistical collective voting rules [1,2]. Among these rules the most common is the rule of simple vote when in the final rules of the system of recognition all voting signs

have a weight equal to unity, and the rule of weighted voting, which takes into account additional information about recognized object, such as the degree of informativity of signs, and the voices of features have weight coefficients which differ from unity.

We denote the probabilities in the matrix of conditional probabilities of recognition:

P_{ii} - probability of correct recognition of the object of i -class, $i = 1, 2, \dots, n$;

P_{it} - probability of mixing up of objects i -th and t -th classes, $i, t = 1, 2, \dots, n$; $i \neq t$.

The integration of all the information which is contained in a matrix of probability of recognition can be carried out if the process of recognition of object classes with each sign is presented as a model, based on the solution of a system of n linear equations, in which the known values are the set values of free members, and the probability of correct recognition and the mixing up from the probability matrix recognition, and unknown quantities are some hypothetical information flows, which are essentially informativity of signs for each class of objects. Such model is convenient to present and implement in the form of informational and electrical scheme. Then, at the output of all measurement channels k we construct informational and electrical schemes, consisting of n outlines, each element of which is the probability of correct recognition and the likelihood of mixing up of object classes of A . In each contour hypothetical thread I_{ii} , $i = 1, 2, \dots, n$ -th proceeds with informativeness of m , $m = 1, 2, \dots, k$ and operates external sign, such as the unit (by virtue of equally signs) E.M.F. E_i , $i = 1, 2, \dots, n$. If you know the degree of informativity of signs, the numerical values of the external E.M.F. may be different from unity. The direction of action of an external E.M.F. in each outline is opposite to the thread direction of informativeness. It is connected to the fact that each external E.M.F. is equal to sum of the product of probability of correct recognition and the probability of mixing up of object classes to the relevant threads of informativity of plurality \bar{A} , which is the complement of A to the complete set U , i.e.: $U = A \cup \bar{A}$. In other words, for example, if A - is a set of selected for detecting Air objects, \bar{A} - is a set of all the rest "that flies."

Let's for each m -th, $m = 1, 2, \dots, k$ characteristic (assuming that such reasoning is valid for all signs, the upper index m further drop) call the product $P_{ii}I_{ii}$ as potential of correct recognition of the object of i -Class, and the product $P_{it}I_{it}$ as potential of mixing up of objects i -th and t -th classes where $i, t = 1, 2, \dots, n$; $i \neq t$. Moreover, the information thread I_{it} equals the difference between information flows in adjacent contours i and t , i.e.: $I_{it} = I_{ii} - I_{tt}$.

Let's by analogy to electrical circuits call $P_{ii}I_{ii}$ as capacity of correct recognition of object i -th class using the m -th, $m = 1, 2, \dots, k$ sign and $P_{it}I_{it}$ as power of mixing up of objects i -th and t -th classes, $i, t = 1, 2, \dots, n$; $i \neq t$ by using the m -th, $m = 1, 2, \dots, k$ characteristic.

For informational-electrical scheme, and existing in this scheme informational thread, in analogy to electric scheme, Kirchhoff's laws are valid:

1. The algebraic sum of informational threads converging at any nodes of informational and electrical scheme is equal to zero:

$$\sum_{i=1}^n I_{ii} = 0;$$

2. The algebraic sum of the potentials of recognition and mixing up in any closed contour of informational and electrical scheme is the algebraic sum of the EMF acting in the outline, and in their absence is equal to zero:

$$P_{ii}I_{ii} + \sum_{\substack{i,t=1 \\ i \neq t}}^n P_{it}I_{it} = \sum_{r=1}^b E_r = E_i,$$

where b is the amount of E.M.F. in each of the contours, and r is current value of b .

Let's set up a system of equations of informational equilibrium of constructed scheme:

$$\left. \begin{aligned} P_{11}I_{11} + P_{12}I_{22} + \dots + P_{1n}I_{nn} &= E_1 \\ P_{21}I_{11} + P_{22}I_{22} + \dots + P_{2n}I_{nn} &= E_2 \\ \dots & \\ P_{n1}I_{11} + P_{n2}I_{22} + \dots + P_{nn}I_{nn} &= E_n \end{aligned} \right\}$$

Solutions for this system (for example, by Cramer's rule) are of the form:

$$I_{ii} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix},$$

where the i -th column of the matrix system is replaced by a column free members, and Δ - is the main determinant of the matrix system.

The decision on the recognition shall be awarded to a class of objects which potential or the capacity of

correct recognition is the highest, i.e.:

$$d = \underset{ii}{\operatorname{argmax}} P_{ii} I_{ii}, \text{ or } d = \underset{ii}{\operatorname{argmax}} P_{ii} I_{ii}^2.$$

Information thread I_{ii} is actually informativeness signs. This thread takes into account the composition of the whole structure of the matrix of conditional probabilities of recognition, which greatly increases recognition quality. Especially it concerns the situation, where a number of the class of n recognized objects is growing, and probability of their correct recognition are significantly close to each other.

Besides taking into account the probability of mixing up of object classes, further improvement of quality of recognition can be achieved by eliminating use in the system of recognition the rule of simple voting and take a decision there on the basis of weighted voting rules. During the operation of the recognition system it will be determined the degree of informativeness of signs. Further, on the basis of informativity of signs, it can be found weights coefficients of the rules of weighted voting.

3. Methods of redistributing the weight coefficients for weighted voting rule

Along with the proposed, it is also possible other easier way to record a priori information stored in a

matrix of conditional probabilities of recognition $\|P_{mit}\|$, for recognition system with k measuring channels, $m = 1, 2, \dots, k$. We believe that each measuring channel based on measurement of unique value of each feature for known priori probabilities of the emergence of the i -th object class using the Bayesian formula can be obtained in the form of column vector of estimates of posterior probabilities of hypotheses:

$$\mathbf{H}_m(n) = (hm1 \ hm2 \ hm3 \ \dots \ hmn)^T \text{ m about belonging to one of the object classes } i = 1, 2, \dots, n. \text{ For}$$

taking into account priori information, stored in the k matrices $\mathbf{P}_m(n, n) = \|P_{mit}\|$, generally, different for each m -th information channel, and reallocation of weight coefficients for weighted voting rule, it is proposed to modify the weights of these channels by multiplying their weighting coefficients on the vectors $\mathbf{P}_m(n, n) \mathbf{H}_m(n) = \mathbf{H}'_m(n)$.

Obtained m vectors $\mathbf{H}'_m(n)$ below can also be used as signs in algorithms of rules of simple or weighted voting.

Conclusions

The suggested method of detection is based not only on the probabilities of correct recognition of object classes, and their likelihood of mixing up and degree of informativeness of signs, and presentation of informativeness in the form of informational thread makes it possible to produce a process of recognition, based on the classical analysis of electrical circuits. Presenting probabilities of correct recognition, and the mixing up in the form of nonlinear functions that depend, for example, on observing conditions of object classes, we obtain the nonlinear electronic circuits and, accordingly, the nonlinear system of equations of informational balance.

We also considered an easier way of adjusting the posterior probabilities of hypotheses, considering a matrix of conditional probabilities of recognition.

References

1. Barabash Y.L., Collective statistical solutions for recognition, M.: Radio and Communications, 1983. - 220 p., in Russian.
2. Gorelik A.L., Barabash Y.L., Krivosheyev O.V., Epstein S.S., Selection and recognition based on radar information M.: Radio and Communications, 1990. - 240p., in Russian.

Литература

1. Барабаш Ю.Л., Коллективные статистические решения при распознавании, – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
2. Горелик А.Л., Барабаш Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С., Селекция и распознавание на основе локационной информации, - М.: Радио и связь, 1990.- 240 стр.

Рецензія/Peer review : 22.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

НОВА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦІЙ

Розглянуто розрахунки датчика деформацій за наступною методикою. Для вимірювання деформацій використовуються малопродуктивні методи та способи вимірювань. Аналіз літератури та експериментальних досліджень засобів вимірювання показує, що відомі засоби і методи вимірювання не задовольняють сучасним вимогам точності та швидкодії вимірювань.

Ключові слова: датчик деформацій, чутливість, похибка, прилад для вимірювання деформацій.

V.P. KVASNIKOV

National Aviation University

T.I. GANEVA

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

NEW METHOD OF CALCULATION OF THE STRAIN SENSOR

The strain sensor calculations are considered according to the following methodology. For measuring the strain used are underproductive methods and ways of measurement. Analysis and experimental research of measurement shows that known tools and methods of measurement do not meet modern requirements of accuracy and performance measurements.

Keywords: strain sensor, sensibility, accuracy, the device for measurement of strain

Вступ

Вимірювання деформацій і механічних напружень широко застосовується при дослідженні фізичних властивостей матеріалів, міцністю випробуваннях різних деталей, машин, конструкцій транспортних засобів. Вимірювання деформацій використовують при технічній діагностиці, а також при вимірюванні фізичних величин, які перетворюються в деформацію пружного елемента. У більшості методів вимірювання механічних напружень датчиком сприймається абсолютне або відносне значення деформації, оскільки природною вхідною величиною застосовуваних при цьому перетворювачів є переміщення. Безпосередньо вимірювати механічні напруження можна термопружним, магнітопружним, ультразвуковим і фотопружним методами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати досліджень Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л.М. Лобанов [1], Е.П. Осадчий, А.И. Тихонов, В.И. Карпов [2], Л.С. Ильинская, А.Н.Подмарьков [3] присвячені дослідженню деформації і напруження в матеріалах, деталях машин і елементах конструкцій, а також розглянуті методи механічних випробувань матеріалів і обробки даних, а також проєктування датчиків для вимірювання механічних величин електричними методами оцінки похибок і надійності датчиків.

Постановка задачі

Метою даної статті є розробка вимірювальних методів та засобів, які здатні забезпечувати високу точність і швидкодію в умовах вимірювання деформації у складних технічних системах.

Основна частина

Відомо, що чутливість пружних елементів може змінюватися в широких межах через зміну конструктивних коефіцієнтів чутливості. Кожному фіксованому значенню конструктивного коефіцієнта чутливості відповідає своє значення чутливості пружного елемента. Значення ж конструктивного коефіцієнта чутливості визначається не тільки типом пружного елемента, але й тим, яка зона деформацій обрана в якості робочої, яка частина зони використовується в роботі, у якому місці пружного елемента вона розташована. Тому для визначеності доцільно конструктивний коефіцієнт чутливості вибирати рівним максимальному значенню його для відповідної зони. Це доцільно ще й тому, що при розрахунках простіше визначити максимальні значення напруження, які, визначають значення конструктивного коефіцієнта чутливості. Для ряду конструкцій пружних елементів (стержень, балка рівного опору, циліндрична оболонка, напівсферична оболонка) значення конструктивного коефіцієнта не залежить від координати перетину [1].

Враховуючи те, що вибір експериментальних методів і засобів дослідження деформацій і напружень у зв'язку із завданнями розрахунку на міцність залежить від особливостей поставленої задачі та її складності, умов вимірювання, необхідної точності, термінів отримання рішення. Отже, відносна ефективність кожного з розглянутих методів не може бути визначена для загального випадку, тому що залежить від різних умов, у тому числі від наявних засобів вимірювання і досвіду експериментатора (Таблиця 1).

Оскільки, розгляд методів і засобів дослідження деформацій і напружень не може бути обмежено оцінкою особливостей, характеристик і способів застосування кожного з них, так як при проведенні досліджень, особливо складних завдань, виникає необхідність оптимального поєднання експериментальних і розрахункових методів. Таким чином, дослідження проводять у двох напрямках: вивчення деформацій і напружень (розрахунки, визначення вимог до методів і засобів вимірювань, аналіз результатів вимірювань); розробка і застосування засобів вимірювань, що задовольняють поставленим вимогам. У зв'язку з цим при виборі методів дослідження (розрахунок, експеримент або їх поєднання) враховують їх можливості та обмеження, перевага має більш економічний метод, що дає необхідну точність з меншими спрощеннями вихідних даних з геометрії, навантажень, властивостям матеріалів. Різні методи можуть застосовуватися на різних етапах дослідження, дублюватися з метою їх взаємної відпрацювання та перевірки [6].

Розглянемо приклади комплексного використання експериментальних методів.

1. Вивчення процесів деформування і руйнування матеріалів в зразках і деталях, що проводиться шляхом вимірювання деформацій за допомогою приладів тензометричного типу, вимірювально-інформаційних систем і реєстрацій полів пружно-пластичних деформацій; визначають розрахункові характеристики міцності. Одержувані результати складають основу інженерних розрахунків на міцність.

2. Дослідження на тензометричних моделях з полімерного матеріалу, як найбільш зручний і простий метод визначення напружень, переміщень і сил при заданих навантаженнях в складних конструкціях, коли чисельний метод з яких-небудь причин не застосовується. При малих навантаженнях забезпечується відсутність спотворень форми, умов контакту в сполученнях і створюються деформації, зручні для вимірювань.

3. Визначення деформацій та напружень експериментальними методами в поєднанні з чисельним розрахунком в процесі проектування, виготовлення і пуску обладнання. На стадії проектування для вибору оптимального варіанту конструкцій і обґрунтування проекту застосовують тензометричні моделі з матеріалу з низьким модулем пружності і моделі поляризаційно-оптичного методу з визначенням силових і температурних напружень і переміщень; на тензометричних металевих моделях з відтворенням режимів роботи конструкцій перевіряють надійність вузлів ущільнення і оцінюють температурні напруження в залежності від режимів розігріву і розхолодження.

Таблиця 1

Величини, що визначаються при вимірюванні деформацій

Величини, що визначаються	Методи та умови вимірювань
Діючі навантаження, зусилля, напруження, переміщення в деталях машин і конструкціях залежно від експлуатаційних режимів роботи машини	Тензометрія, реєстрація сил, тисків, вібрацій і переміщень (переважно електричними методами). При випробуваннях в умовах експлуатації машин і конструкцій і з застосуванням фізичного моделювання
Напруження і переміщення в окремих місцях деталей машин і конструкцій (при відомих навантаженнях)	Вимірювання на моделях, тензометрія і застосування тензочувливих покриттів і індикаторів переміщень на натурних конструкціях. При лабораторних та стендових випробуваннях, в умовах експлуатації
Концентрація і розподіл напружень; вибір оптимальної форми деталі і конструкції за умовами міцності	Тензометрія на моделях і натурних деталях і конструкціях, тензочувливості покриття, поляризаційно-оптичний метод із застосуванням моделей
Залишкові зональні напруження (технологічні, монтажні)	Тензометрія і вимірювання переміщень з розрізанням деталі; рентгенотензометрія без розрізання деталі. В умовах лабораторних та стендових випробувань обладнання
Жорсткість деталей і вузлів машин, оцінка стану конструкції після монтажу	Тензометрія і вимірювання переміщень на моделях в лабораторних умовах і на натурних конструкціях при стендових та експлуатаційних випробуваннях, при статичній та динамічній навантаженні
Характеристики міцності матеріалів, вузлів машин і конструкцій при різних умовах їх роботи; вивчення механіки деформування і руйнування	Тензометрія, методи вимірювання полів деформації і вимірювання переміщень при різних умовах випробувань (по швидкості деформування, температурі, тривалості, повторності навантаження)

Отже, за конструктивний коефіцієнт чутливості приймемо максимальне його значення для даної зони деформацій. Для характеристики ж зміни цього коефіцієнта залежно від значення використовуваної в роботі зони деформацій і положення її на пружному елементі введемо коефіцієнт використання деформації.

Тоді функція перетворення «деформація — відносна зміна опори» може бути представлена в наступному виді

$$e_R = CSe, \quad (1)$$

де e_R – відносна зміна опору тензорезистора;

e – відносна деформація зони пружного елемента;

S – коефіцієнт тензочутливості;

C – коефіцієнт використання деформації.

Необхідно зауважити, що коефіцієнт використання деформації показує, яка частка максимальних деформацій зони використовується надалі в перетворенні. Оскільки використовується в роботі деформація прямо пропорційна чутливості (конструктивному коефіцієнту), тоді коефіцієнт використання деформації може бути розраховано, як відношення середніх чутливостей (середніх коефіцієнтів чутливості) до максимальної чутливості (максимальному конструктивному коефіцієнту)

$$C = e_{cp} / e_{max} = S_{cp} / S_{max} = B_{cp} / B_{max}, \quad (2)$$

де e, S, B – використовується в роботі (робоча) відносна деформація, чутливість і конструктивний коефіцієнт пружного елемента, відповідні до робочої деформації;

$e_{max}, S_{max}, B_{max}$ – максимальні деформація, чутливість і конструктивний коефіцієнт розглянутої зони деформацій пружного елемента [1, 2].

Крім того, еквівалентний коефіцієнт деформацій є середнім значенням середніх конструктивних коефіцієнтів зон деформацій, використовуваних під установку тензорезисторів

$$C = \frac{B_{1cp} + B_{2cp} + \dots + B_{ncp}}{n}, \quad (3)$$

де $B_{1cp} + B_{2cp} + \dots + B_{ncp}$ – середні конструктивні коефіцієнти зон деформацій пружного елемента;

n – число використовуваних у роботі пружних елементів зон.

Таким чином, як випливає з вираження $e_{Rz} = nC_Z S e$, значення еквівалентного коефіцієнта деформації характеризує ефективність перетворення деформації пружним елементом. Найбільша ефективність перетворення виходить у того елемента, у якого величина C_Z більше. Із цього погляду найбільш ефективною конструкцією є балка рівного опору вигину, затиснена одним кінцем, найменш ефективною — мембрана. Тому при проектуванні датчиків, коли мова йде про вибір пружного елемента або вибір зони деформацій, розрахунки еквівалентного коефіцієнта деформації є необхідним [2].

Структурна схема датчика деформацій може бути представлено двома послідовно з'єднаними вимірювальними перетворювачами: тензорезистором і вимірювальним ланцюгом (рис. 1).

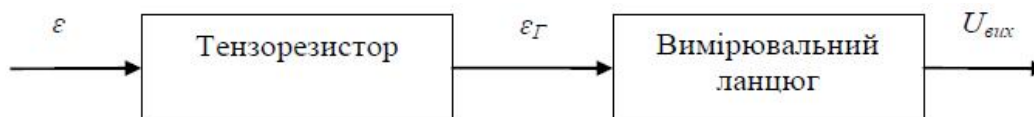


Рис.1. Структурна схема тензорезисторного датчика деформацій

Отже, основними характеристиками цих перетворювачів є чутливість. Чутливість тензорезистора (коефіцієнт тензочутливості) завжди більше одиниці й визначається властивостями матеріалу тензорезистора й здатністю його при деформуванні змінювати геометричні розміри (довжину й перетин) і питомий опір. Його значення можна визначити

$$S = (1 + 2m) + m, \quad (4)$$

де m – коефіцієнт Пуассона;

m – відносна зміна питомого опору, викликана дією відносної деформації рівна 1 [2, 3].

Похибка результату вимірювання обумовлюється багатьма характеристиками вимірювального процесу, в тому числі і похибкою засобів вимірювання. До числа факторів, що викликають похибку вимірювання, крім похибки самих засобів вимірювання, відносяться: похибки методу вимірювання, властивості каналів зв'язку, зміна властивостей об'єкта дослідження внаслідок установки на нього перетворювачів, що обумовлює відміну значення вимірюваної величини, яка впливає на вхід перетворювача, від значення, що підлягає визначенню при вимірюванні; суб'єктивні похибки, що вносяться оператором.

Похибка засобу вимірювання відображає тільки певні властивості самого засобу і обумовлюється структурними, конструктивними або схемними особливостями засобів, властивостями використаних в них матеріалів та елементів, особливостями технології виготовлення, регулювання та градування.

До основних характеристик і показників засобів електротензометрії відносяться наступні.

Статичні характеристики: коефіцієнт перетворення перетворювачів і чутливість приладів, номінальні статичні характеристики перетворювачів, градувальні характеристики приладів, вихідний код, кількість розрядів коду у цифрових приладів, діапазони показань і вимірювань, поріг реагування та статичні похибки.

Динамічні характеристики: частотний діапазон вимірювань і частотні характеристики (амплітудно-частотна, фазочастотна) або перехідна (у тензометричних засобів для дослідження імпульсних процесів) і

допустимі відхилення від них, а також час встановлення показів.

Похибка датчика деформацій визначається похибкою тензорезистора й похибкою вимірювального ланцюга. У похибку тензорезистора входять наступні складові: повзучість, нестабільність, гістерезис, нелінійність, температурні похибки нуля й чутливості, похибка від розкиду коефіцієнта тензочутливості (тільки для неградуйованих тензорезисторів). Основна похибка тензорезистора δ_T звичайно лежить у межах $(0,5 \div 5)\%$ і залежить від типу тензорезистора й умов експлуатації. Основна похибка вимірювального ланцюга може бути значно менше й обумовлена в основному стабільністю й точністю напруги живлення й елементів вимірювального ланцюга. Якщо її позначити через $d_{Ц}$, то формулу для розрахунків основної похибки датчика деформацій можна представити

$$d = \sqrt{d_T^2 + d_{Ц}^2}. \quad (5)$$

Розрахунки датчика деформацій може бути проведений за наступною методикою:

По заданій у технічному завданні номінальній деформації $e_{ном}$ і номінальному вихідному сигналу $U_{вих}$ визначають номінальну чутливість датчика деформацій

$$S_{д ном} = U_{вих} / e_{ном}. \quad (6)$$

Для датчика механічних напружень

$$\varepsilon_{ном} = \sigma_{ном} / E, \quad (7)$$

де $\sigma_{ном}$ – номінальне механічне напруження;

E – модуль пружності матеріалу об'єкта вимірювання.

1. Відповідно до вимог технічного завдання вибирають схему вимірювального ланцюга.
2. По номінальній чутливості датчика й заданій напрузі живлення виконують розрахунки коефіцієнта тензочутливості, використовуючи співвідношення

$$S_{д} = U \frac{knC_Z S}{(k+1)^2}. \quad (8)$$

3. За значенням коефіцієнта тензочутливості з урахуванням вимог технічного завдання вибирають тип тензорезистора.

4. Вибирають перетин тензочутливого матеріалу й припустимий струм живлення.

5. По заданій напрузі живлення й припустимому струму розраховують опір тензорезистора й за схемою вимірювального ланцюга вхідний і вихідний опір датчика.

6. По формулі $W = \frac{nt + \sqrt{n^2 t^2 + 4ntl}}{4nt}$ [1] розраховують число витків тензорезистора й визначають геометричні розміри тензорезистора.

7. Якщо буде потреба виконують розрахунки компенсаційних опорів.

8. Визначають фактичний номінальний вихідний сигнал й фактичну чутливість датчика. Якщо буде потреба (для цілей уніфікації вихідного сигналу) змінюють напругу живлення датчика або вводять у ланцюг живлення додатковий опір.

9. Калібрований опір R_K розраховують по формулі $R_K = (R + 2R_{д}) / nC_Z S e$.

10. Визначають основну похибку датчика.

Фактична чутливість датчика (калібрований опір), основна похибка, напруга живлення, вхідний і вихідний опору датчика є основними вихідними характеристиками датчика деформацій [4, 5].

На рисунку 2 приведена типова структурна схема одного каналу приладу для вимірювання деформації. Вимірювальний міст живиться змінною напруження від генератора несучої частоти. Модульований сигнал несучої частоти з вимірювальної діагоналі моста потрапляє на вхід підсилювача. Посилений сигнал демодулюється фазочутливим демодулятором і через фільтр поступає на цифрове табло. Підсилювач і генератор несучої частоти живиться від блока живлення. Для перевірки чутливості служить блок визначення чутливості, який в деяких приладах здійснюється автоматично, а для попереднього врівноваження моста - пристрій. Для одночасного визначення деформації в багатьох точках тензостанції виконуються багатоканальними.



Рис. 2. Структурна схема каналу вимірювача деформації

Висновки

В даній статті запропонована методика розрахунку датчика деформації, проведено аналіз приладу для вимірювання деформації. Динамічні властивості датчиків деформації визначаються динамічними властивостями об'єкта вимірювання. Верхня гранична частота вимірювання деформацій досягає 100 кГц. Амплітудний діапазон датчиків деформації визначається межею міцності тензочутливого матеріалу й становить для дротових тензорезисторів на паперовій основі, а також плівкових і фольгових тензорезисторів від 0,005% ÷ 0,02% до 1,5% ÷ 2%.

Література

1. Касаткин Б. С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов // Справочное пособие. – К.: Наукова думка, 1981. – 584 с.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин / [Осадчий Е. П., Тихонов А. И., Карпов В. И.]; под ред. Е. П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
3. Ильинская Л. С. Полупроводниковые тензодатчики / Л. С. Ильинская, А. Н. Подмарьков // Библиотека по автоматике. – М. - Л.: Изд-во «Энергия», 1966. – Вып. 189.
4. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Аш Ж. [пер. с франц.]. – М.: Мир, 1992. – 480 с.
5. Левина Е. С. Измерительные преобразователи / Е. С. Левина, П. В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1980.
6. Пригоровский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник. — М.: Машиностроение, 1983. —248 с., ил. (Основы проектирования машин.)

References

1. Kasatkin B. S. E'ksperimental'ny'e metody issledovaniya deformacij i napryazhenij / B. S. Kasatkin, A. B. Kudrin, L. M. Lobanov // Spravochnoe posobie. – K.: Naukova dumka, 1981. – 584 s.
2. Proektirovanie datchikov dlya izmereniya mehanicheskix velichin / [Osadchij E. P., Tichonov A. Y., Karpov V. Y.]; pod red. E. P. Osadchego. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 480 s.
3. Il'inskaya L. S. Poluprovodnikovye tenzodatchiki / L. S. Il'inskaya, A. N. Podmar'kov // Biblioteka po avtomatike. – M. - L.: Izd-vo «E'nergiya», 1966. – Vy`p. 189.
4. Ash Zh. Datchiki izmeritel'ny'ch sistem / Ash Zh. [per. s francz.]. – M.: Mir, 1992. – 480 s.
5. Levina E. S. Izmeritel'ny'e preobrazovateli / E. S. Levina, P. V. Noviczkiy. – L.: Energoatomizdat, 1980.
6. Prigorovskij N. Y. Metody i sredstva opredeleniya polej deformacij i napryazhenij: Spravochnik. — M.: Mashinostroenie, 1983. —248 s., il. (Osnovy` proektirovaniya mashy'n.)

Рецензія/Peer review : 16.11.2014 р.

Надрукована/Printed :28.10.2015 р.

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Це електрохімічний пристрій в результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію. Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм. Метою цієї роботи є дослідження можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів як джерела живлення для радіоелектронних пристроїв.

Ключові слова: паливний елемент; електролізер; оборотний осередок електролізу і паливних елементів; камера спалювання.

M.F. BOGOMOLOV

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

F.F. TROTS, V.L. GONCHARUK

Open International University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL POWER SOURCE FOR ELECTRONIC

Fuel cells belong to chemical current sources. This electrochemical device as a result of highly effective "cold" combustion of fuel directly generates electricity. Electrolysis is due to the DC power supplied and the energy released during chemical reactions at the electrode. Thus, electrolysis able to proceed only in environments that conduct electricity. The aim of this work is to study the possibility of establishing a highly efficient working cell based on available technology electrolysis and fuel cells as a power source for electronic devices.

Keywords: fuel cell; electrolysis; reversible cell electrolysis and fuel cells; combustion chamber.

Вступ

В статті показано дослідження з проблеми отримання самодостатнього джерела живлення електричної енергії при здійсненні високотемпературного електролізу водяної пари при взаємодії системи з повітряною атмосферою. При цьому побічними продуктами процесу є спонтанне виділення в навколишнє середовище молекулярного кисню і водню. Процес є можливим за рахунок різниці концентрацій кисню і водню в парах води і вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є незворотній і достатній для потреб живлення електронних пристроїв різного ступеня складності. Тому при створенні енергетично позитивних процесів утилізації можна мати додаткові об'єми концентрованого кисню і водню.

Вихідні передумови

На даний час електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються [1] найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги й зменшення розміру системи [2] і в якійсь мірі її вартості.

Для цієї цілі можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди [3], так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів [2]. Принцип дії таких систем показаний на Рис. 2.

Слід підкреслити, що, хоча каталітична активність платини і металів платинової групи в системах з ТПЕ достатня для їх використання як для виділення водню і кисню в процесі електролізу. Але для окислення та відновлення в процесі генерації струму в паливному елементі, виникає низка проблем [1, 2, 3], в тому числі водного «менеджменту», обумовленого гідрофобно-гідрофільними характеристиками електродів [2]. Стаття присвячена розробці електрохімічного елемента: електролізер-паливного елемента самодостатнього замкненого циклу, з характеристиками електричної напруги і електричного струму, придатного для живлення широкого спектру радіоелектронних пристроїв.

Мета

Метою цієї роботи є дослідження можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів з характеристиками електричної напруги і електричного струму, придатних для живлення широкого спектру радіоелектронних пристроїв радіоелектронної індустрії.

Вирішення поставленої задачі

Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Вони здійснюють пряме перетворення енергії палива в електрику минаючи малоєфективні, що йдуть з великими втратами, процеси горіння. Це електрохімічний пристрій високоефективного «холодного» горіння палива для безпосереднього вироблення

електроенергії.

Електрична енергія, що виробляється такими пристроями є екологічно чистою і по своїх електричних характеристиках задовольняє вимогам, що висуваються до джерел живлення радіоелектронної індустрії.

Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм.

Енергія при електролізі витрачається на підвищення гіббсової енергії системи в процесі утворення цільових продуктів і частково розсіюється у вигляді теплоти при подоланні опорів в електролізері та інших ділянках електричного кола. Досліджуючи продукти, що виділяються в електроді, при електролізі кислот, основ і солей, встановили, що у катодів завжди виділяються метали та водень, а у анода кислотні залишки або гідроксильні групи, які потім піддаються подальшим змінам.

Розглянемо більш детально процеси, що протікають при електролізі. Відомо, що існують провідники першого роду, де електрика переноситься за допомогою електронів, і провідники другого роду, коли електрика переноситься іонами. Електрони вступають у взаємодію з іонами в місцях електричного ланцюга, де провідник першого роду межує з провідником другого роду. Таким чином, відбуваються електрохімічні процеси.

Електрохімічні процеси, що протікають у електродах при електролізі, перш за все, будуть залежні від співвідношення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. З кількох можливих процесів буде протікати той, здійснення якого пов'язане з мінімальною втратою енергії [4].

Якщо балон з чистим киснем з'єднати через кисневу твердо електролітну систему (ТЕО2) з балоном H_2O (пара), то виникне потенціал згідно рівнянню Нернста [4]:

$$E_{O_2} = kT \ln \frac{100\%_{O_2}}{30\%_{O_2}}, \quad (1)$$

З зарядом клем (Рис.1)

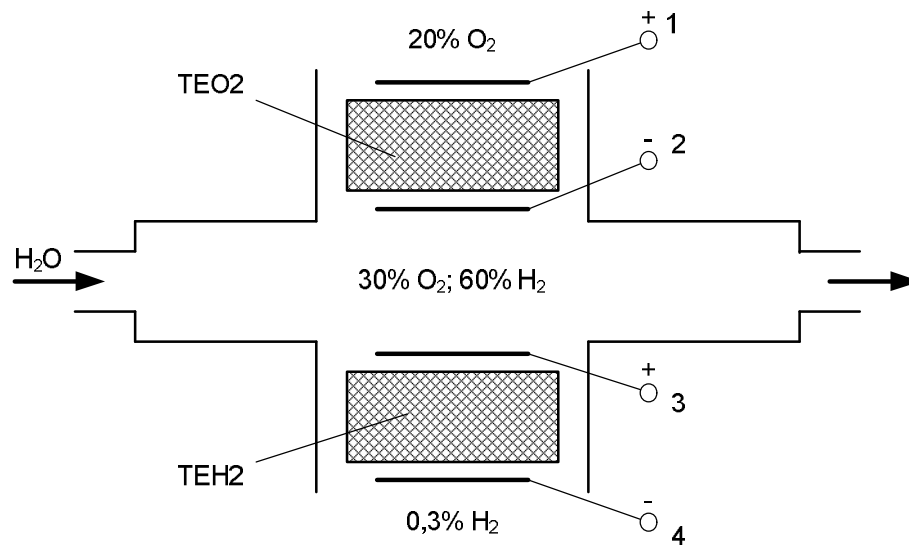


Рис. 1. Схема паливного елемента

З іншої сторони, з'єднуємо балон чистого водню через твердо електролітну водневу систему (ТЕН2) з балоном того ж H_2O (пара), то отримаємо потенціал згідно рівнянню Нернста:

$$E_{H_2} = kT \ln \frac{100\%_{H_2}}{60\%_{H_2}}. \quad (2)$$

Потенціали E_{O_2} і E_{H_2} - різнополюсові. При підключенні клемми 1 до клемми 4, а клемму 2 до клемми 3, електричне коло замкнеться зі сталим струмом. При цьому із балонів водню і кисню буде відкачуватись, відповідно, водень і кисень в середовище водяної пари.

Якщо схему (Рис. 1.) з'єднати з повітрям, то через ТЕО2 із середовища водяної пари в повітря буде відкачуватись кисень, а через систему ТЕН2 в повітря буде відкачуватись водень. При цьому відповідні розрахунки потенціалів електродів мають вигляд:

$$E = j_1 - j_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (3)$$

де E - напруга Нернста (В); j_1, j_2 - потенціали електродів 1 і 2 (В); R - газова стала (8,31Дж/(моль*К)); T - температура ($^{\circ}\text{K}$); n - кількість електронів, що йде на іонізацію однієї молекули; F - постійна Фарадея ($F = 9,65 \times 10^4$ (Кул·моль $^{-1}$)); C_1, C_2 - концентрації вимірювального газу, відповідно, на 1 і 2 електродах.

Тоді:

Електрод 1:

$$j_1 = \frac{RT}{4F} \ln 20 = 0,0644(\text{В});$$

Електрод 2:

$$j_2 = \frac{RT}{4F} \ln 30 = 0,0731(\text{В});$$

Електрод 3:

$$j_3 = \frac{RT}{2F} \ln 60 = 0,1765(\text{В});$$

Електрод 4:

$$j_4 = \frac{RT}{2F} \ln 0,3 = -0,0519(\text{В}).$$

Тоді різниця потенціалів, відповідно до включення, електродів:

$$\Delta j(1,4) = 0,1162(\text{В});$$

$$\Delta j(2,3) = -0,1029(\text{В});$$

Загальна напруга системи складе: $\Delta j(1,4,2,3) = 0,2191(\text{В})$.

Номінальний електричний струм в системі:

$$I_{ном} = \frac{\Delta j(1,4)}{R} = 1,16 \times 10^{-3}(\text{А}), \quad (4)$$

де

$$E = \Delta j(1,4) = 0,116(\text{В});$$

$$R = 100(\text{Ом}).$$

При використанні в якості твердого полімерного електроліту (ТПЕ) мембрани МФ-4СК і електродів по спеціальній технології суттєво підвищуються вольт-амперні характеристики паливного елемента і суттєво знижується робоча температура. При цьому технологія виготовлення блоку паливного елемента (електролізер – паливний елемент) стає посекційною з простою системою складання.

Протонопровідні мембрани дозволяють реалізувати процес електролізу води в низькотемпературному режимі. Блок відкачування водню з води при цьому можна використати як окремий пристрій.

Згідно рівняння Нернста на електродах водневого елемента виникає е.р.с.:

$$E = j_1 - j_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (5)$$

де C_1 - 66,6 % H_2 (об'ємна доля водню у воді); C_2 - 0,3 % (об'ємна доля водню у повітрі).

На електроді 2 виникає потенціал j_2 :

$$j_2 = \frac{RT}{2F} \ln 66,6 = 0,053(\text{В}),$$

На електроді 3 виникає потенціал j_3 :

$$j_3 = \frac{RT}{2F} \ln(0,3) = -0,01515(\text{В}),$$

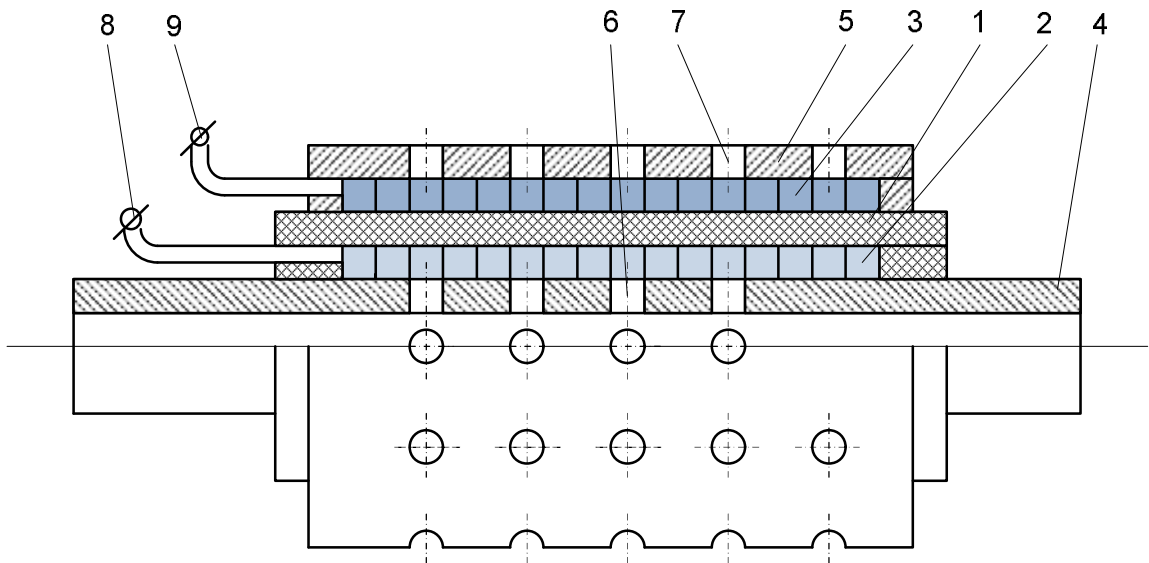
де R - газова стала ($R = 8,31$ Дж/Моль*К); T - температура ($T = 293,15\text{K}(20^{\circ}\text{C})$) ; F - постійна Фарадея ($F = 9,65 \times 10^4$ (Кул·моль $^{-1}$)).

Тоді напруга на електродах 2 і 3, як різниця потенціалів складає 68 мВ:

$$E_{H_2} = j_2 - j_3 = 0,053 - 9 - 0,015 = 0,068(\text{В}).$$

З метою практичного використання результатів досліджень нами був розроблений пристрій –

низькотемпературне електрохімічне джерело живлення низької потужності. В якості протоно провідної мембрани був використаний на основі попередніх електрохімічних випробувань силікон у вигляді трубки. Електроди виконані у двох варіантах: срібна чернь та срібні відводи і платиновий провідник.



1 – Протоно провідна трубка; 2 – Внутрішній електрод; 3 – Зовнішній електрод; 4 – Камера подачі води; 5 – Зовнішній корпус; 6 – Внутрішні капіляри; 7 – Зовнішні капіляри; 8 – Внутрішній струмовідвід; 9 – Зовнішній струмовідвід.

Рис. 2. Джерело живлення на основі низькотемпературного електролізу води

Експериментальні дослідження показали результати, що повністю співпадають з теоретичними розрахунками. З цією метою були виготовлені три дослідні зразки. Результати експерименту приведені на графіках.



Рис. 3. Дослідний зразок блоку джерела живлення на срібних електродах

Сферами вжитку розроблених джерел живлення можуть бути:

Медична техніка, Вакуумна техніка, Електронна промисловість, Аналітична техніка.

Переваги

Відсутність механічних частин;
Простота експлуатації та технічного обслуговування;
Малі розміри і вага;
Висока надійність;
Необмежений ресурс роботи.

Технічні характеристики

Напруга живлення 100 мВ,
Робочий струм 15-20 мкА,
Робоча температура 293 К,

На даний час електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються [1] найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги й зменшення розміру системи [2] і в якійсь мірі її вартості.

Для цієї цілі можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди [3], так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів.

Протоно провідні мембрани дозволяють реалізувати процес електролізу води в низькотемпературному режимі. Блок відкачування водню з води при цьому можна використати як окремий пристрій.

Висновок

Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Це електрохімічний пристрій в результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію. Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм. В роботі дослідженні можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів. Розроблені конструктивні рішення електролізерів-генераторів. Робота направлена на створення нових джерел живлення на базі воднево-кисневої паливної суміші, які ефективно можуть використовуватись радіоелектронній індустрії. Напрямок подальших теоретичних розробок є створення нових типів кисневодневих оборотних осередків електролізерів-генераторів, які можуть бути успішно використані як для живлення радіоелектронних пристроїв різного ступеня складності, так і для радіоелектронної індустрії в цілому.

Література

1. Ahn J., Ledjeff K. Патент Германии № P4027655.4, 1990.
2. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Proc. of 18th Int. Power Sources Symp. Trafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.
3. Каталитические слои для обратимой ячейки электролизер-топливный элемент на основе твердого полимерного электролита. . М.А. Цыпкин, Е.К. Лютикова, В.Н. Фатеев, В.Д. Русанов. Электрохимия 2000, том. 36. № 5. с. 613-616.
4. Чеботин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твердых электролитов. – М.: Химия, 1978 – 312 с.
5. Фатеев В.Н., Фридман А.А., Баранов И.Е. / Электрохимия. 1994. Т. 30. С. 1256.
6. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11-th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.
7. Основы процесса электролиза. <http://studyport.ru>
8. Производство водорода. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Производство водорода](http://ru.wikipedia.org/wiki/Производство_водорода)
9. Електрохімічний електролізер водяної пари як альтернативне джерело живлення. Троц А.А., Скіцюк В.І. / Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. Вип. 46 – С. 170 – 176.
10. Електрохімічний електролізер водяної пари. Гончарук В.Л., Троц А.А., Троц М.А., Янів В.Г. / Вісник університету «Україна». Серія «Сучасні інженерні Технології. №1(16). 2013 р. – С 116-122.

References

1. Ahn J., Ledjeff K. Patent Hermany # R4027655.4, 1990.
2. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Proc. of 18th Int. Power Sources Symp. Trafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.
3. Katalytycheskye sloj dlya obratymoy yacheky elektrolizer-toplyvnyy element na osnove tverdogo polymernoho elektrolita. . M.A. Tsyppyn, E.K. Lyutykova, V.N. Fateev, V.D. Rusanov. Elektrokhiyya 2000, tom. 36. # 5. s. 613-616.
4. Chebotyn V.N., Perfyl'ev M.V. Elektrokhiyya tverdykh elektrolitov. – M.: Khimyya, 1978 – 312 s.
5. Fateev V.N., Frydman A.A., Baranov Y.E. / Elektrokhiyya. 1994. T. 30. S. 1256.
6. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11-th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.
7. Osnovy protsessa elektroliza. <http://studyport.ru>
8. Proyzvodstvo vodoroda. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Proyzvodstvo vodoroda](http://ru.wikipedia.org/wiki/Proyzvodstvo_vodoroda)
9. Elektrokhiichnyy elektrolizer vodyanoyi pary yak al'ternatyvne dzhерelo zhvyleniya. Trots A.A., Skitsyuk V.I. / Visnyk NTUU «KPI». Seriya pryladobuduvannya. – 2013. Vyp. 46 – S. 170 – 176.
10. Elektrokhiichnyy elektrolizer vodyanoyi pary. Honcharuk V.L., Trots A.A., Trots M.A., Yaniv V.H. / Visnyk universytetu «Ukrayina». Seriya «Suchasni inzhenerni Tekhnolohiyi.#1(16). 2013 r. – S 116-122.
11. Realizatsiya metodu kontrolyu tekhnolohichnykh hazovykh seredovyshch. Poryev V.A., Trots A.A. / Aktual'ni problemy navchannya ta vykhovannya lyudey z osoblyvymy potrebamy : zb.naukovykh prats'. - # 8. – K.: Universtyet „Ukrayina”, 2010. – S .

Рецензія/Peer review : 25.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НАВЕДеноЇ ПОХИБКИ ВІД НЕЛІНЕЙНОСТІ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЛАЗЕРНИХ ПРИЛАДІВ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ШТАМПІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАБУДУВАННЯ

Розглядається розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики при використанні лазерних приладів у процесі виробництва штампів з використанням інтелектуальної інтегрованої адаптивної наскрізної системи автоматизації проектних робіт та автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва.

Ключеві слова: наведена похибка, нелінійна статична характеристика, інтегрована адаптивна наскрізна система, автоматизована система технологічної підготовки виробництва, лазерні прилади.

G. KLESCHEV

Odesa state academy of the technical adjusting and quality, Odesa

I. POLITUCHYI

State enterprise the «Odesa aviation plant», Odesa

CALCULATION AND RESEARCH THE MAXIMAL BROUGHT ERROR OVER FROM NOT RULER OF STATIC DESCRIPTION AT THE USE OF LASER DEVICES IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF STAMPS FOR DETAILS OF AIRCRAFT BUILDING

Consider calculation and research the maximal brought error over from not ruler of static description at the use of laser devices in the process of production of stamps with the use of the intellectual integrated adaptive through systems of automation of project works and CASS of technological preparation of production.

Keywords : the brought error over, not ruler the static description, integrated adaptive through system, automation system of technological preparation of production, of laser devices.

Вступ

У виробничому інструментальному процесі холодна листова штамповка (ХЛШ) один з найбільш прогресивних і поширених процесів. Цей процес дозволяє виготовлювати з листового матеріалу (смуги, стрічки, листа) найрізноманітніші за формою і розмірам деталі в короткі терміни з мінімальними витратами. Нині особлива увага приділяється точності деталей, що виготовляються, а звідси і підвищенню якості і надійності виробів. Безумовно, в авіабудуванні точність, надійність і якість деталей, що виготовляються, стоять на першому місці. Слід зазначити, що питома вага штампованих з листа деталей в авіабудуванні складає, як відомо, від 60 % до 70 % від загальної кількості деталей, що виготовляються. І цей відсоток може зрости, оскільки є зведення про переклад частини деталей, що отримуються литвом і куванням, на холодне листове штампування, що зменшує вагу деталей на 50 % і скорочує витрату матеріалу на 70 %.

Проблема

У виробничих умовах на якість, точність і терміни деталей, що виготовляються, окрім змін температури, вологості, вібрацій, запилення, коливань напруги в електромережі, впливають: точність устаткування; спосіб базування, наведені похибки від не лінійності статичної характеристики средств вимірювання та знос інструменту в процесі обробки, як основних деталей, так і деталей оснащення (штампів). Умовами для усунення вказаних проблем в авіаційній галузі є: впровадження сучасних математичних методів і засобів обчислювальної техніки; створення інтелектуальних інтегрованих адаптивних наскрізних систем автоматизації проектних робіт [1]; автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва [2]; створення гнучких автоматизованих систем виробництва верстатів, інструментів (штампів) і автоматичних ліній, а так само скорочення часу вимірювальних, контрольних і таких, що коригують операції з використанням активних лазерних приладів (АЛП) вимірювання [3].

Мета дослідження

Розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики для підвищення ефективності, якості, точності і надійності виготовлення деталей штампів, вживаних в авіабудуванні на основі «нової технології» [2] і лазерних засобів вимірів, а також скорочення часу вимірювальних, контрольних робіт.

Основні результати досліджень

Похибка від нелінійності статичної характеристики вимірювального приладу (ВП) $y = f(x)$ в числовій формі виражає ступінь близькості графіка цієї характеристики до графіка апроксимуючої прямої $y_a = A + B \cdot x$. Залежно від способу побудови цієї прямої похибка від нелінійності можна оцінювати у формі максимальної наведеної похибки (МНП), або у формі середньквадратической наведеної похибки

(СКНП). У першому випадку апроксимуючої прямої є пряма найменших модулів (ПНМ), у другому - пряма найменших квадратів (ПНК). Розробимо методику розрахунку прямій найменших модулів і максимальний наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики вимірювального пристрою тобто АЛП. Прямій найменших модулів (стосовно кривої $y = f(x)$) називається пряма $y_a = A + Bx$, максимальне відхилення якої від кривої $y = f(x)$ на інтервалі $xn \leq x \leq xv$ є мінімальним. Параметри такої прямої визначаються з умови мінімальної величини її максимального відхилення від кривої $y = f(x)$, тобто з умови

$$\text{Max mod}(A, B) = \max_{xn \leq x \leq xv} |f(x) - (A + Bx)| = \min_{(A, B)}, \quad (1)$$

де мінімум неявно заданої функції двох змінних $\text{Max mod} = \text{Max mod}(A, B)$ досягається підбором значень її аргументів A, B - параметрів прямій найменших модулів $y_a = A + Bx$. Пояснимо фізичний зміст цих параметрів. Кожній парі речовинних чисел A, B відповідає пряма $y_a = A + Bx$, що певним чином орієнтована щодо графіка кривої $y = f(x)$. Існують такі значення цих чисел, при яких максимальне відхилення прямої $y_a = A + Bx$ від кривої $y = f(x)$ виявляється мінімальним. Ця пряма і є пряма найменших модулів.

Критерій мінімакса (1) рівносильний умовам рівномірного наближення функцій $y = f(x)$ і $y_a = A + Bx$. Ці умови можна записати у вигляді наступної системи $M + N - 1$ нелінійних алгебраїчних рівнянь [4]

$$\begin{aligned} \Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_N, \\ \frac{d}{dx_j} pp(x_j, A, B) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, M. \end{aligned} \quad (2)$$

Тут $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ - максимальні значення модуля абсолютної Похибки наближення

$$pp(x, A, B) = f(x) - (A + Bx), \quad (3)$$

число N яких залежить від особливостей функції $f(x)$; x_j - абсиси крапок що вирівнюють екстремумов похибки наближення (3), число M яких також залежить від особливостей цієї функції.

Вирішуючи систему рівнянь (2), знаходять параметри A й B прямій найменших модулів і, крім того, абсиси x_j крапок екстремумов похибки наближення (3), знаючи які можна обчислити максимальні значення модуля цієї похибки $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$. При правильному рішенні завдання всі вони повинні бути рівні один одному по величині й модулю максимальної похибки наближення Δ_{max} , тобто

$$\Delta_{max} = \Delta_1 = \dots = \Delta_N. \quad (4)$$

Виконання цих умов означає, що при правильному розрахунку параметрів ПНМ графік статичної характеристики ВП $y = f(x)$ повинен виявитися ув'язаним між двома паралельними прямими, що відстоять від графіка ПНМ на однакову величину, рівну максимальному значенню модуля абсолютної похибки наближення Δ_{max} . На рисунку 1 ці прямі показані двома паралельними штрих - пунктирними лініями. Із цього рисунка видно також, що не обов'язково всі екстремуми похибки наближення (3) повинні бути рівні один одному по величині. Число M таких екстремумов, як відзначалося вище, залежить від особливостей наближає функції, що $y = f(x)$. Цим пояснюється неоднозначність вибору умов рівномірного наближення (2) для графіка складної функції.

$$\text{ПНМ}j y_a = A + Bx /$$

Таким чином, розрахунок параметрів A і B прямій найменших модулів може виконуватися, в - перших, шляхом рішення системи рівнянь (2), що виражають умови рівномірного наближення кривій $f(x)$ до прямій $y_a = A + Bx$, і, в - других - шляхом визначення координат (A, B) крапки глобального мінімуму неявно заданої функції двох змінних (1). На практиці обидві зазначені можливості застосовуються разом, взаємно доповнюючи один одного.

Ступінь близькості графіка ПНМ до графіка статичної характеристики ВП оцінюється по величині максимальної наведеної похибки від нелінійності (МНП), що обчислюється по формулі

$$g_n = \frac{\Delta_{\max}}{|y_{av} - y_{an}|} = \frac{\Delta_{\max}}{|B|(xv - xn)}, \quad (5)$$

де $y_{av} = A + B \cdot xv$, $y_{an} = A + B \cdot xn$ - граничні ординати ПНМ на інтервалі (xn, xv) ; Δ_{\max} - максимальне відхилення ПНМ від графіка статичної характеристики ІУ, обумовлене по формулі (4).

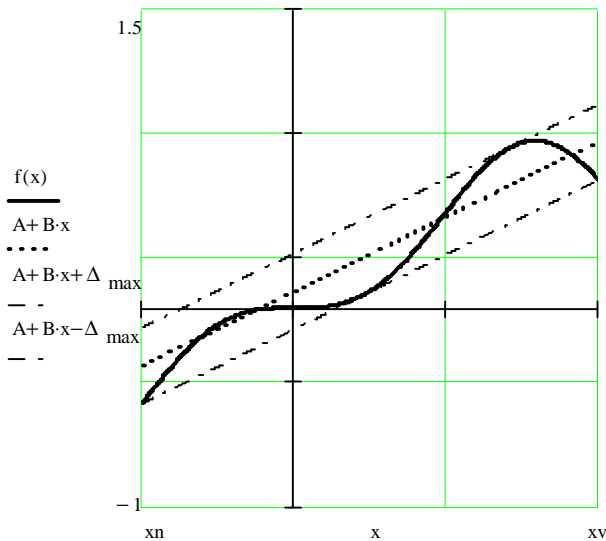


Рис. 1. Графік статичної характеристики ВП

У практичних додатках вибір рівняння прямих найменших модулів виконують із урахуванням наступних обмежень:

1) якщо $f(0) = 0$, тобто, якщо графік статичної характеристики ІУ проходить через початок координат і, крім того, $xn = 0$, то приймають

$$y_a(x) = B \cdot x, \quad (6)$$

т.е. вважають, що $A = 0$ (рисунок 2,а), хоча розрахунок у цьому випадку дає завищене значення МНП;

2) якщо $f(x) = -f(-x)$, тобто, якщо статична характеристика ВП непарна, і, крім того, $xn = -xv$, то також приймають $y_a(x) = B \cdot x$ (рисунок 2,б);

3) у всіх інших випадках приймають $y_a = A + B \cdot x$.

У кожному разі вихідними даними для розрахунку є функція перетворення ВП $y = f(x)$ й границі діапазону вимірів (xn, xv) , а сам розрахунок рекомендується виконувати в наступній послідовності:

1) Будується схематичний графік статичної характеристики ВП, тобто такий графік, що відбиває не точні значення ординат функції $f(x)$, а тільки лише форму графіка цієї функції на інтервалі (xn, xv) . Такий графік будується з метою одержання загального подання про форму статичної характеристики ВП та правильного вибору рівняння ПНМ;

2) З обліком зазначених вище рекомендацій вибирається рівняння ПНМ (тобто приймається $y_a = Bx$, або $y_a = A + Bx$ залежно від форми статичної характеристики ВП) і будується передбачуваний графік ПНМ (на рисунку 2 він показаний пунктиром). При побудові цього графіка прагнуть домогтися виконання умов (4) при максимально можливому числі перетинань графіка ПНМ із графіком статичної характеристики ВП.

3) Складається аналітичне вираження для похибки наближення (3);

4) Обчислюються параметри ПНМ, тобто обчислюються дві величини A й B , якщо рівняння ПНМ обране у вигляді $y_a = A + Bx$, або тільки одна величина B , якщо це рівняння має вигляд $y_a = Bx$. Для цього складається система рівнянь (2), після чого вона вирішується щодо шуканих параметрів ПНМ;

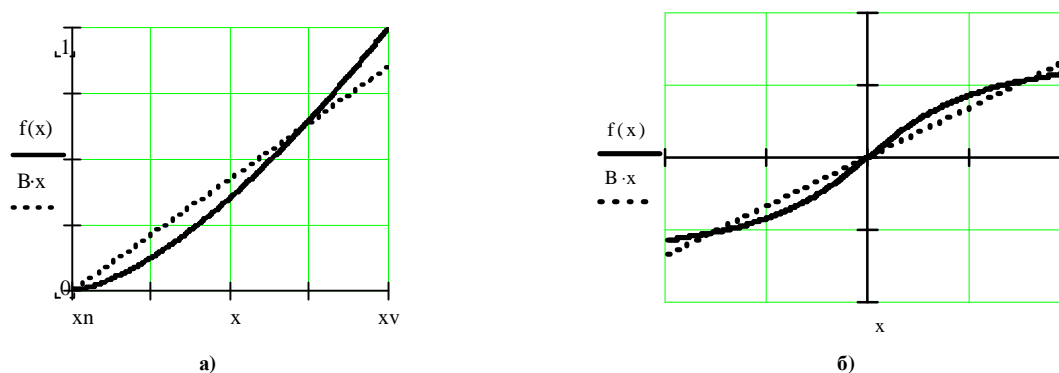


Рис. 2. Схематичний графік статичної характеристики АЛП

4) Будується графік похибки наближення (3) в інтервалі (xp, xv) , за допомогою якого перевіряється виконання умов рівномірного наближення (2) і обчислюється максимальна похибка наближення (4);

5) Обчислюється значення МНП по формулі (5).

Висновки

Проведено розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики для підвищення ефективності, якості, точності і надійності виготовлення деталей штампів, вживаних в авіабудуванні. Розроблено методику розрахунку прямій найменших модулів і максимальний наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики вимірювального пристрою, що значно підвищело точність, надійність та якість виробляемих деталей штампів на базі автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва для авіабудування. Дослідження нової технології, в сукупності з інтегрованим промисловим комплексом і лазерними засобами виміру, дозволяє значно підвищити конкурентоспроможність інтегрованої адаптивної наскрізної системи виробництва штампів.

Література

1. Квасников В.П. Патент «Метод інтегрованої наскрізної підготовки виробництва та виготовлення деталей штампів», № 48027 від 10.03.2010 Бюл. № 5 / В.П.Квасников, Л.В. Коломиец, Г. М. Клещев и др. – К.: 2010.
2. Клещев Г.М. Адаптивна наскрізна комп'ютерна технологія управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів на базі штамп - напівфабрикатів/ Г.М. Клещев. – Одеса. //Під загальною редакцією доктора технічних наук, професора Л.В. Коломійця. 2010.- 283с.
3. Клещев Г.М. Лазерные средства измерения активного контроля инструмента штампов холодной листовой штамповки/Г.М.Клещев, А.Г. Биличенко и др.//Міжнародний науково- технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Хмельницький. Вип№1.2015. С.204-208.
4. Щепетов А.Г. Теория , расчет и проектирование измерительных устройств.-М.:МГУПИ, 2004.

References

1. Kvasnikov V. Patent is " Method integrovanoi naskriznoi pidgotovki vurobnuztva ta vugotvlenna details stampiv № 48027 vid 10.03.2010, Bul. № 5/ V. Kvasnikov, G. Kleshev, L. Kolomiezi I dr.-K.:2010.
2. Kleshev G. Adaptive naskrizna komp'uterna tehnologija upravleniya pidgotovkoy vurobnuztva ta vurotovlenna detales stampiv na base stamp- napivfabrikativ/G. Kleshev.- Odessa.// Pid zagalnoy redakziej doktora tehniznuh nauk, profesora L. Kolomieza .2010.-283c.
3. Kleshev G. Lazernue sredstva izmerenia aknivnogo kontrola instrumenta stampov xolodnogo listovogo stampovki/ G. Kleshev, A. Bilichenko i dr.//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnika v tehnologichnyh procesax. Xmelniczkiy. Vup№1.2015.S.204-208.
4. Schepetov A. Teorija, raschetju i proektirovanie izmeritelnyh ustrojictv.-M.: MGUPI,2004.

Рецензія/Peer review : 19.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

АДАПТИВНОЕ СЕТОЧНОЕ СЖАТИЕ 3D ТВ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОМАСШТАБНЫХ МНОГООБРАЗИЙ

Аннотация. В статье исследуется сжатие 3D объектов в телевизионной графике с использованием многообразий и графов. Спектральные преобразования позволяют адаптивно сжимать топологию 3D объектов, используя собственные вектора графа Кирхгофа. 3D сеточные модели могут иметь более 10^5 вершин и для сжатия требуется быстрое вычисление базисных функций больших графов, что численно является сложной быстро развивающейся задачей.

Ключевые слова: изображение, 3D сетка, сжатие, многообразие

E.V. Osharovskaya

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, Ukraine

ADAPTIVE MESH COMPRESSION IN 3D TV OBJECTS USING MULTISCALE MANIFOLDS

Abstract. This paper investigates compression of 3D objects in television 4D graphics using manifold learning. Spectral compression uses the eigenvectors of the graph Laplacian of an object's topology to adaptively compress 3D objects. 3D compression is a challenging application domain: object models can have $> 10^5$ vertices, and reliably computing the basis functions on large graphs is numerically challenging/.

Key words: image, 3D mesh, compression, manifold

Введение

Сжатия JPEG широко используется для создания, хранения и передачи изображений. Формально, JPEG использует дискретное косинусное преобразование для трансформации изображений из "пространственной" области в спектральную Фурье область, в которой "энергия" изображений сконцентрирована в низкочастотных собственных векторах. Тем не менее, ДКП предполагает фиксированную 2D топологию и не может быть непосредственно применено для сжатия 3D-объектов в телевизионной анимации и графике.

Следовательно, проблема сжатия 3D-объектов представляет большой интерес в телевизионной и компьютерной графике [1, 3] предложили адаптивный к конкретным 3D-объектам спектральный метод сжатия, используя базисные вейвлет функции для известной топологии графа объекта.

1. Постановка задачи

В этой статье используется новый подход к сжатию 3D сеток с помощью диффузных вейвлетов, представляющих собой многомасштабные многообразия, или, более общие расширения wavelet анализа применительно к графам с произвольной топологией. В отличие от «глобального» характера матриц графов Кирхгофа (Laplacian), диффузные базисы всплесков являются компактными и многомасштабными по своей природе. Разложим большие графы, используя метод быстрой декомпозиции и объединим вычисленные на каждом подграфе локальные иерархические вейвлеты,

Этот подход является естественным обобщением "Фурье" анализа на дискретных графах, в частности, собственные функции графа Кирхгофа, по существу есть Фурье базисы на графах. [2]. Граф Кирхгофа начал играть все более заметную роль в машинном обучении в области спектральной кластеризации, нелинейного уменьшения размерности, а также в приложениях, таких как сегментация в компьютерном зрении. [4, 8].

Набором элементов матрицы представлены вершин графа, где ребра треугольников используются как "локальные" меры расстояния для переменных x и y , например, если y входит в число K - ближайших соседей x . Вес ребер задается, как правило, с помощью ядра преобразования [1, 9]

$$\frac{\|x^2 - y^2\|}{e^{-2s^2}}$$

Для такого неориентированного графа G оператор Кирхгофа может быть определен несколькими способами, в том числе, как разность двух матриц $L = D - W$, где W представляет весовую матрицу, а D - является диагональной "валентной" матрицей смежностей; элементами главной диагонали матрицы будут суммы весов ребер, инцидентных соответствующей вершине. Несколько последних теоретических исследований показали, что граф Кирхгофа асимптотически сходится к оператору Кирхгофа-Бельтрами на многообразии при определенных условиях по распределению выборки [5]

Конечно, сжатие 3D объектов является сложной проблемой для современных методов на многообразиях и спектральном обучении. D объекты могут быть очень большими, в результате чего графов с 10^5 или более вершин и миллионов ребер. Существующие алгоритмы регрессии на графах, а также полуконтролируемого обучения графов [3, 6, 4], как правило, включают инверсию матрицы Кирхгофа на всем графе, с объемом вычислений $O(|V|^3)$, или на подграфе, определенного как неразмеченный, который, как правило, гораздо больше, чем размеченный.

Аналогичный анализ наихудшего случая имеет место для подходов, которые используют собственные векторы графа Кирхгофа в качестве основы [4]. Прямое применение диагонализации или инверсионных методов матриц Кирхгофа размера 10^5 , кажется невозможным, даже если во многих случаях, эти матрицы являются весьма разреженными.

В этой статье, вводится новая основа для адаптивного сжатия 3D-объектов. Данный подход, в первую очередь, призван устранить ограничения существующих методов Фурье, основанные на глобальных представлениях собственных векторов. Классически, ограничения преобразований Фурье хорошо известны и привели к развитию вейвлетов [7], позволяющих справиться с трудностями в эффективной аппроксимации кусочно-гладкой геометрии сеток. Предлагается использовать разномасштабные диффузные вейвлеты, предложенные Койфманом и Маггони в 2006 г.; [4].

2. Спектральное сжатие сеток методом Фурье: в базисе вейвлетов

Проблема сжатия 3D-объектов уже давно интересна в компьютерной графике [1]. Карни и Гоцман [2] в 2000 году предложили адаптивный спектральный метод сжатия, где компрессия 3D-объектов достигается путем нахождения базисных функций по известной топологии графа объекта.

Тем не менее, они отметили, что их результаты на гладких моделях были значительно лучше, чем на моделях, содержащих четкие границы и складки, из-за очень высоких частот, присутствующих в объекте.. [2]. Рассмотрим применение нового мощного класса методов нелинейной аппроксимации функций, называемых диффузные вейвлеты [4], которые обобщают классические всплески на графах и многообразиях. Они названы диффузными вейвлетами, потому что они связаны с процессом диффузии (по аналогии с графом Кирхгофа), который определяет различные масштабы. Они удачно позволяют переформатировать собственные векторы оператора Кирхгофа в сеточной аппроксимации, реконструируя локальные разрывы почти идеально, даже с небольшим числом базисных функций.

3. Аппроксимация геометрии сеток в базисе Кирхгофа

Задача сжатия сеток заключается в аппроксимации 3D координатных функций, при разметке каждой вершины в пространстве 3D позиции: $V \rightarrow R^3$. Более конкретно, объект 3D задается графом $G = (V, E, W, M)$, где 3D координаты сетки $M(v) \in R^3$. Матрица весов W представляет собой набор весов для каждого ребра $e \in E$. Если использовать двоичные веса, то $W(i, j) = 1$, если $(i, j) \in E$.

Проблема в том, чтобы приблизить координаты сетки, используя набор базисных функций, которые не предварительно вычисляемы или хранимы, но вместо этого адаптивно определяются по топологии графа. Точнее, пусть v_x, v_y, v_z координаты вершины $v \in G$. Каждую из этих координатных функций можно аппроксимировать, проецируя их на подпространство, натянутое на какой-то ортогональной основе, а именно либо Фурье (Кирхгофа), либо (диффузия) вейвлет базисный набор. Определим x и y для обозначения ребра между x и y , и степень x будет $d(x) = \sum_{y \in \mathbf{a}_x} w(x, y)$. D обозначает диагональную матрицу, определяемую как $D_{xx} = d(x)$, и W матрица, определяемая как $W_{x,y} = w(x, y) = w(y, x)$. Норма L^2 функции на G задается как $\|f\|_2^2 = \sum_{x \in G} |f(x)|^2 dx$. Если ребро e соединяет i и j , то градиент функции можно записать как $\nabla f(i, j) = w(i, j) \cdot (f(i) - f(j))$, в противном случае $e=0$. Гладкость функции на графе может быть измерена нормой Соболева:

$$\|f\|_{H^2}^2 = \|f\|_2^2 + \|\nabla f\|_2^2 \quad (1)$$

$$\|f\|_{H^2}^2 = \sum_x |f(x)|^2 + \sum_{x \mathbf{a}_y} |f(x) - f(y)|^2 \cdot w(x, y). \quad (2)$$

Первый член в этой норме контролирует размер (в терминах L^2 - нормы) для функции f , а второй член определяет размер градиента. Чем меньше $\|f\|_{H^2}$ в H^2 , тем более гладкой является f . Будем считать, что функции мы считаем имеющими маленькие нормы H^2 , за исключением нескольких точек, где градиент может быть большим..

4. Глобальные собственные функции Кирхгофа

Глобальные базисные функции могут быть построены на графе $G = (V, E, W)$ диагонализацией комбинаторного графа Кирхгофа L [3], который определяется как

$$Lf(x) = \sum_{y \in \mathbf{a}_x} w(x, y)(f(x) - f(y)) = (D - W)f \quad (3)$$

Эти базисные функции имеют размерность $|V| = n$, и могут быть проблематичны при больших n . Во избежание этих трудностей рекомендуется вычислять собственные функции Кирхгофа на подграфах намного меньшего размера. Фактически лучше всего использовать нормализованную размерность

$L = D^{-\frac{1}{2}}(D-W)D^{-\frac{1}{2}}$, имеющую спектр на интервале $[0, 2]$. Нормализованный Лапласиан связан с понятием гладкости функции, как указано выше, $f, Lf \rangle = \sum_x f(x)Lf(x) = \sum_{x,y} w(x,y)(f(x) - f(y))^2 = \|\nabla f\|_2^2$, которая должна сравниваться с (2)

Спектральная теорема может быть применима к L (или L), приводя к дискретному множеству собственных значений $0 \leq I_1 \leq I_2 \leq \dots$ и соответствует ортонормированному базису собственных функций $\{x_i\}_{i \geq 0}$ решения задачи о собственных значениях $Lx_i = I_i x_i$

Собственные функции Лапласиана могут быть рассмотрены как ортонормированное основание глобальных гладких функций Фурье, которые могут использоваться для аппроксимации любой функции, заданной на графе. Заметим, что x_i удовлетворяет условию $\|\nabla x_i\|_2^2 = I_i$.

Фактически, вариационная характеристика собственных векторов показывает, что x_i - нормализованная функция, ортогональная к x_0, \dots, x_{i-1} с минимальным $\|\nabla x_i\|_2$. Следовательно, проекция функции f на S по главным k собственным векторам Лапласиана является самым гладким приближением к f , в смысле нормы в H^2 . Потенциальный недостаток Лапласовского приближения состоит в том, что оно обнаруживает только глобальную гладкость, и может плохо аппроксимировать функцию, которая не является глобально гладкой, но только кусочно-гладкой, или с различной гладкостью в различных областях. Диффузионные всплески были прежде всего, предназначены для устранения этих недостатков.

5. Вне собственных векторов: многомасштабные диффузные вейвлеты

Диффузионные вейвлеты обобщают вейвлет-анализ для функций на многообразиях и графах [4, 7]. Входом алгоритма является параметр "точности" $\epsilon > 0$, и взвешенный граф (G, E, W) . Конструкция основана на использовании естественного случайного блуждания $P = D^{-1}W$ на графе и своих полномочий "расширять", или "диффузировать" функции на графе, а затем определение связанного крупного фрагмента графа.

$$H^t = D^{-\frac{1}{2}} P^t D^{-\frac{1}{2}} = \sum (1 - I_i)^t x_i \cdot x_i(\cdot) \quad (4)$$

где $\{I_i\}$ и $\{x_i\}$ соответственно собственные значения и собственные функции Лапласиана. Следовательно, собственные функции H^t снова x_i и i^t - собственные значения $(1 - I_i)^t$. Мы предполагаем, что H^t является разреженной матрицей, и что спектр H^t имеет быстрое разложение. А дерево диффузных вейвлетов состоит из ортогональных функций диффузии - масштабирования Φ_j , являющихся гладкими ударными функциями, с некоторыми колебаниями, в масштабе примерно 2^j (измеряется по отношению к геодезическому расстоянию, при небольших j) и ортогональные вейвлеты Ψ_j , которые также гладкие функции, с локализованными колебаниями в том же масштабе. Функции масштабирования Φ_j охватывают подпространство V_j , с тем свойством, что $V_{j+1} \subseteq V_j$, и охватывает пространство Φ_{j+1} , W_j , является ортогональным дополнением V_j в V_{j+1} . Это достигается с помощью вторых степеней H^{2^j} как «растяжений», для создания плавности и ширины (всегда в геодезическом смысле) "Ударные" функции (которые представляют плотность для симметризованного случайного блуждания после 2^j шагов), и ортогонализации и субдискретизации надлежащим образом для трансформации наборов "разрывов" в ортонормированные масштабирующие функции.

Заключение

Трехмерные модели иногда представлены точечными множествами в пространстве R^n , и могут быть обработаны, прибавляя фазу построения графа. В случаях, когда координатная аппроксимируемая функция может влиять на построенные базисы, многомасштабность может также быть изменена диффузными вейвлетами для соответствия геометрии пространства, Другая нерешенная задача как сжать тензорную информацию, хранящуюся в каждой вершине, такой как матрица значений текстуры или освещения. Одна стратегия состоит в том, чтобы использовать гомогенные графы, определенные оператором группы, по которому может быть построен вибрационный Лапласиан. Наконец, необходим теоретический анализ стабильности Лапласиана и базисов диффузных вейвлетов при иерархическом дроблении графов.

Литература / References

1. Taubin, G.. A signal processing approach to fair surface design / G.. A Taubin, // . SIGGRAPH '95: - Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques - New York, - NY,

USA: – ACM Press – .1995 – pp. 351–358

2. Karni, Z.. Spectral compression of mesh geometry / Z Karni., C Gotsman, . // SIGGRAPH '00:– Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques – 2000 – pp. 279–286

3. Chung, F. Spectral graph theory./ F. Chung // American Mathematical Society – No. 92. . – 1997 – P..742

4. Coifman, R. R. Diffusion wavelets./ R. R Coifman., M. Maggioni, // Applied and Computational Harmonic Analysis, – 21 - 2006–P. 53–94.

5. Mahadevan, S. Value function approximation with diffusion wavelets and laplacian eigenfunctions / R. R Mahadevan, S., M. Maggioni, . // Proceedings of the Neural Information Processing Systems (NIPS). – MIT Press.– 2006 – p. 978-912

6. Belkin, M. / Semi-supervised learning on Riemannian manifolds. / M. Belkin, P. Niyogi, // Machine Learning – 56 – 2004 – p. 209–239.

7. Mallat, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation./ S. G. Mallat, // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, – 1989 –P. 674–693.

8. Bremer, J. C.. Diffusion wavelet packets. / J. C. Bremer, , R. R .Coifman ., M. Maggioni., A. D. Szlam // Applied and Computational Harmonic Analysis, – 21 – 2006 – P. 95–112

9. Samus N. 3D image mesh entropy coding / N.S. Samus , E.V. Osharovskaya // Збірник „Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова”: – Одеса: Одес. нац. академія зв’язку ім. О.С.Попова. – 2014. – №2. – С. 214-220.

Рецензія/Peer review : 23.09.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 519.876.5

М.П. ДИВАК, С.Я. КРЕПИЧ, Т.М. ДИВАК, В.І. МАНЖУЛА

Тернопільський національний економічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПО ВИГОТОВЛЕННЮ ГІПСОКАРТОНУ В УМОВАХ ЗМІННИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИРОВИНИ

В статті розглянута задача моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії по виготовленню гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини. Створена інтервальна модель часу затвердіння гіпсокартону в залежності від параметрів технологічного обладнання та характеристик сировини. Розглянута задача синтезу параметрів технологічного обладнання, характеристик сировини та їхніх технологічних допусків. Додатково введено обмеження, на параметри технологічного обладнання та характеристики складників технологічного процесу з метою отримання множини розв’язків ІСЛАР, які відповідають фізичному змісту процесів.

Ключові слова: функціональна придатність, гіпсо-водяна суміш, характеристики сировини, параметри технологічного обладнання, інтервальна система

M.P. DYVAK, S.YA. KREPYCH, T.M. DYVAK, V.I. MANZHULA

Ternopil National Economic University

MODELING AND TECHNOLOGICAL SUPPORT OF FUNCTIONAL SUITABILITY OF TECHNICAL EQUIPMENT LINE FOR MANUFACTURING DRYWALL IN CONDITION OF VARIABLE RAW MATERIALS CHARACTERISTICS

In the paper the problem of modeling and providing of functional suitability of the technical equipment of lines for the manufacture of gypsum board in terms of raw characteristics changes. Created interval model of solidification time for drywall depending on parameters of process equipment and characteristics of the raw material. Considered the task of synthesis of technological equipment parameters, raw materials characteristics and their technical tolerances. Additionally imposed restrictions on parameters of technical equipment and characteristics of the technical process components to obtain ISLAE set of solutions that meet the physical processes content.

Keywords: functional suitability, gypsum-water mixture, the characteristics of raw materials, process equipment parameters, interval system

Постановка проблеми

Гіпсокартон є одним із найбільш поширених облицювальних матеріалів у будівництві [1]. Як вихідні матеріали для виготовлення гіпсокартонних плит використовують напівводяний гіпс ($\text{CaSO}_4(0,5-0,7)\text{H}_2\text{O}$), добавки для прискорення чи сповільнення процесу затвердіння гіпсо-водної суміші, піноутворювачі та високоякісний багат шаровий пресований картон товщиною не більше 0,6 мм. Напівводяний гіпс одержують із природного гіпсу шляхом випалювання. Одним із найбільших виробників гіпсокартону є фірма KNAUFF. На підприємствах згаданої компанії функціонують високотехнологічні лінії по виробництву гіпсокартонних плит. Розглянемо схематично устаткування для виготовлення гіпсокартону.

Гіпсокартонні плити виготовляють за безперервною технологією на великих конвеєрних установках. Найважливіші ділянки технологічної лінії з виробництва гіпсокартонних плит рис. 1 такі: підготовка водно-гіпсової суміші та подача її на формувальний стіл; формування полотна (гіпсового осердя обклеєного з обох боків картоном); затвердіння полотна гіпсу в процесі переміщення на стрічковому

конвеєрі; порізка полотна на листи; розподіл листів за допомогою консольного конвеєра; сушка листів у сушарці з подальшим вивантаженням, контролем якості та складуванням.

Підготовка водно-гіпсової суміші здійснюється подачею подрібненого гіпсо-порошку з бункера 2 у змішувач 6 разом із водою та компонентами з резервуарів 4, 5, зокрема крохмалем, волокном, в'язучими та піноутворюючими речовинами, які надають водно-гіпсовій суміші еластичності та клейкості. Зауважимо, що в масі готового виробу 93% гіпсу, 6% - картон та 1% інших компонент та вологи [3].

Формування полотна здійснюється наступним чином. Із машини подачі картону 1 на формувач подають підложку із картону на яку викладають гіпсову суміш і формують за допомогою формувача, позначеного 1 на рис. 1. Тоді сформоване гіпсо-водне осердя накривають верхнім шаром картону із машини подачі 8 і завальцовують на нижньому шарі. Попередньо верхній шар картону по краях змащується клеєм із резервуара 7 клейовою машиною. Далі на конвеєрі обидва шари картону завальцовують і отримують полотно гіпсокартону, із товщиною встановленою формувачем 9. Зазначений етап забезпечує допустиму товщину гіпсокартону та надійне приклеювання картону до гіпсового осердя.

На наступному етапі, безпосередньо на стрічковому конвеєрі 10 відбувається рівномірне необхідне твердіння гіпсу. Цей процес регулюють швидкістю руху стрічки на роликівому конвеєрі в межах від 2м/хв. до 5м/хв.

Коли гіпс набирає необхідної твердості під час руху на стрічковому конвеєрі 10, то надалі здійснюється розділення полотна на листи. Для цього використовується автоматичний різак гільйотинного типу 11. Після чого окремі листи за допомогою консольного конвеєра 13 подають до сушарки 14. Розподільник розподіляє листи по конвеєрам сушарки із сповільненою швидкістю руху від 0,20 м/хв. до 0,40м/хв. Час перебування листа в сушарці – близько однієї години. Далі плити вивантажуються із сушарки пакують і штабелюють [2].

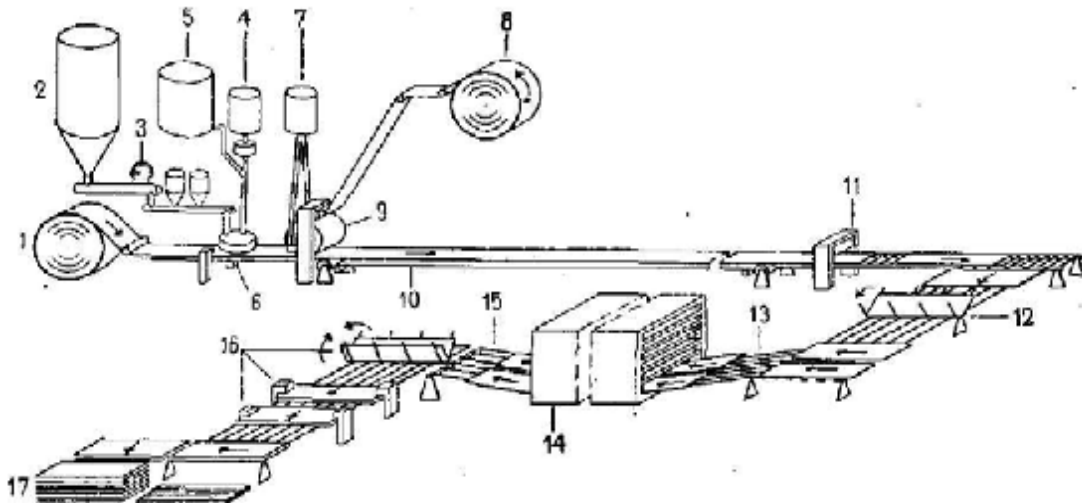


Рис. 1. Спрощена схема виробництва гіпсокартонних плит [2]:

1 — машина подачі рулонного картону для лицьової сторони плит; 2 — бункер для гіпсу; 3 — ваговий дозатор; 4, 5 — ємності для води та добавок; 6 — гіпсозмішувач; 7 — ємність для клею; 8 — машина подачі рулонного картону для тильної сторони плит; 9 — формуючий стіл; 10 — стрічковий конвеєр; 11 — відрізний ніж; 12 — кантувач плит; 13 — завантажувальний міст; 14 — сушарка; 15 — вивантажувальний міст; 16 — установка для укладання і пакування; 17 — штабелювальник

Характер затвердіння гіпсового осердя, а також довжина і швидкість руху конвеєра на ділянці затвердіння залежать одна від одної. На великих сучасних установках компанії KNAUFF з високошвидкісним конвеєром довжина ділянок схоплювання становить до 300м.

Для виготовлення високоякісного гіпсокартону лінії повністю автоматизовані, а також потрібно чітко дотримуватися технологічних параметрів як обладнання так і характеристик сировини, наприклад вологості гіпсу, граничного часу його зберігання чи концентрації додатків, що прискорюють чи сповільнюють процес затвердіння гіпсоводної суміші. Разом з тим в Україні функціонують невеликі підприємства обладнанні лініями виготовлені в Китаї для виробництва гіпсокартону з продуктивністю 40-60 плит за годину стандартних розмірів (товщина 9,5мм, довжина 2500мм та ширина 1200мм). Як правило, зазначені лінії є низької вартості і високорентабельні. Одна із таких ліній функціонує в ПП "УКРАЇНСЬКІ ГІПСОКАРТОННІ СИСТЕМИ" на Хмельниччині.

На рис. 2 наведено фрагмент технологічного обладнання, встановленого в цеху підприємства, яке забезпечує процес підготовки гіпсоводної суміші, подачі її на формувальний стіл та формування гіпсокартонної плити. Саме ця частина обладнання має ряд недоліків. По-перше, низький рівень автоматизації. Наприклад, в таких лініях відсутні сенсори неперервного контролю якості водно-гіпсової суміші на виході із змішувача та пов'язана з цим сенсором автоматична система управління подачі води, гіпсу, піноутворювача та інших додатків в гіпсозмішувач 6 на рис.1. По-друге, часто терміни та умови

зберігання сировини, зокрема гіпсу, відрізняються від технологічно заданих. Нажаль, зазначені недоліки пов'язані між собою, що не дає можливості створити високоефективну автоматичну систему управління процесом забезпечення високої якості водно-гіпсової суміші. Слід також зазначити, що вказані недоліки не вичерпують увесь перелік і в результаті призводять до зниження функціональної придатності обладнання і, як результат, - якості гіпсокартонних плит, а також створюють проблему потреби періодичного налаштування (переналаштування) обладнання із врахуванням змінних, часто випадкових характеристик сировини. В результаті такого процесу налаштування при запуску лінії, від 40 до 80 плит є бракованими, до того ж переналаштування вимагає значних витрат часу, оскільки процеси є інерційними (від моменту підготовки гіпсоводної суміші до виходу готової гіпсокартонної плити - проміжок часу понад 60 хвилин). Тому актуальною є задача моделювання характеристик цієї частини технологічного обладнання та забезпечення його функціональної придатності в умовах змінних характеристик складників для виробництва гіпсокартону.



Рис. 2. Фрагмент технологічного обладнання, яке забезпечує процес підготовки гіпсоводної суміші та подачі на формувальний стіл

Постановка задачі

Розглянемо основні параметри устаткування для підготовки водно-гіпсової суміші та формування полотна, які визначають його функціональну придатність в умовах змінних випадковим чином характеристик складників для виготовлення гіпсокартону. Спочатку визначимо характеристики функціональної придатності устаткування. Як бачимо із опису технологічного процесу, характеристикою функціональної придатності лінії можемо вважати: допустимий інтервал швидкості руху конвеєрної стрічки, на якій відбувається затвердіння (схвачування) гіпсового осердя, або відповідну характеристику – час затвердіння гіпсового осердя. Ця характеристика буде безпосередньо визначати допустимі межі швидкості руху конвеєрної стрічки, які забезпечують затвердіння гіпсового осердя до моменту його наближення до різача гільйотинного типу. Для лінії виробництва гіпсокартону, встановленої в цеху ПП "УКРАЇНСЬКІ ГІПСОКАРТОННІ СИСТЕМИ" відстань від формувального стола до різача складає 35 метрів. Зауважимо, чим довша конвеєрна лінія, тим більша продуктивність системи. Щоправда кінцевий обсяг виходу готової продукції обмежується продуктивністю сушарки [4]. Водночас, на етапах підготовки гіпсоводної суміші, подачі її на формувальний стіл та формування гіпсокартонної плити необхідно забезпечити такі параметри технологічного обладнання, які б своєю чергою забезпечували функціональну придатність системи для різних швидкостей конвеєрної лінії.

Позначимо час затвердіння гіпсового осердя для різних швидкостей руху конвеєрної лінії за t_{v_i} , де v_i – фіксована швидкість руху конвеєрної лінії. Тоді умову функціональної придатності технологічного обладнання вище зазначених етапів сформулюємо у такому вигляді:

$$t_{v_i} \in [t_{v_i}^-; t_{v_i}^+], \quad \forall i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де N – кількість заданих режимів роботи конвеєрної лінії; $[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+]$ - відомі допустимі нижнє та верхнє значення часу твердіння гіпсового осердя, пов'язані з фіксованими швидкостями руху конвеєрної лінії.

Своєю чергою, час твердіння гіпсового осердя визначається такими технологічними параметрами обладнання та характеристиками компонент гіпсоводної суміші: параметрами конвеєрів, швидкостями подачі гіпсу - V_1 , води з розчинним крохмалем - V_2 , піноутворювача V_3 , повітря V_4 та коректора часу затвердіння V_5 ; характеристики гіпсу, яку визначають як діаметр d плями розтікання фіксованого об'єму

гіпсоводної суміші в пропорції гіпс/вода=1/0,7, характеристики коректора затвердіння t , яка змінюється в залежності від часу зберігання.

Враховуючи викладене вище, математичну модель, яка описує залежність між часом затвердіння та чинниками, які його визначають шукатимемо в такому вигляді:

$$t_{v_i} = f(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t) \quad (2)$$

на основі аналізу інтервальних даних [5], оскільки усі зазначені величини отримані експериментальними вимірювання з певними похибками. В цьому випадку математична модель (2) набуде інтервального вигляду:

$$[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+] = [f^-(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t); f^+(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t)], \quad (3)$$

$[f^-(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t); f^+(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t)]$ - функціональний коридор інтервальних моделей для часу затвердіння гіпсового осердя; $[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+]$ - інтервальна оцінка значення часу твердіння гіпсового осердя.

Тоді умови функціональної придатності обладнання набудуть такого вигляду:

$$[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+] \subset [t_{v_i}^-; t_{v_i}^+], \quad \forall i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Тепер підставимо в умови (4) замість $[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+]$ - інтервальних оцінок значень часу твердіння гіпсового осердя для різних швидкостей конвеєра межі функціонального коридору за виразом (3), отримаємо:

$$t_{v_i}^- \leq [f^-(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t); f^+(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, v_i, d, t)] \leq t_{v_i}^+, \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5)$$

Отримана система, яка визначає умови функціональної придатності технологічного обладнання є інтервальною системою алгебричних рівнянь. Її розв'язком є область допустимих параметрів обладнання та характеристик складників для виготовлення гіпсокартонних плит.

Таким чином для побудови моделі та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії по виготовленню гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини необхідно:

а) на основі аналізу експериментальних інтервальних даних побудувати інтервальну модель у вигляді виразу (3);

б) на основі інтервальної системи алгебричних рівнянь (5) обчислити допуски на параметри технологічного обладнання та характеристики складників для виготовлення гіпсокартону.

Інтервальна модель характеристики технологічного процесу

Для побудови інтервальної моделі проводилося вимірювання часу затвердіння гіпсоводної суміші для різних значень параметрів технологічного обладнання та характеристик складників гіпсоводної суміші. Час затвердіння вимірювався з 5% відносною похибкою. В результаті зазначена характеристика представлена в інтервальному вигляді:

$$[\tilde{t}_{v_i}^-; \tilde{t}_{v_i}^+] = [t_{v_i} - t_{v_i} \cdot d_i; t_{v_i} + t_{v_i} \cdot d_i], \quad (6)$$

де t_{v_i}, d_i - виміряне значення часу затвердіння гіпсо-водної суміші та відносна похибка його вимірювання, відповідно.

Інші характеристики встановлювалися з похибками, які можна не враховувати при побудові моделі. Наприклад діаметр плями розтікання гіпсо-водної суміші виміряно з точністю до 0,5 мм, що в процентному відношенні складає максимум 0,4%. В результаті отримано таблицю вихідних даних, фрагмент якої наведено нижче.

Таблиця 1

Вимірювання часу затвердіння гіпсоводної суміші

i	Діаметр плями розтікання гіпсоводної суміші	Швидкість подачі гіпсу	Швидкість подачі води з розчинним крохмалем	Швидкість подачі коректору часу затвердіння	Швидкість подачі піноутворювача	Швидкість подачі повітря	Характеристика коректора затвердіння суміші	Швидкість руху конвеєрної лінії	Інтервальні дані твердіння гіпсоводної суміші
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	d , мм.	V_1 , кг/хв.	V_2 , кг/хв.	V_5 , г/хв.	V_3 , кг/хв.	V_4 , кг/хв.	t , хв.	v_i , м/хв	$[\tilde{t}_{v_i}^-; \tilde{t}_{v_i}^+]$, хв.
1	130	27,2	19,2	0	0,14	0,08	0	8	[3,705; 4,095]
2	130	30,1	18	0	0,14	0,08	0	8	[2,945; 3,255]
3	130	27,0	19,3	0,5	0,14	0,08	3	4	[6,08; 6,72]
4	130	27,1	23,3	0	0,14	0,08	0	8	[4,085; 4,515]
5	140	27,4	19,1	0	0,14	0,08	0	7	[3,99; 4,41]
6	140	32,4	18,1	0	0,14	0,08	0	8	[3,42; 3,78]
7	140	27,4	19,1	0,4	0,14	0,08	2,8	4	[6,65; 7,35]
8	140	27,3	19,5	0,2	0,14	0,08	1,8	6	[4,94; 5,46]
9	150	27,2	19,4	0	0,15	0,08	0	7	[4,37; 4,83]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	150	27,2	19,4	0	0,20	0,08	0	6	[5,035; 5,565]
11	150	27,3	19,2	0,3	0,15	0,08	2,5	4	[6,175; 6,825]
12	150	27,2	19,4	0	0,10	0,08	0	6	[4,655; 5,145]
13	160	27,2	19,5	0	0,14	0,08	0	4	[6,365; 7,035]
14	160	27,2	19,5	0,1	0,14	0,08	0,5	4	[6,65; 7,35]
15	160	27,2	19,5	0,05	0,14	0,08	0,4	4	[6,745; 7,455]
16	160	27,2	19,1	0,1	0,14	0,08	-2,5	6	[4,845; 5,355]
17	170	27,2	19,5	0	0,14	0,08	0	4	[6,935; 7,665]
18	180	27,0	19,3	0	0,14	0,08	0	3	[7,885; 8,715]
19	180	27,0	19,3	0,3	0,14	0,08	-2	4	[6,555; 7,245]

На першому етапі побудови математичної моделі обрали лінійну структуру моделі у такому вигляді:

$$t_{v_i} = g_1 \cdot d - g_2 \cdot V_1 + g_3 \cdot V_2 - g_4 \cdot V_5 - g_5 \cdot V_3 + g_6 \cdot V_4 - g_7 \cdot v_i + g_8 \cdot t + g_9 \quad (7)$$

де $g_i, i = \overline{1..9}$ – невідомі коефіцієнти, значення яких необхідно оцінити на основі аналізу інтервальних даних наведених в таблиці 1.

Тепер користуючись даними таблиці, складемо інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР) в такому вигляді:

$$\begin{cases} \tilde{t}_{v_1}^- \leq g_1 \cdot d - g_2 \cdot V_1 + g_3 \cdot V_2 - g_4 \cdot V_5 - g_5 \cdot V_3 + g_6 \cdot V_4 - g_7 \cdot v_1 + g_8 \cdot t + g_9 \leq \tilde{t}_{v_1}^+ \\ \dots \\ \tilde{t}_{v_i}^- \leq g_1 \cdot d - g_2 \cdot V_1 + g_3 \cdot V_2 - g_4 \cdot V_5 - g_5 \cdot V_3 + g_6 \cdot V_4 - g_7 \cdot v_i + g_8 \cdot t + g_9 \leq \tilde{t}_{v_i}^+ \\ \dots \\ \tilde{t}_{v_{19}}^- \leq g_1 \cdot d - g_2 \cdot V_1 + g_3 \cdot V_2 - g_4 \cdot V_5 - g_5 \cdot V_3 + g_6 \cdot V_4 - g_7 \cdot v_{19} + g_8 \cdot t + g_9 \leq \tilde{t}_{v_{19}}^+ \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язком ІСЛАР (8) є область коефіцієнтів моделі. Апроксимацію цієї області представимо у вигляді описаного навколо області прямокутного багатовимірного паралелепіпеда. Завдяки такому представленню значення коефіцієнтів моделі будуть представлені в інтервальному вигляді.

Для знаходження інтервальних оцінок коефіцієнтів моделі із ІСЛАР (8) використаємо метод аналізу інтервальних даних та пакет прикладних програм INTERDAT [4]. В результаті виконаних обчислень отримуємо таку інтервальну модель:

$$[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+] = [2,1; 2,2] + [0,029; 0,031] \cdot d - [0,056; 0,064] \cdot V_1 + [0,13; 0,15] \cdot V_2 - [0,095; 0,105] \cdot V_5 - [6,62; 7,03] \cdot V_3 + [18,7; 19,9] \cdot V_4 - [0,51; 0,55] \cdot v_i + [0,22; 0,24] \cdot t \quad (9)$$

Отримана інтервальна модель забезпечує обчислення гарантованої інтервальної оцінки часу затвердіння гіпсоводної суміші (гісового осердя плити) для заданих параметрів технологічного обладнання та технологічних характеристик складників для виготовлення гіпсокартонних плит.

Забезпечення функціональної придатності лінії по виробництву гіпсокартону

Представимо інтервальну модель (9) для оптимальних швидкостей лінії конвеєра $v_i = \overline{1..8}$ м/хв. Для кожної фіксованої швидкості лінії конвеєра відомі допустимі нижнє та верхнє значення часу твердіння гіпсового осердя, зокрема для швидкості руху конвеєра 1 м/хв час твердіння гіпсового осердя складає [25;31] хв, для 2 м/хв. - [12,6;15,6] хв тощо. Отже інтервальна модель (9) набуде вигляду:

$$\begin{cases}
 25 \leq [1,55;1,69] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 31 \\
 12,6 \leq [1;1,18] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 15,6 \\
 8,37 \leq [0,45;0,67] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 10,23 \\
 6,3 \leq [-0,1;0,16] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 7,7 \\
 5,04 \leq [-0,65;-0,35] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 6,16 \\
 4,23 \leq [-1,2;-0,86] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 5,17 \\
 3,6 \leq [-1,75;-1,37] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 4,4 \\
 3,15 \leq [-2,3;-1,88] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_5 - \\
 - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot t \leq 3,85
 \end{cases} \quad (10)$$

Введемо обмеження, на параметри технологічного обладнання та характеристики складників технологічного процесу з метою отримання множини розв'язків ІСЛАР, які відповідають фізичному змісту процесів. А саме, введемо допустимі межі: на характеристики якості гіпсо-водної суміші (розтікання), на параметри технологічного обладнання щодо швидкості подачі гіпсу, води з розчиненим крохмалем, корегуючої речовини, піноутворювача, повітря та обмеження на характеристику якості корегуючої речовини, отримуємо таку додаткову систему нерівностей:

$$\begin{cases}
 130 \leq d \leq 180 \\
 15 \leq V_1 \leq 40 \\
 10 \leq V_2 \leq 30 \\
 0 \leq V_3 \leq 0,2 \\
 0,05 \leq V_4 \leq 0,15 \\
 0 \leq V_5 \leq 1 \\
 -2 \leq t \leq 2
 \end{cases} \quad (11)$$

Доповнимо ІСЛАР (10) системою нерівностей (11). Тепер спираючись на «метод синтезу параметрів технічних систем на основі допускового оцінювання з урахуванням допусків на параметри технічних систем», наведений в праці [6] обчислимо значення параметрів технологічного обладнання, значення характеристик складників технологічного процесу виготовлення гіпсокартону, а також їхні технологічні допуски. В нашому випадку, суть застосування методу полягає в пошуку множинного розв'язку ІСЛАР (10-11) у вигляді інтервальних оцінок параметрів технологічного процесу. Як відомо з праці [6], для знаходження цих інтервальних оцінок ІСЛАР (10-11) необхідно перетворити до оптимізаційної задачі виду:

$$F([\underline{b}_k + \underline{b}_k \cdot \underline{db}^-; \underline{b}_k + \underline{b}_k \cdot \underline{db}^+]) \xrightarrow{\underline{b}_k, \underline{db}_k} \min, \underline{b}_j > 0, \underline{db}_j > \underline{db}_j^z, j = 1..7 \quad (12)$$

де \underline{db}_j^z - задані мінімально допустимі допуски на параметри технологічного обладнання, характеристик складників технологічного процесу виготовлення гіпсокартону; вектор $\underline{b}_k = (d, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, t)$; $F([\underline{b}_k + \underline{b}_k \cdot \underline{db}^-; \underline{b}_k + \underline{b}_k \cdot \underline{db}^+])$ - значення функції мети, яка побудована на основі ІСЛАР (10-11) і на кожній ітерації визначає досягнуту «якість» наближення оцінки вектора параметрів системи до шуканих номінальних значень. Інтервальний вектор оцінок параметрів системи отримуємо на основі методу випадкового пошуку з використанням модифікованого методу направляючого конуса Растрігіна для випадку знаходження інтервальних розв'язків оптимізаційної задачі [6].

Результатом застосування вище зазначеного методу синтезу параметрів технічних систем та розробленого на його основі програмного комплексу, функціональні можливості якого описані в праці [7], отримуємо інтервальні вектори значень параметрів та характеристик системи, зокрема для:

- діаметру плями розтікання гіпсоводної суміші – $d = [161,7;168,3]$;
- швидкості подачі гіпсу – $V_1 = [25,02;29,37]$;
- швидкості подачі води з розчиненим крохмалем – $V_2 = [18,62;20,18]$;

- швидкості подачі коректора часу затвердіння – $V_5 = [0,099;0,101]$;
- швидкості подачі піноутворювача – $V_3 = [0,137;0,142]$;
- швидкості подачі повітря – $V_4 = [0,079;0,081]$;
- характеристики коректору затвердіння – $t = [0,00099;0,00101]$.

Отримані допуски як на параметри технологічного обладнання, так і на характеристики складників для виготовлення гіпсокартону повністю відповідають фізичному змісту і забезпечують функціональну придатність лінії по виробництву гіпсокартону. З врахуванням отриманих результатів технологів достатньо переконатись, що характеристики сировини (наприклад, гіпсу) знаходяться в заданих межах і в такому випадку це усуває необхідність додаткового експериментального налаштування технологічного обладнання. Таким чином розроблені в праці математичні моделі функціональної придатності лінії по виробництву гіпсокартону дають можливість суттєво зменшити час налаштування технологічної лінії і практично виключити на цій стадії виробництво бракованих гіпсокартонних плит

Висновки

Розглянута задача моделювання параметрів технологічного обладнання та забезпечення його функціональної придатності в умовах змінних характеристик складників для виробництва гіпсокартону. В процесі аналізу встановлено, що функціональна придатність лінії по виробництву гіпсокартону безпосередньо залежить від параметрів технологічного процесу, характеристик складників і визначається допусками на час затвердіння гіпсового осердя при переміщенні на конвеєрній лінії. Створена інтервальна модель затвердіння гіпсового осердя в залежності від наступних характеристик: діаметру розтікання гіпсоводної суміші, швидкостей подачі гіпсу, води з розчиненим крохмалем, повітря, коректора часу затвердіння та піноутворювача, а також характеристики якості коректора. Показана адекватність математичної моделі. На основі моделі розглянута задача синтезу параметрів технологічного обладнання, значення характеристик складників технологічного процесу виготовлення гіпсокартону, а також їхніх технологічних допусків. Отримані технологічні допуски повністю відповідають фізичному змісту та забезпечують функціональну придатність лінії по виробництву гіпсокартону.

Література

1. <http://msd.in.ua/lin-proizv-gips-karton/>
2. <http://asyan.org/potra>
3. Дворкін Л.Й. Опоряджувальні матеріали і вироби/Л.Й.Дворкін/ Навч. посібник – 2-ге вид. Перероб. – К.: Вища шк., 1996. – 335 с.
4. Дивак Т.М. Параметрична ідентифікація інтервального різницевого оператора на прикладі макромоделі розподілу вологості у листі гіпсокартону в процесі його сушіння / Т. М. Дивак / Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : міжнар. наук.–техн. журнал. – 2012. – Вип. 3. – С. 79–85.
5. Дивак М.П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними: монографія /М.П.Дивак/Видавництво ТНЕУ «Економічна думка» – Тернопіль, 2011. – 216с.
6. Крепич С.Я. Порівняльний аналіз часової складності процедур випадкового пошуку в задачі синтезу при заданих допустимих значеннях вихідних характеристик та допусків на параметри його елементів /С.Я.Крепич/ Вісник ТНТУ, Науковий журнал – Тернопіль, 2015. - №1(77). – С.204-219
7. Крепич С.Я. Програмний комплекс оцінювання функціональної придатності пристроїв при заданих допустимих значеннях вихідних характеристик та допусків на параметри їх елементів /С.Я.Крепич/ Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали V Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2015. – Тернопіль: ТНЕУ, 2015. – С.23-25

References

1. <http://msd.in.ua/lin-proizv-gips-karton/>
2. <http://asyan.org/potra>
3. Dvorkin L.Y. Oporядzhuval'ni materialy' i vyroby'/L.Y.Dvorkin/ Navch. posibny'k – 2-he vyd. Pererob. – K.: Vy'shcha shk., 1996. – 335 s.
4. Dyvak T.M. Parametry'chna identy'fikatsiya interval'noho rizny'tsevoho operatora na pry'kladі makromodeli rozpodilu volohosti u ly'sti hipsokartonu v protsesi yoho sushinnya / T. M. Dyvak / Informatsiyi tekhnolohiyi ta komp'yuterna inzheneriya : mizhnar. nauk.–tekh. zhurnal. – 2012. – Vyp. 3. – S. 79–85.
5. Dyvak M.P. Zadachi matematy'chnoho modelyuvannya staty'chnykh sy'stem z interval'ny'my' dany'my':monohrafiya /M.P.Dyvak/ Vy'davny'tstvo TNEU «Ekonomiczna dumka» – Ternopil', 2011. – 216s.
6. Krepych S.Ya. Porivnyal'ny'y analiz chasovoyi skladnosti protsedur vy'padkovoho poshuku v zadachi sy'ntezy pry' zadany'kh dopusty'my'kh znachennyakh vykhidny'kh kharaktery'sty'k ta dopuskiv na parametry' yoho elementiv /S.Ya.Krepych/ Visny'k TNTU, Naukovy'y zhurnal – Ternopil', 2015. - №1(77). – S.204-219
7. Krepych S.Ya. Prohramny'y kompleks otsinyuvannya funktsional'noyi pry'datnosti pry'stroyv pry' zadany'kh dopusty'my'kh znachennyakh vy'khidny'kh kharaktery'sty'k ta dopuskiv na parametry' yikh elementiv /S.Ya.Krepych/ Suchasni komp'yuterni informatsiyi tekhnolohiyi: Materialy' V vseukrayins'koyi shkoly'-seminaru molody'kh vcheny'kh i studentiv ASIT'2015. – Ternopil': TNEU, 2015. – P.23-25

Рецензія/Peer review : 10.11.2014 р.

Надрукована/Printed :28.10.2015 р.
Рецензент: д.т.н., доцент Добротвор І.Г.

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Проаналізовано сучасні методи текстуровання. Запропоновано для анізотропної фільтрації метод простого визначення координат текселів, що визначають колір екранного пікселя, з урахуванням кута нахилу полігона. Запропоновано метод визначення усередненого значення кольору пікселя з використанням вагових функцій.

Ключові слова: текстуровання, анізотропна фільтрація, фільтрація текстур

O.N. ROMANIUK, O.O. DUDNYK, S.I. VYATKIN
Vinnytsia National Technical University

MODIFICATION OF ANISOTROPIC FILTERING

This article considers the modern methods of texturing. A simple method of determining the coordinates of texels that determine pixel color screen, given the inclination angle ground for anisotropic filtering. The method of calculating the average pixel color values using weighting functions.

Keywords: texturing, anisotropic filtering, texture filtering

Постановка задачі

При побудові високореалістичних зображень використовують текстури[1], які накладають на графічні об'єкти. Текстуровання дозволяє успішно вирішувати задачі, які надзвичайно трудомістко розв'язати прямими методами [1], дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати та зробити можливим інтерактивний режим візуалізації [1]. Застосовувані в тривимірній графіці методи накладення текстур, використовуються для візуалізації тривимірних сцен з високим ступенем деталізації. Генерація текстури полягає в проектуванні зображення на тривимірну поверхню. Таким чином забезпечується додаткова деталізація об'єкта без ускладнення його геометрії. Для імітації реалістичних сцен необхідно використовувати велику кількість деталізованих текстур.

Для визначення кольору екранного пікселя використовують усереднення кольору всіх текселів, проекція яких відповідає даному пікселю.

Серед методів фільтрації текстур найбільш поширеними є білінійна та трилінійна фільтрації.

Білінійна фільтрація [3] передбачає розрахунок кольору пікселя на екрані, за допомогою усереднення кольору чотирьох текселів, що задають проекцію цього пікселя з плоского екрану на тривимірну площину.

Трилінійна фільтрація [3] є комбінацією мір-текстуровання та білінійної фільтрації. Фактично виконується білінійна фільтрація на двох мір-рівнях, що в результаті дає 2 текселя по одному для кожного мір-рівня. Колір пікселя, який повинен бути виведений на екран, визначається в результаті інтерполяції за кольорами двох мір-текстур [2].

Ці методи текстуровання дозволяють відносно коректно розраховувати колір тільки для тих пікселів, відповідні текселі яких знаходяться в текстурній площині, яка паралельна екрану. Таке обмеження викликано тим, що вибірка груп з чотирьох текселів при білінійної фільтрації відбувається по строго заданому закону.

Текселі, як правило, апроксимують коло, що і є проекцією екранного пікселя на площину текстури. Чим більше поверхня текстури відхиляється від паралелі екрану, тим більша буде значення похибки при визначенні кольору пікселя. У результаті чого, текстури, розташовані під гострими кутами, сильно розмиваються [2].

Тому сьогодні при текстурованні широко використовується анізотропна фільтрація, яка дозволяє більш точно визначати кольори пікселів, які відповідають елементам текстури, що розташовані не паралельно екрану. Це найбільш якісний і поширений метод текстуровання. На відміну від ізотропних видів фільтрації (білінійна та трилінійна) використовується проекція пікселя на текстурну поверхню [2].

При анізотропної фільтрації проекція пікселя на поверхню текстури розглядається не як коло, а як витягнутий еліпс (рис. 1), що дозволяє точніше визначати кольори пікселів [3].

Для того, щоб коректно обчислити колір пікселя, необхідно врахувати кольори всіх текселів [1], які охоплює еліпс. Це достатньо складна процедура для генерації зображень у реальному часі, тому використовують деякі спрощення. Основна ідея таких спрощень – це наближення еліпса з великим ексцентриситетом декількома еліпсами з меншими

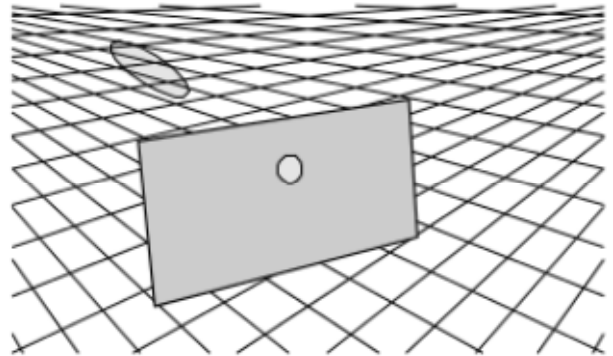


Рис. 1. Проекція пікселя на поверхню текстури

ексцентриситетами. Таким чином, можна подолати обмеження, накладені апаратними засобами та забезпечити фільтрацію найкращим фільтром з високим ступенем анізотропії. Найчастіше еліпс розбивають на менші за площею кола рівного

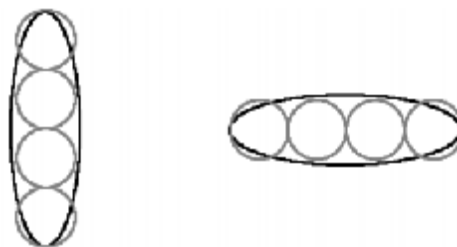


Рис. 2. Розбиття еліпса на кола діаметру (рис. 2). Потім знаходять середні значення кольору для кожного кола [4].

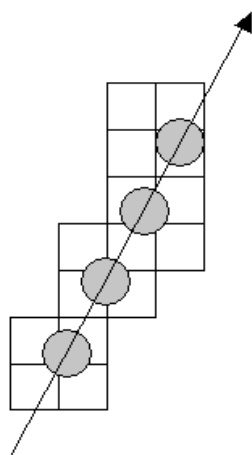


Рис. 3. Визначення точок, що належать до проекції пікселя на текстуру

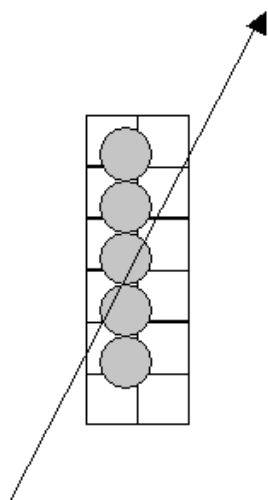


Рис. 4. Спрощення при визначенні точок, що належать до проекції пікселя на текстуру

На практиці коло апроксимують квадратом площею чотири в текселі. Таким чином, фактично виконується білінійна фільтрація у кількох точках вздовж вектору нахилу полігону, а отримані значення усереднюються (рис. 3). Кількість таких точок залежить від кута нахилу.

Визначення координат усіх необхідних текселів є ресурсоємною задачею, тому ряд виробників графічних процесорів спрощують її, розглядаючи лише два часткові випадки положення

вектору нахилу: паралельно осі OX і перпендикулярно їй.

У такому випадку координати центру проекції в координатах текстури визначають за формулою:

$$\begin{cases} cx = x_d \times \frac{w_d}{w_t} \\ cy = y_d \times \frac{h_d}{h_t} \end{cases}, \quad (1)$$

де x_d, y_d - відносні координати пікселя в екранній площині; w_d, h_d - ширина та висота, проекції полігону на екранну площину; w_t, h_t - ширина та висота полігону в текстурній площині. Координати одного із чотирьох пікселів ($P1$), що формують квадрат, визначають шляхом округлення координат отриманої точки (C) до більшого цілого (рис. 5). Для визначення координат точок $P2, P3, P4$ аналізують дробову частину i . Для пікселя $P2$ y -координата рівна y -координаті пікселя $P1$, а x -координата на 1 менша x -координаті пікселя $P2$, якщо дробова частина менша 0.5 або на 1 більша якщо дробова частина більша за 0.5. Аналогічним чином обчислюється y -координата для $P4$. Для $P3$ x -координата рівна x -координаті пікселя $P2$, а y -координата – y -координаті пікселя $P4$.

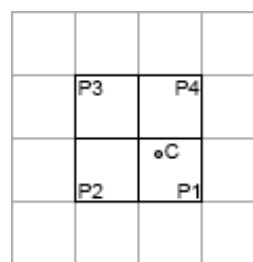


Рис. 5. Координати центру проекції

Координати пікселів, що утворюють інші квадрати, які входять до проекції, знаходять шляхом зміщення $P1, P2, P3, P4$ на 2 пікселя вгору і в низ, якщо полігон має більший нахил відносно OX ніж відносно OY (кут вектора нахилу у текстурній площині близький до $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ або 270°) або на 2 пікселя вправо та вліво, якщо нахил відносно OY більший нахилу відносно OX (кут вектора нахилу у текстурній площині близький до 0° або 180°).

Такий підхід забезпечує високу продуктивність, проте він не враховує ситуацію, коли полігон значно відхилено як від осі OX так і від OY , що зумовлює появу артефактів. Тому даний метод можна покращити шляхом обчислення координат пікселів для кутів, близьких до $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$, або 315° .

Очевидно, що для таких кутів координати текселів, що утворюють додаткові квадрати повинні визначатись шляхом зміщення $P1, P2, P3, P4$ як по осі OX , так і по осі OY . Проте слід урахувати, що центр проекції (C) у більшості випадків зміщено відносно центру квадрата, утвореного $P1, P2, P3, P4$, а тому для коректності обчислень необхідно врахувати це відхилення.

Таким чином, необхідно врахувати дробову частину i . Якщо вона більша за 0.5, то зсув потрібно

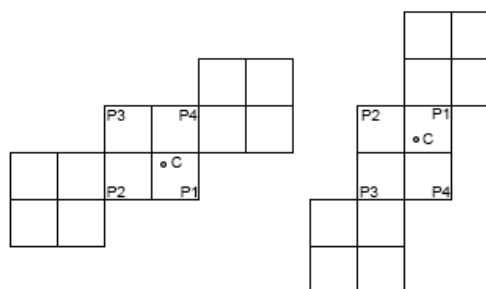


Рис. 6. Текселі що належать до проекції пікселя на текстуру для кута нахилу 45°

виконувати на 2 пікселя по осі OY і на 1 по осі OX , а якщо менша, то навпаки (рис. 6).

З метою підвищення реалістичності відтворення тривимірних сцен при використанні анізотропної фільтрації важливо врахувати те, що інтенсивність кольору всередині пікселя зменшується нелінійно від його центра до периферійних зон. Тому підвищити реалістичність формування вихідного зображення описаним методом можна шляхом використання вагових функцій при обрахунку усередненого значення кольору пікселя відповідно до Гаусівської моделі (рис. 7).

Таким чином, усереднене значення кольору в кожному квадраті слід обраховувати за формулою:

$$P = \frac{P_1 B_1 + P_2 B_2 + P_3 B_3 + P_4 B_4}{4}, \quad (2)$$

де P_1, P_2, P_3, P_4 – кольори точок на текстурній площині, B_1, B_2, B_3, B_4 – ваги відповідних точок. Ваги точок визначаються відповідно Гаусівської моделі пікселя. Тому для всіх точок квадрату, що лежить у центрі проєкції ваги рівні 0.25. Для інших квадратів точка, що, лежить ближче до центру проєкції матиме вагу 0.3, протилежна їй по діагоналі – 0.2, а інші по 0.25. Для випадків, коли кут вектора нахилу у текстурній площині близький до $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ або 270° , ваги двох точок, що лежать ближче до центру проєкції рівні 0.3, а двох інших по 0.2 (рис. 8).

Отримані значення для всіх квадратів слід усереднити за формулою:

$$P = \frac{P_1 B_1 + P_2 B_2 + \dots + P_N B_N}{N}, \quad (3)$$

де P_1, P_2, \dots, P_N – усереднені значення кольорів для кожного квадрату, B_1, B_2, \dots, B_N – ваги відповідних квадратів, N – кількість квадратів. Ваги квадратів необхідно обирати таки чином, щоб сумарна вага була рівною 1, вага квадрату у центрі проєкції була найбільшою, а ваги інших квадратів зменшувались по мірі віддалення від центру проєкції. На приклад, для трьох квадратів можна обрати ваги 0.3, 0.4, 0.3 (рис. 9).

Висновки

Анізотропна фільтрація дозволяє досягти більш високої реалістичності формування графічних сцен. Запропоновано метод простого визначення координат текселів, що визначають колір екранного пікселя, з урахуванням кута нахилу полігона.

Література

1. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.
2. Гусятин В. М. Метод анізотропної фільтрації текстур при синтезі зображень обратним трассированием / В. М. Гусятин, Я. В. Чаговец, Д.Г. Кожушко // Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-2009). Выпуск 10 (153). – Донецк: ДонНТУ. – 2009. – С. 64-69.
3. Романюк О. Н. Спрощення процедури накладання текстур на тривимірні графічні об'єкти / О. Н. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2006. — № 2. — С. 114—118.
4. Olano M. Vertex-based Anisotropic Texturing Proceedings of Graphics Hardware 2001: the 16th ACM/Eurographics Symposium on Graphics Hardware (Los Angeles, CA, August 12-13, 2001) / Marc Olano, Shrijeet Mukherjee, Angus Dorbie, . — С 95–98.

References

1. Romanyuk O. N. Vy`sokoproduktyvni metody` ta zasoby` zafarbovuvannya try`vy`mirny`x grafichny`x ob`yektiv. Monografiya. / O. N. Romanyuk, A. V. Chorny`j. - Vinny`cya : UNIVESUM-Vinny`cya, 2006.—190 s.
2. Gusyaty`n V. M. Metod any`zotropnoj fy`l`tracy`y` tekstur pry` sy`nteze y`zobrazheny`j obratnym trassy`rovany`em / V. M. Gusyaty`n, Ya. V. Chagovecz, D.G. Kozhushko // Y`nformaty`ka, ky`berny`ka y` vychy`sly`tel`naya texny`ka (Y`KVT-2009). Vy`pusk 10 (153). – Doneczk: DonNTU. – 2009. – С. 64-69.
3. Romanyuk O. N. Sproshhennya procedury` nakladannya tekstur na try`vy`mirni grafichni ob`yektiv` / O. N. Romanyuk // Vy`miryuval`na ta obchy`slyuval`na texnika v tehnologichny`x procesax. — 2006. — # 2. — S. 114—118.
4. Olano M. Vertex-based Anisotropic Texturing Proceedings of Graphics Hardware 2001: the 16th ACM/Eurographics Symposium on Graphics Hardware (Los Angeles, CA, August 12-13, 2001) / Marc Olano, Shrijeet Mukherjee, Angus Dorbie, . — S 95–98.

Рецензія/Peer review : 27.9.2015 р.

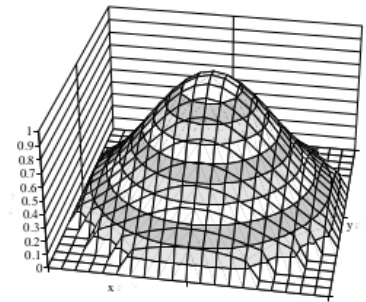


Рис. 7. Гаусівська модель пікселя

		0.25	0.2			0.2	0.2
			0.3	0.25		0.3	0.3
						0.25	0.25
			0.25	0.25		0.25	0.25
						0.3	0.3
		0.25	0.3			0.2	0.2
		0.2	0.25				

Рис. 8. Значення ваг точок

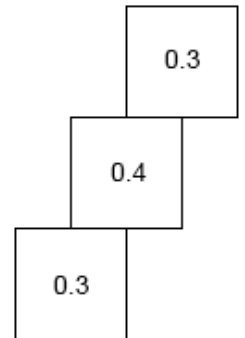


Рис. 9. Ваги квадратів

ПОШУК АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В МАРКЕТИНГОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

У статті запропоновано підхід до пошуку асоціативних правил з використанням модифікованого FPG-алгоритму і нечіткої логіки, що може бути використаний при прийнятті рішень в маркетинговій діяльності. За допомогою його використання збільшено швидкодію пошуку та підвищено інформативність знайдених асоціативних залежностей.

Ключові слова: маркетингова діяльність, асоціативні правила, FPG-алгоритм, нечітка логіка, прийняття рішень.

TAMARA SAVCHUK, NATALIA PRYIMAK
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

SEARCHING OF ASSOCIATION RULES FOR DECISION-MAKING IN MARKETING ACTIVITY

The article reviews approach of searching associative rules using fuzzy logic and modified FPG-algorithm, and can be used during decision making in marketing activities. Searching speed and informative of found associative relationships increased by using this approach. Keywords: marketing activity, association rules, FPG-algorithm, fuzzy logic, decision making.

Вступ

Маркетинг, як управлінська діяльність, передбачає прийняття рішень на базі багатоваріантних економічних розрахунків з використанням комп'ютерної техніки і орієнтована на створення організаційних, економічних і юридичних умов для ефективного функціонування і розвитку організації в цілому. Складовою частиною підвищення економічної діяльності підприємства є забезпечення високої ефективності управління маркетинговими технологіями, що є важливим в сучасній економічній ситуації.

Для оптимізації маркетингової політики організації і поліпшення обслуговування клієнтів, за рахунок аналізу збереженої інформації про них та історії взаємодії компанії з користувачами, використовуються системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM) [1].

Підходи, що реалізовані в CRM орієнтовані на підвищення ефективності маркетингового планування за рахунок автоматичного збору інформації про клієнтів і максимального її використання.

При вирішенні маркетингових завдань все частіше спостерігається зростання застосування методів та інструментів штучного інтелекту, що використовує програмне забезпечення для автоматизації та комп'ютеризації маркетингових процесів, які раніше виконувалися лише вручну менеджерами. Він допомагає і дозволяє ефективно здійснювати такі процеси як сегментація клієнтів, управління кампаніями, просування продукції і т.п. Автоматизація маркетингової діяльності також є ключовим компонентом в управлінні взаємовідносинами з клієнтами [2].

Дослідження пошуку та застосування асоціативних правил при прийнятті рішень в маркетинговій діяльності є актуальним, оскільки на даний момент на ринку товарів та послуг зосереджена велика кількість інформації, яку людина-експерт не в змозі сприйняти та опрацювати, проте це легко реалізується з використанням автоматизованих засобів.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу прийняття рішень в маркетинговій діяльності, за рахунок збільшення швидкодії пошуку та підвищення інформативності знайдених асоціативних правил, що забезпечується впровадженням відповідного підходу.

Сучасні підходи до прийняття рішень в маркетинговій діяльності

Серед сучасних підходів до прийняття рішень в маркетинговій діяльності особливого значення набувають такі.

1. Використання дерев класифікації [3], що призначені для передбачення найбільш ймовірного значення залежної змінної в корзині користувача від відповідних значень однієї або декількох змінних-предикатів. Дерева класифікації часто використовуються компаніями, які займаються збором інформації про клієнтів і відстеженням їх реакції на ті чи інші пропозиції. Але такі алгоритми пошуку прихованих закономірностей, обмежені при дослідженні багатовимірних даних, оскільки, при зменшенні розмірності даних, вони не враховують всю інформацію, а отже втрачається інформативність вихідних результатів.

2. Методи класифікації [4], що у маркетинговій діяльності використовуються для розбиття клієнтів на різні групи, класифікації споживачів і постачальників, виявлення схожих виробничих ситуацій. При використанні даних методів інформативність отриманих даних є недостатньою.

3. Нейронні мережі, які увійшли в маркетингову діяльність для вирішення задач прогнозування та класифікації. Проте, їх застосування для виявлення залежностей у продуктивній корзині користувача вимагає додаткових витрат часу на навчання мережі [1].

4. Алгоритми пошуку асоціативних правил (алгоритми аналізу ринкової корзини) [4], серед яких найпоширенішими є FPG-алгоритм та Apriori [5,6]. Алгоритм Apriori здійснює генерацію кандидатів, з яких можуть бути знайдені залежності, що збільшує час його виконання. Крім цього, він вимагає багаторазового сканування бази даних транзакцій в залежності від кількості предметів в найдовшому предметному наборі,

що є тривалим процесом, враховуючи потужні об'єми інформації, які потрібно аналізувати при застосуванні в маркетинговій діяльності. FPG-алгоритм спрощує аналіз даних завдяки стискуванню транзакцій в компактну структуру та дозволяє швидко й повністю вилучити часті предметні набори. Для побудови FP-дерева застосовується технологія розподілу і захоплення, основна ідея якої полягає в декомпозиції складних задач на простіші. Знаходження асоціативних правил за допомогою FPG-алгоритму передбачає подвійне сканування бази даних для виявлення частих наборів [7]. Оскільки в маркетинговій діяльності інформація не є чітко структурованою, то виникає необхідність використання нечіткої логіки, яка точніше відповідає характеру людського мислення, ніж традиційні формально-логічні системи. При цьому, слабкі сторони FPG-алгоритму можна усунути шляхом його модифікації з метою отримання інформації не із однієї окремої сутності бази даних, а із їх комбінацій. Це збільшить інформативність знайдених асоціативних правил, що є доцільним при прийнятті рішень під час визначення політики маркетингової діяльності організації.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику вказаних підходів.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика підходів до прийняття рішень в маркетинговій діяльності

Назва підходу	Можливість аналізу потужних об'ємів даних без втрати інформативності	Можливість швидкого аналізу даних
Дерева класифікації	Відсутня	Наявна
Кластеризація	Відсутня	Відсутня
Нейронні мережі	Наявна	Відсутня
Використання асоціативних правил	Наявна	Наявна

Отже, актуальним є застосування модифікованого FPG-алгоритму для пошуку асоціативних правил з використанням нечіткої логіки, що дозволить аналізувати зібрану та збережену інформацію із CRM-систем, а менеджерам компаній на основі знайдених залежностей приймати рішення, що допоможуть підвищити ефективність маркетингової діяльності організації.

Постановка задачі

Нехай множина товарів чи послуг I , придбаних одним покупцем, описується виразом:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n\}, \quad (1)$$

де i_k – це k -ий товар чи k -а послуга, $k = \overline{1, n}$,

n – потужність множини I .

Нехай множина транзакцій D стосовно корзини користувача, визначається як:

$$D = \{T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_m\}, \quad (2)$$

де T_j – це j -а транзакція над k -м товаром чи k -ою послугою, що може бути поданою як:

$$T_j = \{T_{j_{ik}} \mid T_{j_{ik}} \in D\}, \quad (3)$$

де $j = \overline{1, m}$,

m – потужність множини T_j .

Тоді, множина транзакцій D_{i_k} стосовно k -го товару чи k -ої послуги, матиме вигляд:

$$D_{i_k} = \{T_{j_{ik}} \mid i_k \in I; k = \overline{1, n}\} \subseteq D. \quad (4)$$

Деякий випадковий набір товарів чи послуг з корзини користувача F , можна представити виразом:

$$F = \{i_k \mid i_k \in I; k = \overline{1, n}\}, \quad (5)$$

а множину транзакцій D_F , в якій входить цей набір F , визначити як:

$$D_F = \{T_{j_{ik}} \mid F \subseteq T_{j_{ik}}; k = \overline{1, n}\} \subseteq D. \quad (6)$$

Підтримка набору $Supp(F)$ є відношенням кількості транзакцій, в якій входить цей набір F , до загальної кількості транзакцій в базі даних D :

$$Supp(F) = \frac{|D_F|}{|D|}. \quad (7)$$

Перед пошуком асоціативних правил потрібно визначити мінімальну підтримку наборів $Supp_{\min}$, що найчастіше виконується експертом.

Отже, під час пошуку асоціативних правил необхідно знайти таку множину всіх наборів L , у яких значення підтримки більше за значення $Supp_{\min}$:

$$L = \{F \mid Supp(F) > Supp_{\min}\}, \quad (8)$$

Пошук асоціативних правил для прийняття рішень в маркетинговій діяльності

Зменшення кількості асоціативних правил для прийняття рішень в маркетинговій діяльності дасть можливість скоротити витрати часу на аналіз продуктової корзини користувача. Крім того, застосування нечіткої логіки забезпечить виконання аналізу слабко структурованої інформації про товари та послуги.

Для обмеження кількості знайдених асоціативних правил і збільшення їх достовірності використаємо значення мінімальної достовірності $Conf_{\min}$, що задається експертом, та є чисельно більшим за значення мінімальної підтримки:

$$Supp_{\min} < Conf_{\min} \quad (9)$$

Множина залежностей C являє собою підмножину множини наборів L :

$$C = \{L \mid Supp_{\min} < Conf_{\min}\} \quad (10)$$

Оскільки існують додаткові фактори, які можуть пливати на остаточне рішення експерта, то для уточнення множини залежностей C також використаємо теорію нечітких множин з метою математичної формалізації початкової інформації про досліджуваний процес прийняття рішень. Експерту, в ролі якого виступає менеджер, потрібно вибрати для використання знайдені алгоритмом залежності в умовах недостатньої інформації, що являє собою задачу невизначеності. На відмін від класичного алгоритму FPG, виконаємо пошук асоціативних залежностей стосовно не однієї окремої сутності, а комбінації сутностей бази даних.

Тоді, множину асоціативних залежностей C можна описати виразом:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_q, \dots, c_w\}, \quad (11)$$

де c_q – це q -а асоціативна залежність стосовно комбінації сутностей бази даних, $q = \overline{1, w}$,
 w – потужність множини C .

Вибір залежності c_q з множини C відбувається з урахуванням ступеню її відповідності множині вимог M , що визначається системою критеріїв, які мають однакову важливість

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_e, \dots, m_r\}, \quad (12)$$

де m_e – це e -ий критерій, $e = \overline{1, r}$,
 r – потужність множини M .

Кожному критерію m_e відповідає нечітка підмножина m_e :

$$\tilde{m}_e = \{c_q \mid m_{me}(c_q) \in C\} \quad (13)$$

де $m_{me}(c_q)$ – характеристика ступеня відповідності залежності c_q вимозі, що задається критерієм m_e .

Отже, вирішенням задачі пошуку асоціативних правил в маркетинговій діяльності є підмножина \tilde{D} , яка являє собою перетин нечітких множин \tilde{m}_e , що в найбільшій мірі задовольняє вимогам множини критеріїв M :

$$\tilde{D} = \tilde{m}_1 \cap \tilde{m}_2 \cap \dots \cap \tilde{m}_r \quad (14)$$

В якості вирішення задачі пошуку асоціативних правил в маркетинговій діяльності вибирається та залежність c_q , яка з максимальним ступенем належить нечіткому рішенню:

$$m_{\tilde{D}}^*(c_q) = \max_{q \in \{1, \dots, w\}} (m_{\tilde{D}}(c_q)). \quad (15)$$

Серед критеріїв, що впливатимуть на вибір залежностей c_q , можуть виступати:

- соціальні тенденції до покупок, оскільки бажання людей є вагомим фактором при створенні акцій;
- якість товарів, що обумовлює придатність товарів задовольняти певні потреби у відповідності до їх призначення;
- ціни на товари, присутні у виявлених залежностях, що залежить від фінансових можливостей покупців;
- привабливість товарів, що впливає на бажання покупців придбати.

Реалізований підхід був апробований на даних із CRM-системи компанії, яка займається продажем он-лайн ігор. Для дослідження було обрано 25 транзакцій, знайдено асоціативні правила з використанням модифікованого FPG-алгоритму для пошуку залежностей стосовно комбінацій двох сутностей без застосування нечіткої логіки та з її використанням. Результати дослідження представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати досліджень, проведених на базі CRM-системи компанії

Основні показники	Кількість початкових транзакцій, шт	Кількість знайдених асоціативних правил,	Швидкість пошуку асоціативних правил, сек
-------------------	-------------------------------------	--	---

Підхід		шт	
Без використання нечіткої логіки	25	8	10
З використанням нечіткої логіки	25	5	9,6

Як видно з рисунку 1, кількість асоціативних правил (популярних предметних наборів товарів та послуг) з використанням запропонованого алгоритму при застосуванні нечіткої логіки скоротилася у 5 разів, що свідчить про збільшення швидкодії пошуку та підвищення інформативності знайдених залежностей.

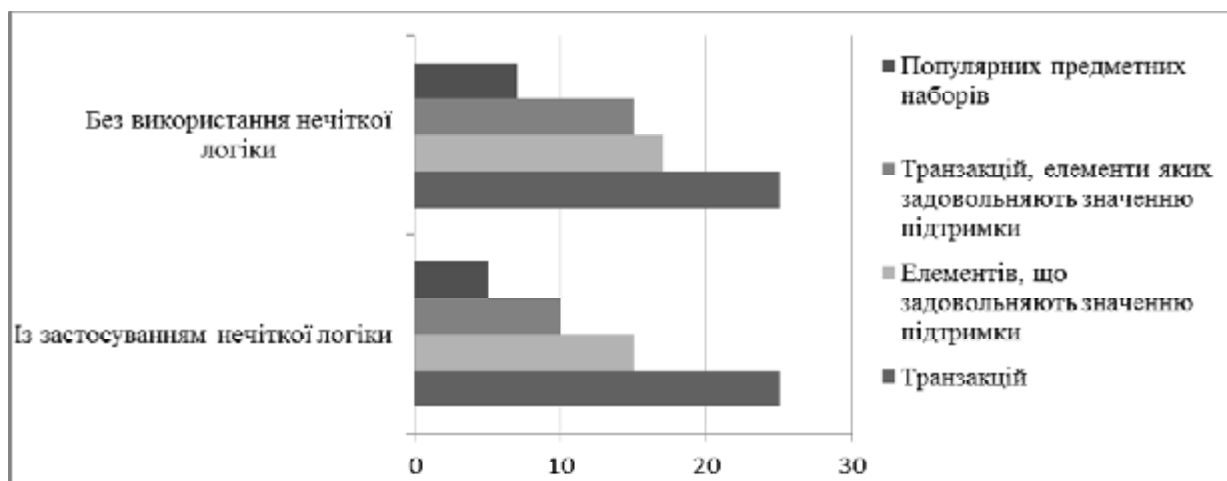


Рис. 1. Результати досліджень, проведених на основі даних із CRM-системи

Висновки

Отже, проведені наукові дослідження показали, що прийняття менеджерами результативних рішень в маркетинговій діяльності за допомогою винайдених асоціативних правил з використанням модифікованого FPG-алгоритму забезпечить підвищення швидкодії пошуку знайдених залежностей на 0,4 секунд, що складає 4%, та зростання їх інформативності в 5 разів. Запропонований підхід до прийняття рішень може бути використаний при розробці відповідної інформаційної технології.

Література

1. Піта А.В. Сучасні методи оцінки результативності маркетингових технологій підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://viem.edu.ua/konf_v4_1/art.php?id=0139
2. Koll O. Stakeholder value creation and firm success/ O. Koll – Journal of Marketing Management: Washington, 2003. – pp. 262.
3. Ambler T. Assessing marketing performance: reasons for metric selection»/ T.Ambler, F.Kokkinaki, S.Puntoni – Journal of Marketing Management: Washington, 2004. – pp. 498.
4. Agrawal R. Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases. – NewYork:ACM-SIGMOD, 1993. – pp. 123.
5. Park J.S., Philip S.Y. An Effective Hash Based Algorithm for Mining Association Rules/ J.S. Park, S.Y. Philips – NewYork: ACM Press, 1995. – pp.126
6. Шахиди А. Apriori - масштабируемый алгоритм поиска ассоциативных правил [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.basegroup.ru/library/analysis/association_rules/apriori/
7. Шахиди А. FPG - альтернативный алгоритм поиска ассоциативных правил [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.basegroup.ru/library/analysis/association_rules/fpg/

References

1. Pita A.V. Suchasni metody otsinky resultatyvnosti marketyngovyh tehnologiy pidpriumstv [Electronic resource]. – Access: http://viem.edu.ua/konf_v4_1/art.php?id=0139
2. Koll O. Stakeholder value creation and firm success/ O. Koll – Journal of Marketing Management: Washington, 2003. – pp. 262.
3. Ambler T. Assessing marketing performance: reasons for metric selection»/ T.Ambler, F.Kokkinaki, S.Puntoni – Journal of Marketing Management: Washington, 2004. – pp. 498.
4. Agrawal R. Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases. – NewYork:ACM-SIGMOD, 1993. – pp. 123.
5. Park J.S., Philip S.Y. An Effective Hash Based Algorithm for Mining Associati on Rules/ J.S. Park, S.Y. Philips – New York: ACM Press, 1995. – pp.126
6. Shahidi A. Apriori – masshtabirovaniy algoritm poiska assotsiativnyh pravil [Electronic resource]. – Access: http://www.basegroup.ru/library/analysis/association_rules/apriori/
7. Shahidi A.FPG – alternativniy algoritm poiska assotsiativnyh pravil [Electronic resource]. – Access: http://www.basegroup.ru/library/analysis/association_rules/fpg/

УДК 001.5:53.02:53.05

V.F. TIMKOV

The Office of National Security and Defense Council of Ukraine

S.V. TIMKOV

Research and Production Enterprise «TZHK»

ROTATING SPACE OF THE UNIVERSE, AS A SOURCE OF DARK ENERGY AND DARK MATTER

Annotation – Sources and physical nature of dark energy and dark matter can be explained, to find and to determine if it is assumed that after the Big Bang expanding spherical space of the Universe revolves around one of their central axes. Under this condition, loses its meaning and the concept of dark energy, and the imaginary phenomenon of divergence of the objects of the Universe, which is registered as a redshift based on the Doppler effect due to the increase of the linear velocity of these objects with increasing distances from the observer in a rotating spherical space of the Universe. The kinetic energy of the rotating Universe may be the source of dark matter. The energy of the accelerated expansion of the Universe by the pressure of the vacuum does not depend on the absolute value of the vacuum pressure, but it depends on the relative value. Relative value vacuum pressure is equal to the difference between the values of vacuum pressure at the boundary of the Universe to expand and beyond. Since this difference is equal to zero, then does not exist of dark energy.

Keywords: rotating space of the Universe, the Big Bang, dark energy, dark matter.

В.Ф. ТИМКОВ

Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины

С.В. ТИМКОВ

Научно-производственное предприятие «ТЖК»

ВРАЩАЮЩЕЕСЯ ПРОСТРАНСТВО ВСЕЛЕННОЙ, КАК ИСТОЧНИК ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Источники и физическую природу темной энергии и темной материи можно объяснить, найти и определить, если допустить, что расширяющееся после Большого взрыва сферическое пространство Вселенной вращается вокруг одной из своих центральных осей. При таком условии теряет смысл и понятие темной энергии, а мнимое явление разбегания объектов Вселенной, которое регистрируется как красное смещение на основе эффекта Доплера, объясняется увеличением линейной скорости движения этих объектов с ростом расстояния от них до наблюдателя во вращающемся сферическом пространстве Вселенной. Кинетическая энергия вращающейся Вселенной может быть источником темной материи. Ускоренное расширение Вселенной под действием давления вакуума возможно только при условии, что это давление является переменной величиной, зависящей от пространственных координат Вселенной. Так как давление вакуума во Вселенной является константой, то оно не может быть источником темной энергии.

Ключевые слова: вращающееся пространство Вселенной, Большой Взрыв, темная энергия, темная материя.

1. Introduction

Based on the experimental data, scientists have proved that the space of the Universe revolves. For example, Professor Michael Longo (University of Michigan in Ann Arbor), having studied [1,2] in the framework of Sloan Digital Sky Survey (SDSS) database project SDSS DR5, which contains about 40,000 galaxies (of them - more than 15,000 spiral galaxies), for where the value of redshift $z < 0.04$, came to the conclusion that left twisted spiral galaxies is much larger than spiral galaxies swirling right. Conclusions of professor Michael Longo confirmed a group of scientists led by Professor Lior Shamir (Lawrence Technological University) [3]. Was investigated about 250 thousand spiral galaxies, for which the value of redshift $z < 0.3$. Professor Lior Shamir also found that galaxies left more than right. Symmetry breaking between the right- and left - twisted spiral galaxies is about seven percent, but the probability that is a cosmic accident is very low - claims Professor Michael Longo. The results of research professors Michael Longo and Lior Shamir contradict the notion that the Universe is homogeneous and symmetric. Scientists believe that the asymmetry of the Universe emerged in the Big Bang at the expense of the initial rotation of the Universe space counterclockwise.

This means, firstly, that the space of the Universe could have existed before the Big Bang, and secondly, as claims Professor Michael Longo Universe revolves now.

The Universe conditionally can be divided into two parts: part 1 - the observable Universe, part 2 - the rest of the Universe. Vacuum pressure at each point of the Universe is constant. This means that if P_1 - is the vacuum pressure in the observable Universe, and P_2 - is the vacuum pressure in the rest of the Universe, then on the position of the boundary between the parts of the Universe under the influence of energy vacuum pressure can not affect, as $P_1 = P_2$. To change the position of the boundary between the parts of the Universe by the action of the vacuum energy is necessary that the pressure of the vacuum in the different parts of the Universe should have different values. That is a formula of energy for the accelerated expansion of the Universe under the influence of the vacuum energy E_V : $E_V = -P\Delta V$, P - is the vacuum pressure at every point of the Universe, ΔV - the increment volume of space observable Universe under the influence of energy vacuum pressure, should not be based on the absolute value of the vacuum pressure P , and the increment of pressure ΔP : $\Delta P = P_1 - P_2$, that is: $E_V = -\Delta P\Delta V$, since $\Delta P = 0$, than $E_V = 0$. This means that does not exist of dark energy.

In the proposed model of a rotating space of the Universe, due to the absence of dark energy, the total

energy of the Universe is the sum of the potential energy of the baryonic mass of the Universe, the kinetic energy of a rotating Universe and the relativistic energy of the radiation.

2. The model of the expanding and the rotating Universe

Imagine expanding after the Big Bang, and rotating with angular velocity ω Universe as a sphere of radius R and having a mass M . Equation of motion (without Coriolis acceleration) of a particle of unit mass of substance on the surface of a sphere:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2} - \omega^2 R, \quad (1)$$

where G - is the gravitational constant.

Let:

$$\frac{dR}{dt} = HR, \quad (2)$$

$$M = \frac{4}{3} \pi \rho R^3, \quad (3)$$

where ρ - mass density.

Based on (2) for rotating sphere:

$$\omega = H. \quad (4)$$

Multiply by $\frac{dR}{dt}$ and integrate equation (1), then with (3):

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{4}{3} \pi G \rho R - H^2 R. \quad (5)$$

$$\frac{dHR}{dt} = \frac{RdH}{dt} + \frac{HdR}{dt} = -\frac{4}{3} \pi G \rho R - H^2 R \quad (6)$$

But: $\frac{dR}{dt} = HR,$

$$\frac{RdH}{dt} + H^2 R = -\frac{4}{3} \pi G \rho R - H^2 R. \quad (7)$$

Or:

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{4}{3} \pi G \rho - 2H^2. \quad (8)$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R} + \frac{1}{2} H^2 R^2 = A \quad (9)$$

We assume known values of H_0, R_0, ρ_0 at the time t_0 , then:

$$M = \frac{4}{3} \pi \rho_0 R_0^3,$$

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)_{t=t_0} = H_0 R_0,$$

We can determine the value of the constant A in the right-hand side of equation (9):

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)_{t=t_0}^2 - \frac{4}{3} \pi G \frac{\rho_0 R_0^3}{R_0} + \frac{1}{2} H_0^2 R_0^2;$$

$$A = \frac{1}{2} H_0^2 R_0^2 - \frac{4}{3} \pi G \rho_0 R_0^2 + \frac{1}{2} H_0^2 R_0^2 = H_0^2 R_0^2 - \frac{4}{3} \pi G \rho_0 R_0^2.$$

Then:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R} + \frac{1}{2} H^2 R^2 = H_0^2 R_0^2 - \frac{4}{3} \pi G \rho_0 R_0^2,$$

or:

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{8}{3} \pi G \rho_0 \frac{R_0^3}{R} - H^2 R^2 + 2H_0^2 R_0^2 - \frac{8}{3} \pi G \rho_0 R_0^2,$$

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{8}{3} \pi G R^2 \left(\rho_0 \frac{R_0^3}{R^3} - \frac{3H^2}{8\pi G} \right) - \frac{8}{3} \pi G R_0^2 \left(\rho_0 - \frac{3H_0^2}{4\pi G} \right). \quad (10)$$

In the right-hand side of (10) is variable:

$$\frac{8}{3}\pi GR^2 \left(\rho_0 \frac{R_0^3}{R^3} - \frac{3H^2}{8\pi G} \right),$$

which characterizes the dynamics of the process of expansion of the rotating Universe and constant:

$$-\frac{8}{3}\pi GR_0^2 \left(\rho_0 - \frac{3H_0^2}{4\pi G} \right),$$

which is equal to the square of the speed of expansion of the Universe at any given time t_0 .

We show that at the present time expansion of the Universe is missing.

Based on the model of a mathematical pendulum we can define the gravity factor g and a mass M of the Universe:

$$g = \frac{4\pi^2 R_0}{T_0^2},$$

where T_0 - is the period of rotation of the spherical space of the Universe:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{H_0},$$

where H_0 and R_0 - is the Hubble constant and the radius of the spherical space of the Universe in present time. Obviously:

$$R_0 = \frac{c}{H_0},$$

where c - the speed of light, then:

$$g = cH_0, \tag{11}$$

$$M = \frac{gR_0^2}{G} = \frac{c^2 R_0}{G}. \tag{12}$$

Baryon mass density of the Universe is:

$$\rho_0 = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} = \frac{3M}{4\pi R_0^3} = \frac{3c^2}{4\pi GR_0^2} = \frac{3H_0^2 R_0^2}{4\pi GR_0^2} = \frac{3H_0^2}{4\pi G}, \tag{13}$$

This means that the constant in the right-hand side of formula (10) is zero. Substituting the values of H_0 and R_0 in the variable part of the formula (10) leads to the result:

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)_{t=t_0}^2 = H_0^2 R_0^2 = c^2 \tag{14}$$

This means that the particle substance unit mass which is on the boundary of the sphere of the Universe moves along a circle with the linear velocity c . Therefore, the Universe is not expanding now.

From (13) it follows that the density of the baryonic mass of the Universe is twice higher than its critical density, it means [4] that the process of expansion of the Universe will change its compression.

It is proved, that the model (10) of a rotating Universe excludes the presence of dark energy in it.

Here is another proof (by contradiction) the true model (10). Let the Universe under the force of dark energy is expanding, and let the rotation of the Universe is missing. Then on a particle of unit mass of matter, which is on the boundary of the expanding sphere in the Universe, there are two mutually opposing forces: the force of dark energy and the force of gravitational attraction of the Universe. The equation of motion in this case [4], a traditional form:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2}. \tag{15}$$

Or, after integration, multiplication by $\frac{dR}{dt}$ and determine the constant of integration:

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{8}{3}\pi\rho_0 G \frac{R_0^3}{R} - \frac{8}{3}\pi GR_0^2 \left(\rho_0 - \frac{3H_0^2}{8\pi G} \right). \tag{16}$$

Substituting the values of H_0 , R_0 and ρ_0 in the formula (16) gives the result:

$$\left(\frac{dR}{dt} \right)_{t=t_0}^2 = H_0^2 R_0^2 = c^2. \tag{17}$$

At base (17) this means that a particle of unit mass of matter, which is on the surface of the sphere of the

space of the Universe is in motion with velocity c , which is confirmed by the red shift in the emission from distant objects in the Universe. Determine the nature of this movement. For this we define the acceleration of the force of gravitational attraction of the Universe and the acceleration of the forces of dark energy. Obviously, the acceleration due to the force of gravitational attraction of the Universe is gravity factor and is:

$$g = cH_0. \quad (18)$$

If the Universe is expanding with acceleration, then the time of its expansion on the value of $\Delta R = 1$ Mpc is equal to:

$$t = \frac{1}{H_0},$$

then acceleration under the force of dark energy is equal to:

$$a = \frac{c}{t} = cH_0. \quad (19)$$

At base (18, 19) this means that the force of dark energy is balanced by the force of gravitational attraction of the Universe, it also means that the extension is not currently available. But according to (8) is a movement of unit mass with velocity c . The nature of this movement - only circumferentially. That is proved that the Universe revolves, and it is proved, that the model (10) of a rotating Universe excludes the presence of dark energy in it.

3. Source of dark matter

The source of the dark matter may be the kinetic energy of a rotating Universe. If imagine the Universe as a rotating with angular velocity H_0 a sphere of radius R_0 and mass M , then its kinetic energy of rotation is:

$$E_k = \frac{LH_0^2}{2}, \quad (20)$$

where L - is the moment of inertia:

$$L = \frac{2}{5}MR_0^2$$

then:

$$E_k = \frac{LH_0^2}{2} = \frac{1}{5}MR_0^2H_0^2, \quad (21)$$

but: $R_0^2H_0^2 = c^2$, then:

$$E_k = \frac{1}{5}Mc^2.$$

That is, the kinetic energy of the Universe is 20% of its potential energy. On the part of the substance which moves after the Big Bang at an angle to the axis of rotation of the Carioles force. Then the equation of motion has the form:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R} + \frac{1}{2}H^2R^2 + H^2R^2\sin(\Theta) = A. \quad (22)$$

Where Θ - is integral (effective) angle between of vectors the linear and angular velocity of objects of the Universe that are moving at an angles to the axis of rotation. According to the Planck mission [5] for the 2013 share of dark matter in the overall energy balance of the Universe is 26.8%. i.e. on the basis of (22) and assuming that the relative kinetic energy E_{kr} is equal to:

$$E_{kr} = \frac{E_k}{E}$$

where E - is the total energy of the Universe, then the total relative kinetic energy of the Universe is equal to:

$$E_{kr} + 2E_{kr}\sin(\Theta) = 0.268$$

This means that the angle $\Theta = 9,79^\circ$.

It is proved, that the kinetic energy of rotation of the Universe may be the source of dark matter.

Note: The value of the angle Θ is close to the neutrino mixing angle Θ_{13} .

Conclusions

The model of a rotating Universe excludes the presence of dark energy in it. The kinetic energy of rotation of the Universe may be the source of dark matter.

References

1. <http://ccapp.osu.edu/workshops/GLCW8/glcw8/talks/mLongo.pdf>
2. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269311003947>

3. Lior Shamir, "Handedness asymmetry of spiral galaxies with $z < 0.3$ shows cosmic parity violation and a dipole axis", Physics Letters B, Volume 715, Issues 1-3, 29 August 2012, Pages 25-29.
4. Zeldovich Ia. B., Novikov I. D., Structure and evolution of the Universe, Moscow, Nauka, 1975, In Russian.
5. Ade, P. A. R.; Aghanim, N.; Armitage-Caplan, C.; et al. (Planck Collaboration) (22 March 2013). "Planck 2013 results. I. Overview of products and scienti_c results – Table 9, 10". Astronomy and Astrophysics. (A&A 571, A1 (2014)).

Литература

1. <http://ccapp.osu.edu/workshops/GLCW8/glcw8/talks/mLongo.pdf>
2. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269311003947>
3. Lior Shamir, "Handedness asymmetry of spiral galaxies with $z < 0.3$ shows cosmic parity violation and a dipole axis", Physics Letters B, Volume 715, Issues 1-3, 29 August 2012, Pages 25-29.
4. Зельдович Я. В., Новиков И. Д., Структура и эволюция Вселенной, Москва, Наука, 1975.
5. Ade, P. A. R.; Aghanim, N.; Armitage-Caplan, C.; et al. (Planck Collaboration) (22 March 2013). "Planck 2013 results. I. Overview of products and scienti_c results – Table 9, 10". Astronomy and Astrophysics. (A&A 571, A1 (2014)).

Рецензія/Peer review : 20.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 621.391

Ю.С. ГОРОХОВ, Н.В. ЗАХАРЧЕНКО, В.В. КОРЧИНСКИЙ, Б.К. РАДЗИМОВСКИЙ

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

**ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ
ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Показана целесообразность использования таймерных сигнальных конструкций в качестве линейных сигналов для задачи повышения объема передаваемой информации. Рассмотрены различные варианты построения линейных таймерных сигналов. Обосновано введение в структуру сигнала дополнительных импульсных составляющих, обеспечивающих стабильность работы системы синхронизации приемника.

Ключевые слова: линейный сигнал, таймерная сигнальная конструкция, спектр, элемент дельта.

Y.S. HOROKHOV, M.V. ZAKHARCHENKO, V.V. KORCHYNSKII, B.K. RADZIMOVSKIY

Odessa national academy of telecommunication by O. S. Popov

CONSTRUCTING A LINEAR SIGNAL BASED ON THE TIMER SIGNAL CONSTRUCTIONS

The expediency of using timer signal designs as line signals to the problem of increasing the volume of information transmitted. Various variants of linear timing signals. Justify the introduction of the structure of the additional pulse signal components to ensure the stability of the synchronization system of the receiver.

Keywords: linear signal timed signal structures spectrum delta element.

Вступление

Особенности передачи дискретной информации на физическом уровне находят свое отражение в методах представления информационных двоичных единиц и нулей с помощью импульсных или синусоидальных сигналов в линиях связи. Известно, что использование однополярного двоичного сигнала в качестве линейного упрощает техническую реализацию системы связи [1]. Однако его применение ограничивается наличием целого ряда недостатков, основным из которых является сравнительно высокий уровень постоянной составляющей, снижающей в значительной степени помехоустойчивость передаваемой информации [1]. При оценке структуры цифрового линейного сигнала (ЦЛС), как правило, ориентируются на следующие критерии его эффективности: минимум ширины спектра результирующего сигнала при одной и той же битовой скорости; качество структуры сигнала для решения задач самосинхронизации и распознавания ошибок на приемной стороне; несложность реализации. Существующие методы передачи ЦЛС [1] в той или иной мере удовлетворяют данным критериям, однако актуальными являются исследования, которые направлены на повышение объема передаваемой информации по линиям связи без расширения спектра сигнала. Поэтому, для решения данной задачи в статье рассмотрен синтез ЦЛС на базе таймерных сигнальных конструкций.

Построение линейных таймерных сигнальных конструкций

Методы изменения полосы частот ЦЛС [1] основываются на том, что энергетический спектр $G(a)$ произвольной последовательности импульсов можно представить в виде произведения двух множителей:

$$G(\omega) = G_1(\omega) G_2(\omega), \tag{1}$$

где $G_1(\omega)$ – энергетический спектр кодового сигнала; $G_2(\omega)$ – энергетический спектр последовательности $\delta(\omega)$, который определяется статистическими свойствами информационного или специальным образом кодированного сигнала, и, имеют обусловленную полярность и амплитудные

значения в соответствии с множителями при $\delta(\omega)$. Трансформация формы энергетического спектра $G_1(\omega)$ возможна только при соответствующем преобразовании структуры сигнала. Рассмотрим реализацию прямоугольной формы сигнала

$$f(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \Delta\tau, \\ 0, & -\infty < t < 0; \Delta\tau < t < \infty. \end{cases} \quad (2)$$

Требование к ЦЛС на отсутствие в их спектрах постоянной составляющей означает, что сумма элементов сигнала, вычисленная на сравнительно коротком интервале времени T согласно выражению

$$\xi(T) = \sum_{t=T_0}^T a_t^{(k)} \quad (3)$$

должна быть минимальной. Однако энергетический спектр прямоугольного сигнала (2) на нулевой частоте ($\omega=0$) имеет максимальное значение, поэтому для его уменьшения целесообразно применение биполярного сигнала [1]:

$$f_{\text{бс}}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \Delta\tau / 2, \\ -1, & \Delta\tau / 2 < t \leq \Delta\tau, \\ 0, & -\infty < t < 0; \Delta\tau < t < \infty. \end{cases} \quad (4)$$

Спектр такого сигнала расширяется в два раза, но появление импульсов противоположной полярности равновероятно, поэтому они взаимно компенсируются. Информационная эффективность такого биполярного сигнала невысокая, так как для передачи только одного двоичного символа «1» или «0» используется последовательность линейного сигнала их двух импульсов (+1, -1).

Одним из методов устранения избыточности источника и увеличения количества передаваемой информации на заданном интервале времени в телекоммуникационных системах может быть применение сигнальных конструкций, в которых расстояния между моментами модуляции в одной кодовой конструкции не меньше интервала Найквиста, а энергетическое расстояние между кодовыми конструкциями определяется элементом Δ меньшим от интервала Найквиста. Известно [2, 3], что такими свойствами обладают таймерные сигнальные конструкции (ТСК). На отрезке из n единичных временных интервалов t_0 можно получить

$$N_p = \sum_{i=1}^n C_{ns-i(s-1)}^i, \quad (5)$$

сигнальных конструкций с i значащими моментами модуляции, что больше чем при позиционном кодировании. В табл. 1 приведено количество реализаций ТСК с различным числом информационных значащих моментов модуляции (ЗММ) и среднее значение числа ЗММ при разных значениях $s \in (1...20)$ и $T_c = 8t_0$ и $10t_0$.

Таблица 1

Количество реализаций ТСК с различным числом информационных ЗММ и среднее значение числа ЗММ

$n \backslash s$	1	2	3	4	5	10	15	20
8	255	1596	5895	16492	38739	735450	4952841	20628612
	4,02	4,3	4,5	4,67	4,76	5,11	5,3	5,49
10	1023	10945	58424	217224	644760	27042520	$3,02 \cdot 10^8$	$1,83 \cdot 10^9$
	5	5,4	5,67	5,85	6	6,44	6,68	6,83

Сигнальный алфавит бинарных ТСК формируется на интервале времени $T_c = nt_0$, где t_0 – величина, обратная полосе пропускания канала ΔF , при базовом элементе Δ , где $\Delta = t_0/s$; $s \in 1; 2; 3; \dots k$ – целые числа. Пример формирования сигнального алфавита бинарных ТСК на интервале времени $T_c = 7t_0$ при базовом элементе Δ показан на рис. 1 (а). Каждый ЗММ может занимать на интервале формирования ТСК позиции, расположенные на расстоянии $k\Delta \geq t_0$ друг от друга по отношению к предыдущему, причем Δ определяется как минимальное расстояние между соседними положениями одного ЗММ в разных конструкциях. Информация о передаваемом сообщении, переносимая ТСК, содержится в номере временной позиции, занимаемой ЗММ.

Из правила построения таймерных сигналов следует, что в каждой сигнальной конструкции временной импульс с длительностью Δ в канал не передается. Однако значение элемента Δ учитывается, когда на приеме производится оценка поступившей сигнальной конструкции в сравнении со всеми возможными реализациями. Выбор множества ТСК, удовлетворяющих уравнению качества [2,3], позволяет решать задачи по обнаружению и исправлению ошибок на приёмной стороне.

Для случайного процесса, в котором случайная величина может принимать одно из двух равновероятных значений ± 1 в точках кратных t_0 , спектр определяется зависимостью

$$S_1(\omega) = t_0 \left(\frac{\sin \frac{\omega t_0}{2}}{\frac{\omega t_0}{2}} \right)^2, \quad (6)$$

а для сигнальных конструкций, построенных на базе таймерных сигналов с чередованием полярности импульсов (+1, -1) спектр сигнала будет

$$S_2(\omega) = t_0 \left(\frac{\sin \omega t_0}{\omega t_0} \right)^2 = S_1(2\omega). \quad (7)$$

Анализ односторонней спектральной плотности позиционных кодов и таймерных сигналов (рис. 2) показал их сходство. Достоинством линейных таймерных сигналов является отсутствие в их структуре длинной последовательности импульсов положительной или отрицательной полярности, что исключает необходимость введения предварительной процедуры скремблирования исходной последовательности. Однако неэквиливантность импульсов в таймерном сигнале усложняет работу тактовой синхронизации. Поэтому структура сигнала должна содержать составляющие, которые обеспечивают её свойствами самосинхронизации.

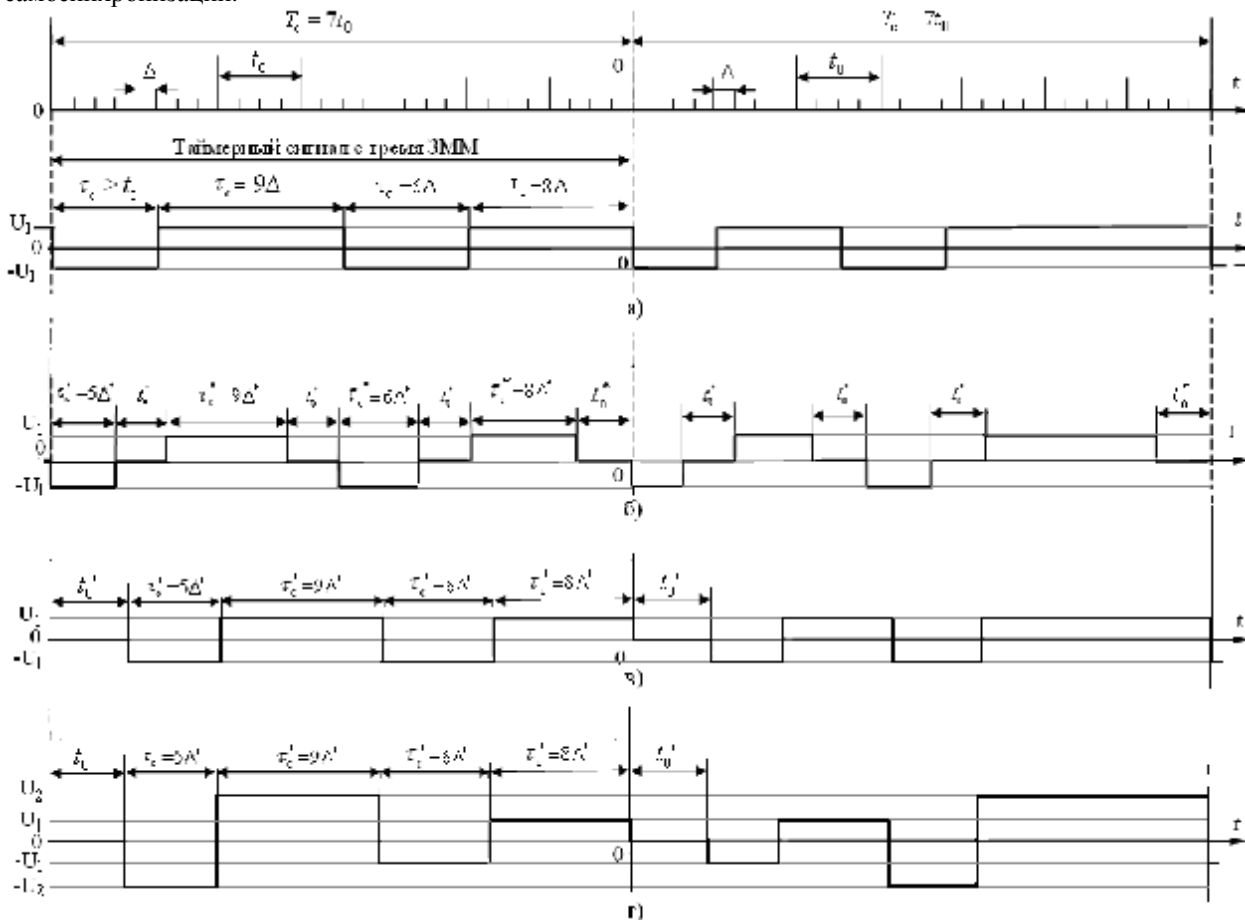


Рис. 1. Бинарные таймерные сигнальные конструкции (а) и сформированные на их основе линейные сигналы с нулевыми элементами t_c^* (б)

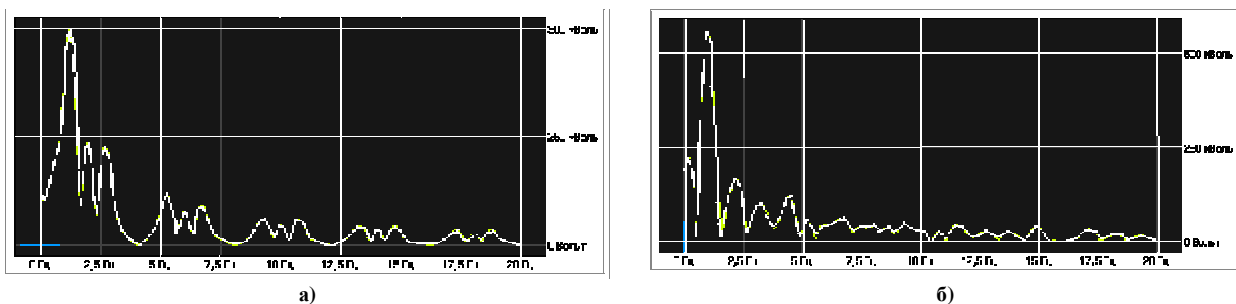


Рис. 2. Спектр позиционного кода (а) и таймерного сигнала (б)

Использование принципа троичного кодирования (рис. 1 (б)) обосновывает, в этом случае,

введение дополнительного нулевого уровня длительностью t_c^* между положительными и отрицательными временными импульсами таймерной сигнальной конструкции. Очевидно, что при таком методе построения линейного сигнала обеспечение способности сигнальной конструкции к самосинхронизации осуществляется за счет избыточных неинформационных импульсов одинаковой длительности t_c^* , число которых зависит от количества переходов значащих моментов модуляции. Для согласования скорости источника сообщений и кодера линейного сигнала требуется пропорциональное уменьшение длительностей импульсов формируемых сигнальных конструкций для данного примера на 43%, т.е. $t_c^* < t_0$. Ширина спектр будет не намного меньше, чем у биполярного позиционного сигнала (4), однако выигрыш по количеству передаваемой информации увеличится в два и более раза. При этом избыточность символов нулевого уровня уменьшит длину базового элемента Δ , т.е. $\Delta^* = 0,63\Delta$.

На рис. 1 (в) показан линейный сигнал с одним нулевым элементом в начале таймерной конструкции. Длительность элемента Δ^* уменьшится всего лишь на 12,5%, а выигрыш по занимаемой полосе составит 41%. При такой структуре линейного сигнала импульс с длительностью Δ^* выполняет функцию стартового элемента, по которому запускается система тактовой синхронизации приемника на время обработки одной сигнальной конструкции. Очевидно, что сложность реализации приемного устройства в предложенном методе синтеза линейного сигнала возрастает незначительно.

На рис 1 (г) предложена структура таймерной сигнальной конструкции с четырьмя уровнями. Такой вариант построения линейного сигнала позволяет без увеличения полосы пропускания увеличить объем передаваемой информации по сравнению с двух полярной ТСК в $(2^n - 1)$ раз.

Выводы

Предложены различные варианты построения линейных сигналов на основе ТСК, обладающих свойствами обнаружения и исправления ошибок. Обоснована целесообразность введения в структуру сигнала дополнительных импульсных составляющих, обеспечивающих стабильность работы системы синхронизации приемника. Применение линейных таймерных сигналов позволяет повысить по сравнению с известными линейными сигналами объем передаваемой информации в два и более раз.

Литература

1. Башлы П.Н. Современные сетевые технологии. / П.Н. Башлы / – К.: Изд.: Горячая линия – телеком, 2006, – 334 с. – Серия: Серия учеб. пособия для вузов.
2. Захарченко В.М. Синтез багатопозиційних часових кодів / В.М. Захарченко. – Київ: Техніка, 2012. – 284 с.
3. Захарченко Н. В. Основы кодирования: учебное пособие / Н. В. Захарченко, А. С. Крысько, В.Н. Захарченко – Одесса: УГАС им. А. С. Попова, 1999. – 240 с.

References

1. Bashli P.N. Sovremennye setevie tehnologii. / P.N. Bashli / – K. Izd. Goryachaya liniya – telekom_ 2006_ – 334 s. – Seriya_ Seriya ucheb. posobiya dlya vuzov.
2. Zaharchenko V.M. Sintez bagatopozicijnih chasovih kodiv / V.M. Zaharchenko. – Kiiiv: Tehnika, 2012. – 284 s.
3. Zaharchenko N. V. Osnovy kodirovaniija: uchebnoe posobie / N. V. Zaharchenko, A. S. Krys'ko, V.N. Zaharchenko – Odessa: UGAS im. A. S. Popova, 1999. – 240 s.

Рецензія/Peer review : 9.11.2014 р.

Надрукована/Printed :27.10.2015 р.

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАНЯТТЯХ З ІНОЗЕМНОЇ МОВИ У ВНЗ

Анотація: Розглянуто сучасний стан інформатизації навчального процесу у ВНЗ України. Розглянуто праці вчених щодо досліджень у галузі комп'ютерного навчання мовам. Досліджено сучасні методи використання інформаційних технологій на заняттях з іноземної мови у вітчизняних ВНЗ. Розглянуто основні проблеми при використанні інформаційних технологій на заняттях з іноземної мови. Виявлені основні напрямки впровадження інформаційних технологій при викладанні іноземної мови студентам ВНЗ.

Ключові слова: інформаційні технології, мережа Інтернет, іноземна мова, персональний комп'ютер, компетенція, технологія навчання.

INNA VIACHESLAVIVNA MALECKA

Установа роботи, м. Київ

Abstract. The present state of informatization of educational process in higher educational institutions of Ukraine. Considered of scientists on research in the field of computer language courses. The modern methods using information technology to foreign language lessons in local schools. The main problem when using information technology to foreign language lessons. The basic directions of information technology in teaching a foreign language to students of universities.

Key words: information technology, Internet, foreign language, personal computer, competence, technology training.

Постановка проблеми

У сучасному суспільстві відбуваються процеси комплексної інформатизації – розвитку інформаційних технологій, віртуальної реальності і глобальних мереж, що відображають необхідний і природний етап розвитку соціуму. Використання цих технологій у різних сферах життєдіяльності людини породило чимало філософських, культурологічних, теоретико-методологічних, освітніх та соціально-економічних проблем. У матеріалах підсумкового документа 150-ї сесії Виконавчої ради ЮНЕСКО (1996 г.) було відзначено, що різке прискорення розвитку і використання інформаційних і комунікаційних технологій послужило початком переходу від «індустріального» до «інформаційного» суспільству. Освіта, підготовка фахівців, наукові дослідження та інші аспекти життя відчувають все більший вплив електронних мереж і технологій мультимедіа, які породжують нові можливості.

Практичний досвід і дослідницька робота показують, що випускники ВНЗ не володіють якостями, які затребувані сьогодні на ринку праці.

Майбутньому випускнику слід усвідомлювати, що конкурентоспроможний фахівець повинен володіти глибокими професійними знаннями, володіти методами вирішення великого класу професійних завдань, вміти приймати незалежні рішення, прагнути до безперервного саморозвитку, професійному зростанню, бути впевненим у собі, мати професійну адаптаційну мобільність. Допомогти сьогоднішнього студенту стати високопрофесійною особистістю, здатною бути конкурентоспроможною на ринку праці – першочергове завдання педагога ВНЗ. Необхідно направити весь навчальний процес ВНЗ в русло створення педагогічних умов, що сприяють ефективному особистісно-професійному розвитку студентів. Суспільство стало глибше усвідомлювати, що знання іноземної мови дає безперечні переваги: кращі шанси інтегруватися в стрімко змінюване суспільство відкритого типу з ринковою економікою, перспективне працевлаштування, широке розуміння світу і світових проблем.

Аналіз ступеня вивченості проблеми говорить про те, що, на сучасному етапі розвитку методики навчання іноземним мовам, проведені дослідження дидактичних основ використання різних інформаційних технологій:

- інтернет-технологій;
- мультимедіа;
- Веб 2.0-технологій;
- дистанційних технологій;
- програмно-методичного), автоматизованого навчального курсу, автоматизованої навчальної системи.

Таким чином, констатуємо, що на сьогоднішній день, в методиці навчання іноземних мов, питання застосування інформаційних технологій є широко обговорюваним, що, в першу чергу, говорить про актуальність даної проблеми, по-друге, про неоднозначності рішень. Дослідники розкривають проблеми застосування конкретних технологій в навчанні іноземної спрямованих на навчання конкретним видам іншомовної діяльності (читання, говоріння, аудіювання, письмо) [16, с.150-162], або на формування певних компетенцій, наприклад, міжкультурної компетенції.

Підкреслимо, що проблема визначення місця інформаційних технологій у процесі навчання іноземної мови залишається широко обговорюваною і актуальною.

Узагальнення теоретичного і практичного досвіду дослідників даної проблеми, дозволяє говорити про те, що інтеграція інформаційних технологій та самостійної роботи в процесі навчання іноземної мови

володіє рядом переваг перед інформатизацією аудиторної роботи студентів.

Все вищесказане обумовлює актуальність та постановку проблеми використання інформаційних технологій на заняттях з іноземної мови у вітчизняних ВНЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній педагогіці, лінгвістиці дослідженням у галузі комп'ютерного навчання мовам присвячені роботи К.В. Александрова, Т.А. Антоненко, М.А. Бовтенко, Я.А. Ваграменко, Є.І. Дмитрієвої, І.Г. Захарової, А.В. Зубова, Е.С. Полат, та ін. [1, с.67-73; 2; 3; 4; 8, с.11-15; 10; 11; 14; 18, с.34-35]. Дослідниками показано, що інформаційні технології виступають оптимальним засобом навчання в сучасному комп'ютеризованому середовищі. Слід зазначити, що організація самостійної роботи студентів є достатньо вивченою проблемою. У роботах С.І. Архангельського, А.А. Вербицького, Л.Г. Вяткіна, В.Н. Єсіпова, Л.В.Жаровой, І.А. Зимової, А.Г. Молибог, О.А. Нільсона, П.І. Пидкасистого, С.Л. Рубінштейна, Л.Н. Скаткіна, Н.Ф. Талізїна та інших розкриті механізми розвитку та виховання самостійності, активності особистості.

Проте ще залишаються поза увагою вчених і педагогів питання комплексного впровадження сучасних інформаційних технологій у навчальний процес та напрямків їх ефективного застосування.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Дослідження, спрямовані на оцінку якості іншомовної освіти, показують нездатність переважної більшості випускників ВНЗ брати участь у міжкультурній комунікації, вирішувати професійні завдання на іноземній мові.

У навчанні іноземної мови інформаційні технології володіють необмеженим потенціалом, дозволяють формувати іншомовну комунікативну компетенцію в активній позиції суб'єкта навчальної діяльності. Як переконливо доводять дослідники проблем використання інформаційних технологій у навчанні іноземної мови, дані технології є засобом навчання і дозволяють вирішувати ряд певних дидактичних завдань.

Мета статті

Розглянути особливості використання інформаційних технологій на заняттях з іноземної мови у вітчизняних ВНЗ, виявити проблемні місця даного питання та надати рекомендації щодо інтеграції інформаційних технологій на заняттях з іноземної мови у ВНЗ.

Виклад основного матеріалу

Знання іноземної мови формує міжкультурну компетенцію і забезпечує випускнику входження на міжнародний ринок праці. Все вищевикладене наштовхує нас на ідею удосконалення процесу навчання іноземної мови у ВНЗ. Курс іноземної мови повинен носити професійно орієнтований характер. Заняття з англійської мови треба вибудовувати з орієнтацією на майбутню спеціальність і конкурентоспроможні якості особистості студента. Крім того, профільно орієнтоване навчання іноземній мові може виступати значущим фактором розвитку конкурентоспроможності особистості майбутніх фахівців з ряду причин. По-перше, іноземна мова володіє значним потенціалом, оскільки знання іноземної мови сприяє розширенню свідомості особистості та її світосприйняття, що є найважливішим чинником становлення вільної особистості, суб'єкта власної життєтворчості, який усвідомлює сенс свого життя і праці. По-друге, взаємовплив, взаємозбагачення рідної та іноземної мов, безсумнівно, збагачує загальну культуру особистості майбутнього фахівця.

Розповсюдження інформаційних технологій та їх досить широке використання у ВНЗ припускають високу самоорганізацію студентів і бажання вчитися. Отже, необхідні такі форми використання Інтернету та комп'ютерних освітніх технологій, які могли б дати можливість по-новому впливати на студентів, сприяти організації роботи та стимулювати мислення.

Технологія навчання – це система дидактичного застосування наукового знання і наукових підходів до аналізу та організації навчального процесу, що враховує емпіричні інновації викладачів і їх спрямованість на досягнення високих результатів у формуванні професійної компетенції та особистості студентів. Структурними складовими даної системи є: мета навчання; зміст навчання; засоби педагогічного впливу, в тому числі мотивація; організація навчального процесу; студент; викладач; результат діяльності.

В даний час в навчальному процесі використовуються три типи технологій – традиційні, інноваційні, інформаційні. Найчастіше в рамках одного практичного заняття у ВНЗ використовується не одна, а дві або навіть три освітні технології. При цьому важливим є не формальний набір технологій, а максимальний освітній результат. Необхідно використовувати освітні технології з чітко вираженим особистісно орієнтованим та інноваційним потенціалом.

Під інформаційною технологією в одних випадках мається на увазі спосіб і кошти відбору, обробки і передачі інформації для отримання нових відомостей про досліджуваному об'єкті, в інших – сукупність знань про способи і засоби роботи з інформаційними ресурсами, які надають значний вплив на якість педагогічного процесу. Будь-яка педагогічна технологія є по суті інформаційною, так як навчально-виховний процес передбачає обов'язковий обмін інформацією між педагогом і студентом. Тому під сучасними

інформаційними технологіями навчання доцільно розуміти педагогічні технології, які застосовують спеціальні програмні та технічні засоби (кіно, аудіо- і відеотехніку, комп'ютери, телекомунікаційні мережі) для роботи з інформацією.

Зростає продуктивність персональних комп'ютерів і надала можливість широкого застосування мультимедійних технологій. Глобальна мережа Інтернет забезпечує доступ до гігантських обсягів інформації, які зберігаються в різних країнах світу. Багато експертів впевнені, що технології Інтернет – це своєрідний революційний прорив, що перевершує за значимістю появу персонального комп'ютера.

Специфіка Інтернет-технологій полягає в тому, що вони дають в розпорядження користувачів величезні можливості вибору джерел інформації:

- базову інформацію на серверах мережі;
- оперативну інформацію, що пересилається по електронній пошті;
- різноманітні бази даних провідних бібліотек, наукових та навчальних центрів, музеїв;
- інформацію на гнучких дисках, компакт-дисках, відео- і аудіокасетах, у книгах і журналах,

поширюваних через Інтернет-магазини.

Самостійна робота студентів ВНЗ з вивчення іноземної мови є і найважливішою формою організації навчального процесу, в якій відбувається формування необхідних компетенцій фахівця.

Тим не менше, дослідники проблеми організації самостійної роботи у ВНЗ відзначають, що самостійна робота студентів не розкриває весь потенціал даної форми організації навчального процесу [9; 13, с.114-115; 15; 21; 22], не несе навчального навантаження. Причини бачать в наступному:

- зміст самостійної роботи не пов'язаний з формуванням компетенцій [17];
- недостатня цілеспрямованість самостійної роботи, слабкий контроль з боку викладача;
- недостатня диференціація і варіативність завдань;
- мінімальний облік індивідуальних можливостей, потреб, інтересів, вікових особливостей [7, с.18-22; 19.];

- несформованість психологічної готовності до самостійної роботи, яка включає загально особовий розвиток, тобто «розвиток себе як суб'єкта діяльності», позитивну навчальну мотивацію [12, с.70-74].

Необхідними умовами реалізації ефективної самостійної роботи з вивчення іноземної мови виступають:

1. Планування і самоорганізація, так як тільки цілеспрямована позааудиторна самостійна робота буде сприяти формуванню іншомовної комунікативної компетенції;
2. Методичне керівництво і контроль викладача, з метою організації самостійної роботи, своєчасної допомоги, консультування, контролю та оцінки результатів виконання, корекції, подальшого планування;
3. Засоби навчання, які дозволяють організувати процес самостійної роботи і зворотний зв'язок з викладачем, надають зміст навчання.

Аналізуючи вищенаведений список умов, можна припустити, що серед них засоби навчання відіграють особливу роль, так як розробка і впровадження специфічних коштів дозволить організувати, планувати, контролювати, а також забезпечити самоорганізацію студентів [5, с.131-137].

На сьогоднішній день існує необхідність у використанні спеціально розроблених засобів в організації самостійної роботи студентів ВНЗ, які дозволять організувати даний вид діяльності: підвищать роль самостійної роботи у навчанні; виступатимуть найкращим варіантом даної навчальної діяльності [6], тобто реалізують максимально можливі результати, при мінімально необхідних витратах; створюють сприятливі умови.

Одним з важливих напрямків розвитку сучасної освіти, педагогічної та методичної науки є впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в процес навчання. Дане питання є актуальним протягом останніх років. Незважаючи на досить накопичену практику, наукову та методичну освітленість цієї проблеми, автори нових статей продовжують ділитися досвідом, обговорювати проблеми застосування ІКТ при навчанні різних предметів. Більше того, з'являється нове програмне забезпечення, додатки до найсучасніших комп'ютерів і мобільних засобів зв'язку, що також може знайти своє відображення у побудові освітнього процесу.

Викладача іноземної мови можна розглядати як одного із суб'єктів процесу навчання в інформаційному просторі установи освіти, так як використання інформаційних технологій забезпечує створення умов для підвищення ефективності викладання іноземної мови.

Під застосуванням інформаційних технологій ми будемо розглядати використання мультимедіа у викладанні іноземних мов.

Мультимедіа – це взаємодія візуальних і аудіоефектів під управлінням Інтерактивного програмного забезпечення. Зазвичай означає поєднання тексту, звуку і графіки, а останнім часом все частіше – анімації і відео.

Найлегше здійснити роботу з мультимедіа за допомогою комп'ютера.

Комп'ютеризація навчання – один з напрямків науково-технічного прогресу в навчанні, що має метою оптимальне використання електронної обчислювальної техніки (включаючи ПК) на всіх стадіях навчання усіма його учасниками.

Комп'ютери в мультимедійній комплектації є універсальним засобом інформаційних технологій. Переваги комп'ютерного навчання полягають у тому, що вони допомагають вивести процес навчання на якісно інший рівень. Комп'ютер – це найбільш підходящий помічник у навчанні іноземним мовам у ВНЗ,

метою якого є інтерактивне спілкування.

Існують різні форми взаємодії викладача та студента при застосуванні мультимедіа на заняттях іноземної мови: використання мультимедіа на уроці викладачем при відсутності самостійної взаємодії студента з комп'ютером; використання мультимедіа на уроці викладачем і взаємодія студента з комп'ютером під керівництвом викладача, використання мультимедіа студентом на занятті і в процесі виконання самостійної роботи відповідно до його індивідуального вибору та рекомендацій викладача; використання мультимедіа в процесі виконання самостійної роботи при провідній ролі студента.

Системний аналіз викладання іноземної мови і власний досвід говорить про те, що перша форма нічим не відрізняється від використання викладачем додаткового учбового матеріалу, так як його діяльність зводиться тут до простого пошуку текстів чи завдань та їх роздруківці. А діяльність студентів полягає у виконанні заданих вправ на паперових джерелах. Тому така форма навчання з використанням комп'ютера дає такий же навчальний ефект, як і традиційне навчання.

Друга форма більш продуктивна, оскільки студенти виконують завдання безпосередньо перед комп'ютером. Дана робота передбачає безпосередній і негайний зв'язок по посиланнях з прийнятим матеріалом. Можна ще раз переглянути відеоматеріал або звернутися до довідника за інформацією. Також позитивними рисами є новизна, яскрава графіка і наочність.

Третя і четверта форми використовуються в основному в проектній методиці. Різниця в тому, що в третьому варіанті студенти отримують не тільки завдання, але і рекомендації з пошуку та вибірці матеріалів, тоді як у четвертому варіанті викладач відправляє учнів «у вільне плавання», давши їм тільки тему проекту.

На жаль, багато викладачів іноземної мови відмовляються застосовувати мультимедіа на заняттях. Це пояснюється багатьма факторами: недостатня оснащеність комп'ютерними мультимедійними пристроями установ освіти, психологічна невідповідність багатьох викладачів, звиклих працювати за застарілими методами, застосовувати щось нове на заняттях, недостатній рівень інформаційної культури і т. д.

Поглиблено розглянувши дану проблему, проаналізувавши і відзначивши достоїнства і недоліки мультимедійних технологій, а також розпочавши випробувати багато методів і прийомів на практиці, можна прийти до висновку про необхідність використання даних технологій як одного з основних засобів навчання іноземної мови, оскільки існує багато позитивних сторін при їх використанні, як для студентів, так і для викладачів.

Дидактичні функції ІКТ досить описані в літературі. Зокрема, ІКТ сприяють підвищенню інтересу і активізації розумової діяльності студентів; вони дозволяють моделювати і візуалізувати процеси, складні для демонстрації в реальності; дозволяють індивідуалізувати навчання і дають студентам можливість проявити самостійні дослідницькі якості. Дидактичні функції інформаційно-комунікаційних технологій визначені їх мультимедійністю, обумовленою гіпертекстовими та мультимедіа технологіями, що дає підставу говорити про перехід на якісно інший рівень передачі інформації [7, с.18-22].

Висновки і пропозиції

До сучасних фахівців висуваються досить високі вимоги щодо володіння знаннями та вміннями, обсяг яких змінюється і розширюється, і це веде до пошуку способів інтенсифікації та підвищення ефективності системи підготовки фахівців. Цілком обґрунтованою є думка, що впровадження ІКТ у процес навчання прискорює передачу знань і накопиченого досвіду і від викладача до студента, і від одного студента до іншого. ІКТ, сприяючи підвищенню якості навчання, дозволяють людині успішніше адаптуватися до змін у навколишньому освітньому та соціальному середовищі.

При всіх перевагах ІКТ можна говорити і про деякі їх негативні аспекти. Зокрема, індивідуалізація навчання може скоротити і так дефіцитне в навчальному процесі живе діалогічне спілкування учасників освітнього процесу – викладачів і студентів, студентів між собою.

В рамках відкритого та дистанційного навчання велика частина часу студента йде на «мовчазне» самостійне вивчення інформації. Загальна індивідуалізація навчання за допомогою персональних комп'ютерів в підсумку може призвести до ослаблення можливості формування творчого мислення, яке у самому своєму походженню засноване на діалозі.

Крім того, постійне звернення до опублікованих в Інтернеті інформаційних ресурсів навчального характеру веде до спокуси запозичувати вже готові реферати, курсові роботи, проекти. Ця тенденція, на жаль, справедлива для всіх технологій і форм навчання і не сприяє підвищенню ефективності та якості освіти.

З метою виявлення ставлення самих студентів до нових технологій, до дистанційного навчання, самостійної роботи серед студентів молодших курсів на ряді факультетів можна провести анкетування і отримати оцінки щодо ставлення до дистанційної технології навчання.

Ще одним актуальним питанням є використання ІКТ у навчанні іноземних мов. ІКТ дозволяють організувати ефективну роботу з мовним матеріалом (лексика, граматики); розвивати вміння основних видів мовленнєвої діяльності; вибудовувати систему поточного та підсумкового контролю.

Однак, як справедливо зазначає Є. В. Кузьміна, успішна організація навчання іноземної мови з використанням комп'ютерних технологій залежить від безлічі факторів. Для цього необхідні:

- забезпеченість комп'ютерами і доступом в Інтернет;
- інтеграція комп'ютерних технологій в учбові програми ВНЗ;
- наявність сучасних навчальних матеріалів;

- наявність кваліфікованого інженерно допоміжного персоналу;
- система стимулювання викладачів, що активно розробляють і впроваджують ІКТ у навчання.

Викладачам іноземної мови необхідно чітко продумувати, які елементи ІКТ можна і доцільно привнести в процес навчання, щоб підвищити ефективність останнього (наприклад, он-лайн тестування, включення автентичних відео- і аудіоматеріалів мережі Інтернет у зміст заняття, спілкування з носієм мови за допомогою Skype).

Очевидно, що викладачеві варто продумати і структуру самостійної роботи студентів. По-перше, вивчення іноземної мови немислимо без самостійних занять (наприклад, виконання лексико-граматичних вправ, читання текстів різного характеру, перегляд фільмів мовою і т.д.). По-друге, саме самостійна робота з навчальним матеріалом, виконання контрольних завдань лежать в основі.

Щоб уникнути формального підходу до виконання самостійних завдань іноземною мовою або простого списування у інших, викладачеві необхідно підбирати такі завдання й види самостійної роботи, які б показували студентам їх прогрес і були актуальними для поточних цілей навчання.

Загалом, використання ІКТ (або окремих елементів сучасних комунікаційних технологій) в процесі навчання іноземної мови, як і будь-якого іншого предмету, може сприяти вирішенню завдання підвищення ефективності та якості освіти і підготовки кваліфікованих кадрів.

Література

1. Александров К.В. Компьютерная программа для формирования лексической компетенции при изучении иностранного языка / К.В. Александров // Иностранные языки в школе. – 2010. – №6. – С. 67-73.
2. Антоненко Т.А. Формирование иноязычной коммуникативной компетенции в условиях информационного образовательного пространства: к постановке проблемы / Т.А. Антоненко // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – №291. – С. 210-216.
3. Бовтенко М.А. Компьютерная лингводидактика / М.А. Бовтенко. – М. : Флинта ; Наука, 2005. – 216 с.
4. Ваграменко Я.А. Основы информатики и вычислительной техники с применением к лингвистике / Я.А. Ваграменко, Н.Ш. Блаунштейн, Л.С. Сержан. – М. : МОИП им. Н.К. Крупской, 2009. – 75 с.
5. Гриценко Е.С. Системный подход к информатизации иноязычного образования / Е.С. Гриценко, А.Н. Шамов, К.В. Александров // Высшее образование в России. – 2010. – №11. – С. 131-137.
6. Гейхман Л.К. Синергетическая педагогика / Л.К. Гейхман, Л.В. Кушнина, А.В. Кушнин. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 176 с.
7. Девисилов В.А. Стандарты высшего профессионального образования компетентностного формата: вопросы структуры и содержания / В.А. Девисилов // Высшее образование сегодня. – 2008. – №9. – С. 18-22.
8. Дмитриева Е.И. О перспективах и возможностях дистанционного обучения иностранным языкам с использованием компьютерных телекоммуникационных сетей / Е.И. Дмитриева // Иностранные языки в школе. – 2007. – №2. – С. 11-15.
9. Жарова Л.В. Учить самостоятельности / Л.В. Жарова. – М. : Просвещение, 2013. – 205 с.
10. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании / И.Г. Захарова. – М. : Академия, 2013. – 192 с.
11. Зубов А.В. Информационные технологии в лингвистике / А. В. Зубов, И.И. Зубова. – М. : Академия, 2014. – 208 с.
12. Киян И.В. Варианты моделей дистанционного образования и их интеграция / И.В. Киян // Высшее образование сегодня. – 2012. – №1. – С. 70-74.
13. Ковалевский И. Организация самостоятельной работы студентов / И. Ковалевский // Высшее образование в России. – 2000. – №1. – С. 114-115.
14. Полат Е.С. Интернет на уроках иностранного языка / Е.С. Полат // Иностранные языки в школе. – 2001. – №2. – С. 14-19.
15. Пидкасистый П.И. Организация учебно-познавательной деятельности студентов / П.И. Пидкасистый. – М. : Педагогическое общество России, 2014. – 112 с.
16. Сафонова В.В. ИКТ в поликультурном образовании средствами изучаемых языков: европейские тенденции и российские национальные приоритеты / В.В. Сафонова // Информационно-коммуникационные технологии в обучении иностранным языкам и межкультурной коммуникации: Сб. статей. – Вып. 3. – Москва, 2008. – С. 309-319.
17. Современные образовательные технологии / под ред. Н.В. Бордовской. – М. : КНОРУС, 2011. – 432 с.
18. Ушницкая В.В. Дистанционное обучение иностранному языку / В.В. Ушницкая // Информатика и образование. – 2000. – № 9. – С. 34-35.
19. Хамула Л.А. Организация самостоятельной работы курсантов с использованием автоматизированного учебного курса: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.01; 13.00.02 / Л.А. Хамула ; Воронеж. военный ин-т. – Воронеж, 2005, – 174 с.
20. Хуторской А.В. Современная дидактика / А.В. Хуторской. – М. : Высшая школа, 2007. – 639 с.

21. Schmidt Henk G. More by Being Taught Less: A "Time-for-Self- Study" Theory Explaining Curricular Effects on Graduation Rate and Study Duration / Schmidt, Henk G.; Cohen-Schotanus, Janke; van der Molen, Henk T.; Splinter, Ted A. W.; Bulte, Jan; Holdrinet, Rob; van Rossum, Herman J. M. // *The International Journal of Higher Education and Educational Planning*. – 2010. – V. 60. – N. 3. – Sep 2010. – P. 287-300.

22. Self-Study. Creating a useful process and report. – Philadelphia [USA]: Middle States Commission on Higher Education, 2007. – 68 p.

References

1. Aleksandrov K.V. Komp'yuternaya programma dlya formirovaniya leksicheskoy kompetencii pri izuchenii inostrannogo yazyka, *Inostrannyye yazyki v shkole*, 2010, No. 6, pp. 67-73. [in Russian]
2. Antonenko T.A. Formirovaniye inoyazychnoy kommunikativnoy kompetencii v usloviyah informacionnogo obrazovatel'nogo prostranstva: k postanovke problemy, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, No. 291, pp. 210-216. [in Russian]
3. Bovtenko M.A. *Komp'yuternaya lingvodidaktika*. Moscow: Flinta ; Nauka, 2005. [in Russian]
4. Vagramenko Ya.A., Blaunshitejn N.Sh., Serzhan L.S. Osnovy informatiki i vychislitel'noj tehniky s primeneniem k lingvistike. Moscow: MOIP im. N.K. Krupskoj, 2009. [in Russian]
5. Grichenko E.S., Shamov A.N., Aleksandrov K.V. Sistemnyj podhod k informatizacii inoyazychnogo obrazovaniya, *Vyshee obrazovanie v Rossii*, 2010, No. 11, pp. 131-137. [in Russian]
6. Gejzman L.K., Kushnina L.V., Kushnin A.V. *Sinergeticheskaya pedagogika*. Perm: Izd-vo Perm. gos. tehn. un-ta, 2011. [in Russian]
7. Devisilov V.A. Standarty vysshego professional'nogo obrazovaniya kompetentnostnogo formata: voprosy struktury i soderzhaniya, *Vyshee obrazovanie segodnya*, 2008, No. 9, pp. 18-22. [in Russian]
8. Dmitrieva E.I. O perspektivah i vozmozhnostyah distancionnogo obucheniya inostrannym yazykam s ispol'zovaniem komp'yuternyh telekommunikacionnyh setej, *Inostrannyye yazyki v shkole*, 2007, No. 2, pp. 11-15. [in Russian]
9. Zharova L.V. *Uchit' samostoyatel'nosti*. Moscow: Prosvetshenie, 2013. [in Russian]
10. Zaharova I.G. *Informacionnye tehnologii v obrazovanii*. Moscow: Akademiya, 2013. [in Russian]
11. Zubov A.V., Zubova I.I. *Informacionnye tehnologii v lingvistike*. Moscow: Akademiya, 2014. [in Russian]
12. Kijan I.V. Varianty modelej distancionnogo obrazovaniya i ih integraciya, *Vyshee obrazovanie segodnya*, 2012, No. 1, pp. 70-74. [in Russian]
13. Kovalevskij I. Organizaciya samostoyatel'noj raboty studentov, *Vyshee obrazovanie v Rossii*, 2000, No. 1, pp. 114-115. [in Russian]
14. Polat E.S. Internet na urokah inostrannogo yazyka, *Inostrannyye yazyki v shkole*, 2001, No. 2, pp.14-19. [in Russian]
15. Pidkasiy P.I. *Organizaciya uchebno-poznavatel'noj deyatel'nosti studentov*. Moscow: Pedagogicheskoe obschestvo Rossii, 2014. [in Russian]
16. Safonova V.V. IKT v polikul'turnom obrazovanii sredstvami soizuchaemyh yazykov: evropejskie tendencii i rossijskie nacional'nye priority, *Informacionno-kommunikacionnye tehnologii v obuchenii inostrannym yazykam i mezhkul'turnoj kommunikacii: Sb.statej*, Vol. 3. Moscow, 2008, pp. 309-319. [in Russian]
17. Bordovskoj N.V. (Edit.). *Sovremennyye obrazovatel'nye tehnologii*. Moscow: KNORUS, 2011. [in Russian]
18. Ushnickaya V.V. Distancionnoe obuchenie inostrannomu yazyku, *Informatika i obrazovanie*, 2000, No. 9, pp. 34-35. [in Russian]
19. Hamula L.A. *Organizaciya samostoyatel'noj raboty kursantov s ispol'zovaniem avtomatizirovannogo uchebnogo kursa* (Thesis for the degree of Ph.D). Voronezh: Voronezh. voennyj in-t, 2005. [in Russian]
20. Hutorskoy A.V. *Sovremennaya didaktika*. Moscow: Vysshaya shkola, 2007. [in Russian]
21. Schmidt Henk G., Splinter, Ted A. W.; Bulte, Jan; Holdrinet, Rob; van Rossum, Herman J. M. More by Being Taught Less: A "Time-for-Self- Study" Theory Explaining Curricular Effects on Graduation Rate and Study Duration, *The International Journal of Higher Education and Educational Planning*, 2010, Vol. 60, No. 3, Sep 2010, pp. 287-300.
22. Self-Study. Creating a useful process and report. Philadelphia [USA]: Middle States Commission on Higher Education, 2007.

Рецензія/Peer review : 7.9.2015 p. Надрукована/Printed :27.10.2015 p.

УВЕЛИЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ НАЙКВИСТОВОГО ЭЛЕМЕНТА В БИНАРНОМ КАНАЛЕ ПРИ ТАЙМЕРНЫХ КОДАХ

Аннотация: Проведено сравнение позиционного и таймерного блочного кодирования (ТК), доказано, что при простых и избыточных ТК информационная емкость найквистового элемента больше в сравнении с позиционным кодированием.

Ключевые слова: таймерные сигнальные конструкции, найквистовый элемент, моменты модуляции, количество реализаций.

N.V. ZAXARCHENKO, M.M. GADZHIEV, D.N. BEKTURSUNOV, E.A. OSADCHUK

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S.Popov

INCREASE THE CAPACITY OF NYQUIST ELEMENT IN A BINARY CHANNEL USING THE TIME CODES

Abstract - A comparison of positive and time coding (TC), proved that the simple and redundant time construction data capacity of nyquist element more then the position coding.

Keywords: time signal construction, nyquist element, modulation points, amount of implementations.

При позиционном кодировании номера подлежащих передаче символов в десятичной системе представляются в системе согласованной с алфавитом канала. Например, при двоичном канале десятичное число «10» представляется в двоичном виде «1010», а число «15» - 1111. При этом каждая из двух цифр («0» или «1») двоичного числа передается сигналом длительностью элемента Найквиста $t_0 = \Delta F$ [1]. При такой передаче модуляция (или изменение вида сигнала) происходит через временной интервал Найквиста или время кратное ему.

К блочным относятся такие коды, у которых кодирование и декодирование осуществляются в пределах блока, состоящего из определенного числа кодовых символов. В литературе по помехоустойчивому кодированию блоки кодовых символов называют по разному: кодовыми словами, кодовыми комбинациями и кодовыми векторами. К сверточным, называемыми ранее непрерывными, рекуррентными или цепными относятся такие коды, у которых процесс кодирования имеет непрерывный характер без явного выделения границ при формировании последовательности кодовых символов. Важным отличием сверточного кодирования является то, что кодовые символы на выходе кодера зависят не только от информационных символов, поступившим в данный момент времени, но и от предыдущих на его входе.

Блочные коды, в свою очередь делятся на линейные и нелинейные. К линейным относятся такие коды, у которых формирование блоков, т.е. кодирование производится с использованием линейных операций, т.е. суммирования и умножения над информационными символами с учетом арифметики по модулю 2. В противном случае корректирующие коды относятся к нелинейным, т.к. сумма двух разрешенных КК не образует комбинацию, принадлежащую к данному коду. Простейшим примером нелинейного кода является международный семиэлементный код МТА-3, который еще называют кодом с постоянным весом (КПВ), в каждой кодовой комбинации которого содержится три единицы и четыре нуля.

Линейные коды в свою очередь, делятся на систематические и несистематические. В систематических кодах информационные символы на выходе кодера представлены в явном виде. Принадлежность к систематическим или несистематическим кодам определяется выбором кода и алгоритма кодирования. Значительную часть линейных кодов занимают циклические коды (ЦК), которые находят применение в системах цифровой передачи различного рода сообщений.

К основным недостаткам позиционного кодирования является кратность интервала между смежными моментами модуляции найквистовому элементу. Благодаря найквистовому элементу на интервале T_c может быть только « m » моментов модуляции.

В таймерных сигнальных конструкциях информация «заложена» не в полярностях отрезков сигнала t_{ci} а в их длительностях и взаимном положении на интервале сигнальной конструкции [1].

$$t_{ci} = t_0 + k\Delta, \quad (1)$$

где $k \in 1..c$, c – целое число.

Первое слагаемое выражения (1) обеспечивает отсутствие межсимвольных искажений, а второе формирует информационную составляющую. На рис.1 показан принцип формирования таймерного сигнала на интервале $T_c = 7t_0$ при $S=4$ для $i=3$.

Из сформулированного принципа синтеза сигнальных конструкций на интервале $T_c = mt_0$ следует:

1. число информационных отрезков « i » длиной t_{ci} на интервале сигнальной конструкции $T_c = mt_0$, (m – число найквистовых элементов интервала реализации сигнальной конструкции T_c) не может

быть равным числу « m » ↓ так как в этом случае может быть только одна реализация ($i < m$).

2. число « i » должно обеспечивать максимальное число реализаций на заданном интервале.

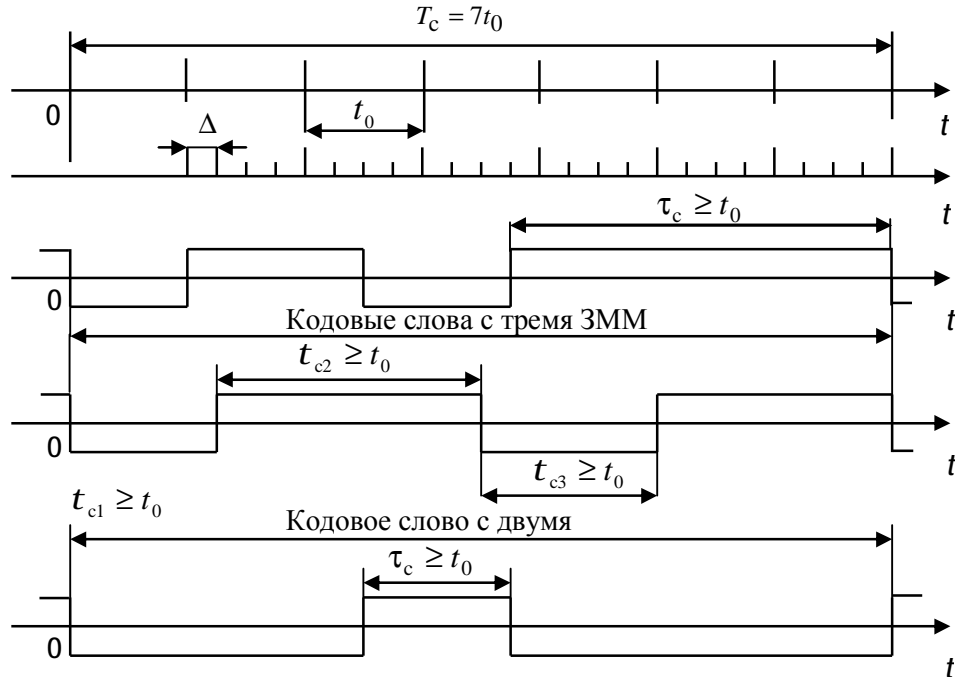


Рис. 1 Принцип формирования ТСК на временном интервале $T_c = 7t_0$ при базовом элементе Δ

В таблице 1 для примера приведено число реализаций (N_p) для двух значений i ($i_1 = 2, i_2 = 3$) при трех значениях S ($S_1 = 2, S_2 = 5, S_3 = 7$) вычисленных согласно уравнению [2]:

$$N_p = \sum_{i=1}^n C_{ns-i(s-1)}^i \quad (2)$$

Число реализаций $N_p = f(m), S=const, I=const$.

Таблица 1

S		Количество реализаций ТСК						
		m						
		4	5	6	7	8	9	10
$i_1 = 2$	2	15	28	45	66	91	120	153
	5	66	136	231	351	496	666	861
	7	120	253	435	666	946	1275	1653
$i_2 = 3$	2	10	35	84	165	286	455	680
	5	56	286	816	1771	3276	5456	8436
	7	120	680	2024	4495	8436	14190	22100

Из таблицы следует, что при фиксированном интервале реализации таймерной сигнальной конструкции « m » число реализаций резко возрастает с увеличением числа « S ».

Учитывая, что с увеличением числа « S » увеличивается не только число реализаций, а увеличивается и их вероятность ошибки в канале, то скорость передачи информации будет равной [2]

$$C_m = \frac{1}{m} (\log_2 N_p - H_{II}), \quad (3)$$

где H_{II} – потери информации в канале.

На рисунке 2 показана зависимость скорости передачи как функция значения « S » при двух значениях $h = \frac{U_c}{U_{III}}$ ($h_1=7,5, h_2=5,5$) для трех значениях « m » (8; 6; 5).

Из зависимостей на рис.2 следует, что значение оптимальной величины зоны Δ определяется уровнем помех в канале h . Из рис.2 видно, что в бинарном канале можно получить скорость, близкую к скорости при четырехпозиционных сигналах. Дополнительно пропускную способность при ТСК можно повысить на 25-30% за счет использования сигнальных конструкций неравной длительности.

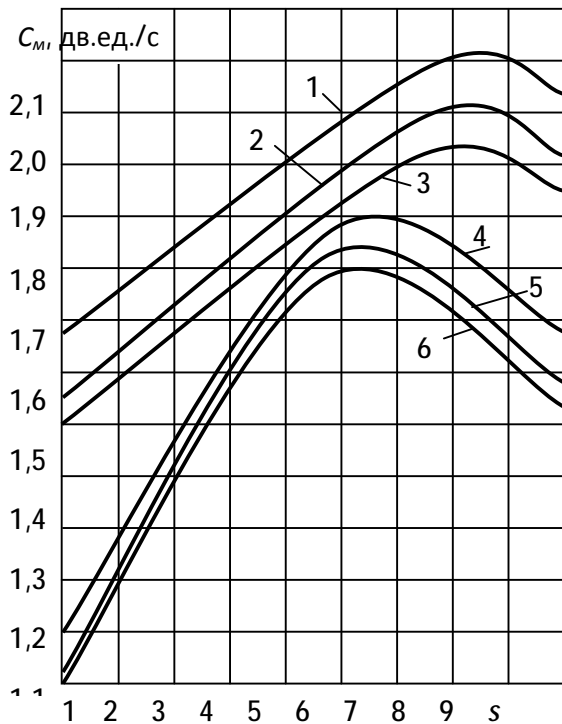


Рис. 2. Зависимости пропускной способности каналов с различным уровнем флуктуационных шумов

Такой подход к формированию сигналов позволяет обменивать верность передачи информации в «хорошем» состоянии канала на скорость (за меньшее время передачи T_c , передать больший объем информации, но с потерей качества).

Вместе с тем, для компенсации потерь помехоустойчивости и обеспечения необходимого качества передачи информации полученный выигрыш во времени можно использовать для формирования избыточности, необходимой для обеспечения заданной вероятности ошибки на переданный знак $p_{озн}$.

Оценим информационную емкость найквистового элемента согласно выражению [3]

$$I_n = \frac{\log_2 N_p}{m} \quad (4)$$

где N_p – количество реализаций таймерных сигналов.

В таблице 2 приведены значения количества информации в одном найквистовом элементе при $i=3$.

Таблица 2

Информационная емкость найквистового элемента

S	m						
	4	5	6	7	8	9	10
2	0,830482	1,025857	1,065386	1,052332	1,019984	0,98108	0,940939
5	1,451839	1,631974	1,612071	1,541478	1,459715	1,379292	1,304234
7	1,726723	1,881878	1,830499	1,733444	1,630293	1,53251	1,443176

Из таблицы следует:

1. при увеличении значения «S» для $m=const$ информационная емкость элемента увеличивается;
2. при увеличении «m» для $S=const$ информационная емкость вначале растет, а затем уменьшается. При этом точка максимума смещается в сторону больших «m» при уменьшении S.

3. в сравнении с позиционным кодированием, при котором в двоичном канале каждый элемент Найквиста несет 1 бит информации, таймерные коды могут обеспечить больше двух битов на один элемент.

Интересным является вопрос изменения информационной емкости одного найквистового элемента для избыточных сигнальных конструкций.

Для примера в таблице 3 приведены информационные емкости одного элемента для отобранных множеств кодовых слов, у которых сумма мест трех моментов модуляции представляет четные числа.

Таблица 3

Информационная емкость найквистового элемента для четных значений суммы мест нахождения моментов модуляции

S	m						
	4	5	6	7	8	9	10
2	0,580482	0,825857	0,89872	0,909475	0,894984	0,869969	0,840939
5	1,201839	1,431974	1,445404	1,398621	1,334715	1,268181	1,204234
7	1,476723	1,681878	1,663832	1,590586	1,505293	1,421399	1,343176

Висновки

Из таблицы следует, что с отбором какого-либо подмножества реализаций информационная емкость одного элемента уменьшается. Закономерности изменений в пределах таблицы 3 такие же как и в таблице 2.

Для увеличения информационной емкости одного найквистового элемента необходимо увеличивать число реализаций сигнальных конструкций, которое определяет используемое множество сигналов на заданном интервале. При этом следует отметить, что величина $\Delta = \frac{t_0}{S}$ определяется помехами в канале и требованием к качеству передачи. Изменять длительность интервала реализации ($T_c = mt_0$) можно только

до досягнення $N_{\text{реалтах}}$.

Увеличить число реализаций можно только создавая общее множество за счет числа реализаций при одних и тех же значениях « S » и « m » для разных i . Например, общее число реализаций при $i_1 = 2$; $S=7$; $m=4$ и $i_1 = 3$; $S=7$; $m=4$ получаем $N_{p\Sigma} = 120 + 120 = 240$.

Литература

1. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. – М.: Мир, 1986. -576 с.
2. Андре Анго. Математика для электрорадиоинженеров. М.: 1965. – 780 с.
3. Захарченко Н.В. Повышение эффективности блочного кодирования при работе по нестационарным каналам связи. – Баку.: ЭЛМ, 2009. – 237 с.

References

1. Blejxut R. Teoriya i praktika kodov, kontroliruyushhix owibok. – М.: Mir, 1986. - 576 s.
2. Andre Ango. Matematika dlya elektroradioingenerov. M.: 1965. - 780 s.
3. Zaxarchenko N.V. Povishenie effektivnosti blokovogo kodirovaniya pri rabote po nestacionarnym kanalam svyazi. – Baku.: ELM, 2009. - 237 s.

Рецензія/Peer review : 12.10.2014 р. Надрукована/Printed :27.10.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ложковский А.Г.



70 лет

доктору технических наук, профессору

КОНДРАТОВУ Владиславу Тимофеевичу

Президиум Украинской технологической академии, редколлегия журнала, научная общественность, коллеги и друзья сердечно поздравляют академика УТА Кондратова Владислава Тимофеевича со столь славным юбилеем и желают ему крепкого здоровья, мудрости, вдохновения, славы, благополучия, творческих успехов и побед в развитии новых теорий и наук, в создании фундаментальной мега-науки метрологии.

13 августа 2015 года исполнилось 70 лет академику Украинской технологической академии (УТА) (с 1993 года), члену Международной профессорской ассоциации (Россия, с 1991 года), члену Международной биографической ассоциации (г. Кембридж, Англия, с 1998 года), заместителю главного редактора Международного научно-технического журнала "Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах", лучшему изобретателю и творцу, одному из ведущих академических ученых страны в области фундаментальной метрологии и измерительной техники Кондратову Владиславу Тимофеевичу.

В Институте Кибернетики НАН Украины В.Т.Кондратов работает с 1975 года. Он прошел весь путь карьерной лестницы, — от старшего инженера, руководителя группы, научного и старшего научного сотрудника до заведующего лабораторией научного приборостроения. После упразднения в 1996 году в НАН Украины научных лабораторий, как структурных подразделений, был переведен на должность ведущего научного сотрудника ИК НАН Украины. В этой должности работает 19 лет (!).

В 2001 году в НТУУ "КПИ" В.Т.Кондратов успешно защитил докторскую диссертацию на тему "Основы теории автоматической коррекции систематических погрешностей измерения физических величин при нестабильной и нелинейной функции преобразования датчика" по специальностям 05.11.15 – "Метрология и метрологическое обеспечение" и 05.11.01 – "Приборы и методы измерения механических величин".

Кондратов В.Т. является автором и соавтором 540 научных работ, в том числе 192 авторских свидетельств и патентов России и Украины. За рубежом им опубликовано более 10 научных работ.

В 2002 году В.Т. Кондратовым впервые был поднят вопрос о кризисе науки метрологии в Украине, о качестве государственных стандартов и Законов Украины о метрологии.

Им впервые в мире:

1) создана новая стратегия измерений, представленная в виде теории избыточных измерений. Она обеспечивает: создание средств избыточных измерений с автоматическим исключением систематических погрешностей результатов измерений при разных видах функции преобразования сенсора; получение результата измерений, приведенного к входу измерительного канала; получение дополнительной информации о параметрах функции преобразования измерительного канала, самоконтроль его состояния в дискретные моменты времени; определение и прогнозирование время наработки на метрологический отказ;

2) заложены и развиваются прикладные научные направления: избыточная фазометрия, избыточная влагометрия, избыточная концентратометрия, избыточная пирометрия, избыточная УФ-дозиметрия, избыточная манометрия, избыточная дальнометрия, избыточные измерения давления, тока, сопротивления, расстояния до объекта и других величин разной физической природы;

3) решена задача повышения точности линейного аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования на основе теории и методов избыточных измерений;

4) создано и развивается новое научное направление в теории избыточных измерений — сверхизбыточные измерения, направленное на определение квазиистинного и истинного значения физической величины и решение метрологических задач;

5) создана современная теория метрологической надежности средств измерений, основанная на использовании гибких вероятностно-физических моделей метрологических отказов. Совместно с теорией избыточных измерений она обеспечила качественный скачок в развитии фундаментальной метрологии;

6) дано определение и заложены основы новой науки «метроники», опирающейся на использовании гибких вероятностно-физических моделей метрологических отказов и нелинейного регрессионного анализа.

7) заложены основы (мини-)теории метрологической эффективности, изучающей, характеризующей и описывающей результаты целенаправленной деятельности человека по исследованию различных сторон, свойств, связей и отношений при изучении процессов, объектов, систем и явлений материального мира;

8) заложены теоретические основы новой науки «видеоники», даны определение и основные направления развития;

9) обобщены научно-технические направления, дано определение и заложены основы новой науки «микромехатроники» (на смену еще действующей в макромире науки «мехатроники»);

10) разработана структура науки схемотехники (в ответ на запрос Википедии). Упорядочены знания о ее составных частях, предметах исследований, законах развития, используемых принципах, категориях, направлениях развития и т.д.

11) выделено и развивается новое научное направление — метрологическая комбинаторика или комбинаторика уравнений величин, в том числе уравнений избыточных измерений. Она решает задачи формирования ансамблей уравнений избыточных измерений с заданными метрологическими характеристиками, направленные на определение квазиистинного и истинного значений физических величин при использовании теории и методов сверхизбыточных измерений и соответствующей обработки данных;

12) показана возможность использования методов избыточных измерений для определения линейных размеров плоских фигур и диэлектрической проницаемости наноматериалов. Предложенные методы защищены патентами Украины;

13) сформулирована мега-стратегия развития фундаментальных наук — стратегия системного объединения и развития конечной совокупности тех наук и теорий в соответствующие мега-науки, которые направлены на решение фундаментальных проблем конкретных отраслей материального производства и

обеспечение устойчивого развития научно-технического потенциала в отдельно взятой отрасли материального производства. Имеются все основания для создания и развития, как научный эксперимент, фундаментальной мега-науки метрологии.

14) рассмотрел физическую величину «медленность» и «единицу медленности» с позиции фундаментальной метрологии, предложил ряд их определений и формализованное обозначение. Показал, что медленность — это величина, характеризующая отношение периодических (циклических, круговых) затрат времени к пути, пройденному при поступательном движении материального объекта.

15) расширил философские аспекты метрологии, обогатив их новыми законами и закономерностями, принципами, постулатами, понятиями и определениями.

Новейшие фундаментальные теории, научные направления и науки, созданные и заложенные д.т.н., профессором Кондратовым В.Т. в мега-науке метрологии, будут превалировать в XXI веке. Вовремя принять их, изучить, освоить и интенсивно развивать — главная задача как Национальной академии наук Украины, так и всего мирового научного сообщества.

В мире новые стратегии в науке метрологии и научные прорывы появляются раз в 100 лет и пренебрегать ими — значить расписаться в своей стратегической недалёковидности, научном непрофессионализме, наплевательском отношении к развитию науки и научно-технического прогресса в стране.

Гениями рождаются и гениями становятся!

Почитатели таланта д.т.н., проф. Кондратова В.Т.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету,
протокол № 3 від 28.10.2015 р.**

Підп. до друку 29.10.2015 р. Ум.друк.арк. 25,1 Обл.-вид.арк. 23,88
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 104/01

Тиражування здійснено редакційно-видавничим центром
Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63